UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

SELMA BARBOSA JACONIS

ROADMAP TECNOLÓGICO VIVO APLICADO NO CASO DA ANÁLISE DO CENÁRIO DE RENOVÁVEIS

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

2018

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Processos Químicos e Bioquímicos

Selma Barbosa Jaconis

ROADMAP TECNOLÓGICO VIVO APLICADO NO CASO DA ANÁLISE DO CENÁRIO DE RENOVÁVEIS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadores: Profa. Suzana Borschiver, DSc

Paulo L.A. Coutinho, DSc

RIO DE JANEIRO
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Jaconis, Selma Barbosa
17r Roadmap Tecnológico Vivo aplicado no caso da análise do cenário de renováveis / Selma Barbosa Jaconis. -- Rio de Janeiro, 2018.
217 f.

Orientadora: Suzana Borshiver.
Coorientador: Paulo Luiz Andrade Coutinho.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

1. Roadmap Tecnológico. 2. Cenário de renováveis. 3. Monitoramento. 4. Prospecção Tecnológica. I. Borshiver, Suzana , orient. II. Andrade Coutinho, Paulo Luiz, coorient. III. Título.

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

Roadmap Tecnológico Vivo Aplicado no caso da análise do Cenário de Renováveis

SELMA BARBOSA JACONIS

PESQUISA DE TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS

Rio de Janeiro, 18 de dezembro de 2018.

Aprovada por:

Profa. Suzana Borschiver, DSc – Orientadora - UFRJ

Prof. Paulo Luiz de Andrade Coutinho, DSc — Orientador - SENAI-CETIQT

Prof. Claudio Jose de Araujo Mota, DSc –UFRJ

Profa. Cristina Gomes de Souza, DSc –CEFET-RJ

Profa. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, DSc – UFRJ

Profa. Cristina d´Úrso de Souza Mendes Santos DSc – INPI

Rio de Janeiro, RJ- Brasil
2018

DEDICATÓRIA

À minha mãe Therezinha e ao meu pai Laurindo, aos meus segundos pais e sogros Francisco e Gessy, ao meu marido Flavio e à minha filha Sabrina, que estiveram intensamente presentes em minha vida, compartilhando aprendizado e parceria com tal amor e intensidade, que lhes presto meu maior agradecimento, pois sempre lutei para ser melhor com eles e por eles.

AGRADECIMENTOS

À minha prezada orientadora e amiga Suzana Borschiver pela garra que nos motiva, expertise no tema, pela parceria e pelo apoio verdadeiro, reconhecendo cada esforço, compreendendo cada momento, apresento-lhe meu mais sincero e puro "muito obrigada".

Ao meu prezado orientador e amigo Paulo Coutinho pelo exemplo de grandiosidade, pelo exemplo de liderança, pela oportunidade e por crer em mim, apresento-lhe meu mais sincero e puro "muito obrigada".

Às minhas irmãs Fatima e Cristina por estarem sempre me apoiando, torcendo pelo meus bons caminhos e presentes em todos os momentos da minha vida.

Aos meus sobrinhos Arianna e Danillo pelo carinho verdadeiro, para os quais procuro servir de exemplo, para que possam acreditar que podemos tudo com forte dedicação e perseverança.

Às minhas amigas Tatiane, Roberta e Claudia por todo o incentivo e pela amizade verdadeira que se mantém firme no tempo, compartilhando conquistas e vitórias como esta.

À minha grande amiga, psicóloga e coaching, Márcia Vasconcelos por todo o incentivo e por me ensinar a acreditar no meu potencial e em todas as possibilidades na vida.

Aos Professores José Vitor, Flavia Alves e Fabio Oroski, pelo trabalho exemplar e inspirador desenvolvido na Escola de Química da UFRJ.

À Professora Verônica Calado que como profissional competente na Escola de Química da UFRJ e mãe dedicada me apoiou em muitos momentos.

Ao amigo Augusto Morita pela amizade de longos anos, de momentos difíceis, pela parceria, apoio e por compartilhar suas ideias criativas e conhecimento que muito contribuíram com esta obra.

Ao amigo Luis Fernando Cassinelli pela liderança, reconhecimento de meus esforços e inspiração à frente da área de inovação da empresa Braskem que com certeza foi o embrião para muitas oportunidades futuras para o seu negócio.

À amiga Gisele Fidelis e ao amigo Fabio Carucci Figliolino por acreditarem em inovação e por viabilizarem o compartilhamento do meu conhecimento no tema e por engrandecerem com seu conhecimento complementar resultando em um produto conjunto de valor agregado para a inovação.

Ao amigo Roberto Camanho pelo exemplo, carinho, apoio e por compartilhar toda a sua experiência de vida e carreira, de forma tão inspiradora e motivadora que me deu inspiração e forças na reta final.

À Escola de Química da UFRJ por manter excelentes professores cuja dedicação nos inspira e cujo primor no conhecimento e ensino engrandecem a área de Engenharia Química em nosso país.

EPÍGRAFE

“Valorize as suas limitações e por certo jamais se livrará delas...”
“A melhor maneira de agradecer por um belo momento é desfrutá-lo plenamente...”

Richard Bach

RESUMO

JACONIS, Selma Barbosa. **Roadmap Tecnológico "Vivo" Aplicado no caso da análise do Cenário de Renováveis**. Orientadores: Suzana Borschiver e Paulo Coutinho: Rio de Janeiro: UFRJ / Escola de Química, 2018. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Especificamente para temas emergentes, a exemplo do uso de recursos renováveis, identificou-se a importância da estruturação de uma metodologia capaz de ser aplicada ao ambiente organizacional complexo, turbulento, dinâmico e em constante modificação no qual se desenvolvia. Dessa forma, a presente tese de doutorado tem por objetivo desenvolver um método estruturado em três níveis: monitoramento sistemático, banco de dados relacional e a construção do "Roadmap Tecnológico Vivo" aplicados para o cenário de renováveis. Assim, acompanhar metodicamente o seu processo de evolução e as ações dos diversos atores: governo, sociedade, academia e empresas, tanto, realizadas no passado, como da força das ações atuantes no presente (coordenadas, não-coordenadas, sinérgicas e antagônicas) e dos elementos atuantes para a construção do futuro do tema. No primeiro nível, o método baseou-se na estruturação do processo de monitoramento sistemático. No segundo nível, as informações prospectadas foram organizadas em banco de dados relacional, contendo campos cuidadosamente selecionados e pré-definidos, que permitiram a rápida organização do conhecimento adquirido, sua rastreabilidade e recuperação ordenada para a elaboração de análises sistemáticas. No terceiro nível, o Roadmap Tecnológico Vivo foi a metodologia adotada para a apresentação da dinâmica do cenário de renováveis, considerando as dimensões relacionadas com mercado, produto e tecnologia integrados em função do tempo. Em relação às principais conclusões desta tese sobre o cenário de renováveis, destacaram-se que uso da biomassa como matéria-prima tem enorme potencial para endereçar os desafios da sustentabilidade e as preocupações ambientais, porém fatores econômicos determinam sua velocidade de implementação e sua competitividade. Além disso, as flutuações do preço do petróleo afetam diretamente as ações em renováveis, ocasionando a descontinuidade de projetos e até encerramento de empresas por falta de competitividade de seus planos de negócios, ou seja, muitos atores atuantes no tema foram identificados, porém, startups, pequenas e médias empresas veem-se obrigadas a interromperem seus projetos por falta de competitividade frente ao preço do petróleo, ao mesmo tempo em que, empresas de grande porte que atuam como observadores, recuam, reduzindo seus investimentos. A obtenção de diferentes bioprodutos por meio de plataformas tecnológicas baseadas em bioprocessos caminham para a sua consolidação. Foram identificados como alguns dos fatores que contribuem ativamente para o delineamento do cenário de renováveis: os desafios no processamento da biomassa (principalmente na etapa de pré-tratamento), custos de produção elevados, dificuldades de escalonamento para produção industrial, custo do produto final e demanda de mercado. Assim, os produtos de origem renovável e produtos petroquímicos conviverão em paralelo no longo prazo, da mesma forma como ocorreu na transição do carvão para o petróleo e o cenário "petróleo para químicos" provavelmente será o predominante na Indústria Química dos próximos anos. As principais contribuições deste trabalho são: i) apresentar metodologia desenvolvida capaz de apontar as tendências e os caminhos preferenciais sobre os negócios na área de renováveis, por meio do entendimento da evolução do tema com as informações organizadas sistematicamente; ii) o processo estruturado pode ser aplicado a outros setores adaptando-se para o tema central dentro da área de interesse dos atores envolvidos.

Palavras-chave: Cenário de renováveis, Roadmap Tecnológico, Monitoramento, Prospecção tecnológica.

ABSTRACT

JACONIS, Selma Barbosa. **Technological Roadmap Live - Applied in the case of the analysis of the Renewable Scenario.** Supervisors: Suzana Borschiver and Paulo Coutinho: Rio de Janeiro: UFRJ / EQ, 2018. Thesis (Doctorated in Science).

Specifically, for emergent themes such as renewables resources, it was identified the importance of structuring a methodology capable of being applied to the complex, turbulent, dynamic and constantly changing organizational environment in which the theme is developed. In this way, the aim of this thesis is to present a method of technological forecast structured in three levels: systematic monitoring, relational database structuring and construction of the "Live" Technology Roadmap, applied to the analysis of the renewable scenario. The method was proposed to act in the identification and systematic follow-up the actions of the different players: government, society, universities and companies, carried out in the past, the force of present-day actions (coordinates, non-coordinates, synergistic and antagonistic) and the elements that are prominent and active for the construction of the future of this theme. At the first level, the method was based on structuring the systematic monitoring process by prospecting in scientific and technological information. At the second level, the information was organized in a relational database, containing carefully selected and predefined fields, which allowed a quick organization of the acquired knowledge, encouraging and guiding its capture strategy, ensuring the traceability and orderly retrieval of the information for the elaboration of systematic analyzes. In the third level, the "Live" Technology Roadmap was adopted as a methodology to present the dynamics of the renewable scenario considering the dimensions related to market, product and technology integrated over time. Regarding the main conclusions of this thesis on the renewable scenario, it was highlighted that the use of biomass as raw material has enormous potential to address sustainability challenges and environmental concerns, but economic factors determine its speed of implementation and its competitiveness. In addition, fluctuations in the price of oil directly affect the actions in renewables, causing discontinuity of projects and even closure of companies due to lack of competitiveness of their business plans, that is, many actors acting on the theme were identified, however, startups , small and medium-sized companies are forced to discontinue their projects due to lack of competitiveness against the price of oil, while large companies that act as observers, retreat and reduce their investments. The acquisition of different bioproducts through technological platforms based on bioprocesses are moving towards its consolidation. Some of the factors that actively contribute to the design of the renewable scenario were challenges in biomass processing (mainly in the pre-treatment stage), high production costs, scheduling difficulties for industrial production, cost of final product and market demand. Thus, products of renewable origin and petrochemicals will coexist in parallel in the long run, just as in the transition from coal to oil and the "oil to chemicals" scenario is likely to be the predominant chemical industry in the coming years. The main contributions of this work are: i) to present a developed methodology capable of pointing out the tendencies and the preferential paths of doing business in the area of renewables, by understanding the evolution of the theme with the information organized systematically; ii) the structured process can be applied to other sectors adapting the central theme within the area of interest of the actors involved.

KEY WORDS: Renewable scenario, technological roadmap, technology roadmapping, roadmap, monitoring, technological prospecting, forecasting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Histórico de preços do barril de óleo cru de fevereiro 1986 a abril de 2018.....21
Figura 3.1- Processo de construção de um roadmap “Vivo” proposto nesta tese de doutorado - Etapas da estruturação e desenvolvimento em três níveis.....58
Figura 3.2 - Representação da evolução dos sistemas para construção do banco de dados relacional e do Roadmap Tecnológico 68
Figura 3.3 – Representaçao esquemática da arquitetura do banco de dados relacional desenvolvido 70
Figura 3.4 - Representação gráfica genérica do Roadmap Tecnológico 87
Figura 3.5 - Representação gráfica genérica do Roadmap Tecnológico, incluindo a interligação entre as ações no presente e no futuro.....88
Figura 3.6 - Posicionamento de produtos de acordo com o período de tempo e sua relação com as fontes de prospecção tecnológica consideradas por período para o TRM.....90
Figura 3.7 – Representação esquemática das caixas verdes que indicavam as parcerias entre os atores para o TRM nos programas MS Dynamics CRM e MS Visio.....92
Figura 4.1 – Representação esquemática dos principais movimentos prospectados para o etanol celulósico de 2010 a 2018.....105
Figura 4.2 - Representação gráfica simplificada para o produto Etanol Celulósico no Período zero – corrente (ano atual) no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.....107
Figura 4.3 - Representação esquemática para as rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.....110
Figura 4.4 - Representação esquemática para os atores e suas rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.....111
Figura 4.5 - Representação esquemática sobre os riscos da cadeia de valor da biomassa a etanol e as questões chave a serem endereçadas e respondidas para o produto Etanol elulósico.....113
Figura 4.6 - Representação gráfica da maturidade para alguns atores, seus movimentos e suas rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.....114
Figura 4.7 - Representação gráfica dos atores prospectados para o produto algas, no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.....119

Figura 4.8 - Representação gráfica simplificada para o produto algas no Período 4 Longo prazo (16 a 20 anos) no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.....120
Figura 4.9 - Representação gráfica dos atores prospectados para o produto ácido succínico, no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.....126
Figura 4.10 - Distribuição dos 24 ácidos orgânicos monitorados em função do número de átomos de carbono.....127
Figura 4.11 - Representação gráfica dos atores prospectados para o produto ácido succínico, no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.....129
Figura 4.12 – Correlação entre eventos durante a evolução do tema desenvolvimento sustentável e o histórico de preços do barril de óleo cru de 1986 a abril de 2018.....146
Figura 4.13 - Quatro possíveis cenários para a Indústria Química europeia no ano de 2030.....153

LISTA DE QUADROS

Quadro A.0.1 - Lista de sites para prospecção tecnológica em renováveis.....180
Quadro B.0.1 – Relação de palavras chaves utilizadas para o monitoramento sistemático e prospecção contínua.....198

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Grupos de fontes utilizadas para o processo de vigilância tecnológica e sua descrição.....63
Tabela 3.2 - Campos no banco de dados relacional para produtos monitorados 71
Tabela 3.3 - Campos no banco de dados relacional para atores monitorados.....73
Tabela 3.4 - Campos no banco de dados relacional para as relações atores e produtos monitorados.....75
Tabela 3.5 - Campos no banco de dados relacional para as relações atores, produtos e tecnologias monitoradas.....75
Tabela 3.6 - Campos no banco de dados relacional para as relações atores, produtos, tecnologias monitoradas e evolução no tempo.....76
Tabela 3.7 - Elementos motivadores e/ou direcionadores da área de renováveis.....79
Tabela 3.8 – Outros elementos motivadores e/ou direcionadores (*drivers*) da área de renováveis prospectados para os atores monitorados.....81
Tabela 3.9 - Aspectos relevantes para as alternativas tecnológicas na área de renováveis.....84
Tabela 4.1 – Atores, rotas e parcerias prospectadas para o etanol celulósico.....108
Tabela 4.2 - Ácidos orgânicos produzidos a partir de matérias-primas renováveis monitorados 123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ACV	Análise de ciclo de vida
AFEX	*Ammonia Fiber Explosion*
API	*American Process Inc.*
B3	Brasil, Bolsa, Balcão - Bolsa de valores oficial do Brasil
BDO	Butanodiol-1,4
BETO	Bioenergy Technologies Office at DOE
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
BP	*British Petroleum*
CAGR	*Compunded Annual Growth Rate* (Taxa composta de crescimento anual)
CAPEX	*Capital Expenditure* (Despesas de capital)
CEFIC	*European Chemical Industry Council – CEFIC - from its former French Name Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique*
CCU	*Carbon Capture and Utilization*
CDLI	*Carbon Disclosure Leadership Index*
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNUMA	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano
CNUDS	Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
CRM	*Customer Relationship Management*
C, T & I	Ciência, Tecnologia & Inovação
DES	*Deep eutetic solvent (*Solvente ou fluido eutético profundo)
DJSI World	*Dow Jones Sustainability Index World* (Índice Dow Jones de Sustentabilidade)
DMC	Dimetilcarbonato
DOE	*United States Department of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos da América)
DRS	Desenvolvimento Regional Sustentável
EERE	Energy Efficiency and Renewable Energy
EH&S	*Environment, Health and Safety* (Ambiente, saúde e segurança)
EPA	*US Environmental Protection Agency*

ESD	E*nvironmenal, Social and Governance*
Etanol 2G	Etanol de segunda geração ou etanol celulósico
FAO	*Food and Agriculture Organization of the United Nation*
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	Greenhouse gas
GRI	*Global Reporting Iniciative*
IBrX 50	Índice Brasil 50
ICO2	Índice Carbono Eficiente
IEA	*International Energy Agency*
IfBB	*Institute for Bioplastics and Biocomposites*
INRA	*French National Institute for Agricultural Research*
IPO	*Initial Public Offering* (Oferta Pública Inicial)
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
JBEI	*Joint Bioenergy Institute*
JDA	*Joint Development Agreement*
JV	*Joint Venture*
Kta	Quilotonelada por ano
LHW	*Liquid Hot Water*
LNG	L*iquefied Natural Gas*
MEI	Mobilização Empresarial pela Inovação
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicações
M&A	*Merger and Aquisitions*
M&G	Grupo Mossi & Ghisolfi
MS	*Microsoft*
MSW	*Municipal Solid Waste*
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEX	*Operational Expenditure*
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBAT	Poli (butileno adipato-co-tereftalato)
PBT	Poli (tereftalato de butileno)
PBS	Poli (succinato de butileno)

PCL	Policaprolactama
PDO-1,3	Propanodiol-1,3
PDF	*table Document Format*
PE	Polietileno
PET	Poli (tereftalato de etileno)
PGA	Poli(ácido glicólico)
PHA	Poli (hidróxialcanoatos)
PLA	Poli (ácido láctico)
REEE	Reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
RSS	*Really Simple Syndication*
SDGs	*Sustainable Development Goals*
TPG	*Texas Pacific Group*
TRM	Roadmap Tecnológico*/Technology Roadmap/Technology Roadmapping*
TWB	*Toulouse White Biotechnology*
UCSD	Universidade da Califórnia San Diego
UE	União Europeia
UK	Reino Unido
UNFCCC	*United Nations Framework Convention on Climate Change*
USA	*United States of America*
USDA	*United States Department of Agriculture*
USD	Dólares - representação da moeda americana
www	*World Wide Web*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 1

1.1 Apresentação e importância do estudo 1

1.2 Objetivos do estudo 5

1.3 Estrutura do estudo 5

CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA 7

2.1 A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável como nova meta para os diferentes atores 7

2.2 Tendências Globais motivando inovações com foco em sustentabilidade 13

2.3 Desafios da Indústria Química tendo bioprodutos como parte do seu futuro 20

2.4 Indústria Química em transformação no Brasil e no mundo 26

2.5 Desafios da biomassa vegetal 30

2.6 Tecnologias de conversão de biomassa em competição 34

2.7 Demanda por produtos químicos de base renovável 38

2.8 A aplicação de ferramentas de prospecção tecnológica e Roadmap Tecnológico 48

CAPÍTULO 3 MÉTODO DE MONITORAMENTO SISTEMÁTICO, PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E TRM SOBRE A ÁREA DE RENOVÁVEIS 55

3.1 NÍVEL 1 – Monitoramento Sistemático 58

3.2 NÍVEL 2 – Banco de dados relacional estruturado 67

3.3 NÍVEL 3- Roadmap Tecnológico (TRM) 86

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES 95

4.1 Fatores de risco no cenário de renováveis 95

4.1.1 Impactos da corrida prematura para a comercialização – o caso do etanol celulósico – período atual 96

4.1.2 Desafios técnicos e investimentos na etapa de escalonamento da produção 115

4.1.3 Desafios tecnológicos no horizonte temporal - longo prazo - o caso das algas 117

4.1.4 Desafios tecnológicos em todos os horizontes temporais - o caso dos ácidos orgânicos 120

4.2 Estratégias promissoras e elementos relevantes no cenário de renováveis 132

4.2.1 Elementos relevantes para academia, empresas, governos e sociedade no cenário de renováveis 132

4.2.2 A sustentabilidade e a Indústria Química no cenário de renováveis 144

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS 157

5.1 Conclusões sobre o método proposto em três níveis 157

5.2 Principais conclusões sobre o cenário de renováveis 159
5.3 Sugestões para trabalhos futuros e considerações finais 161
REFERÊNCIAS 163
APÊNDICE A - Lista de sites para prospecção tecnológica em renováveis 180
APÊNDICE B – Taxonomia aplicada na área de renováveis 198

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e importância do estudo

O atual cenário global revela as consequências das significativas transformações ocorridas no ambiente competitivo, particularmente, nos últimos 15 a 20 anos. Estas transformações já provocaram profundas alterações na maneira como o mercado e os consumidores se comportarão, trazendo novas oportunidades à alguns negócios e significativas ameaças a outros.

Atualmente, as inovações nos são apresentadas em vários setores e a todo instante, evidenciando que em nenhuma outra fase da história as transformações sociais e tecnológicas ocorreram em períodos de tempo tão curtos (OLIVEIRA, 2015).

Significativas mudanças no modo de produzir, consumir, se locomover e se relacionar têm sido observadas e correlacionadas com movimentos globais tais como: deslocamento do centro do poder econômico, alterações climáticas, demográficas, urbanização, avanços tecnológicos, entre outros. Inúmeros impactos e consequências destes movimentos são observados na sociedade e nas áreas estratégicas das empresas que se veem obrigadas a lidar com estas forças.

Assim, um novo cenário global na área de renováveis passou a ser delineado com maior intensidade e com forte engajamento no desenvolvimento, produção e comercialização de bioprodutos ao redor do mundo.

Este cenário é motivado por preocupações com importantes fatores e megatendências em seu entorno, destacando-se: a) redução do impacto ambiental, aquecimento global, efeito estufa e mudanças climáticas; b) alterações do preço do petróleo; c) busca por uma sociedade mais sustentável; d) aumento do foco nas pessoas e no planeta; e) intensificação da demanda por alimentos e por energia tendo como contraponto a eminente escassez de energia e de matéria-prima; f) redução do uso de água e de outros recursos naturais; g) crescimento da população mundial; h) urbanização; i) envelhecimento populacional; j) mudança no comportamento do consumidor; k) revolução digital, com destaque à automação industrial e a internet das coisas; l) mudança no padrão de produção; m) necessidade de infraestrutura moderna e competitiva: modernização dos transportes, dos setores de energia e telecomunicações e da infraestrutura social como educação e saúde (OECD, 2018; OLIVEIRA, 2018; COELHO, 2018; EUROMONITOR, 2017; BCG, 2018; DELOITTE, 2018; ACCENTURE, 2015; PRICEWATERHOUSECOOPERS - PwC, 2017 a e b, OLIVEIRA, 2015).

Desde o início dos anos 2.000, observa-se que o movimento em torno das possibilidades para uma nova Indústria Química baseada na exploração da biomassa renovável e no uso de resíduos como matéria-prima para produção de bioprodutos estava e ainda continua em pleno processo de estruturação, configuração, amadurecimento e competição.

Em 2013, o instituto nova- Institut GmbH afirmou que as informações disponíveis na área de renováveis eram muito diversificadas e, às vezes, inconsistentes, podendo levar a interpretação de forma inadequada dos resultados. Esta observação é bastante importante por se tratar de um instituto europeu, fundado em 1994, privado e independente, responsável por oferecer pesquisas e consultoria com foco em economia baseada em biomassa e dióxido de carbono (CO_2) e que atua por mais de duas décadas ativamente e globalmente no fornecimento de informações sobre matéria-prima, avaliação técnico-econômica e ambiental, pesquisa de mercado, difusão do tema renováveis, gerenciamento de projetos e de políticas para uma economia de base biológica sustentável (NOVA INSTITUT-GmbH, 2013).

Assim, fica evidente que o tema está inserido em um ambiente organizacional complexo, turbulento, em constante modificação e que envolve diversos atores, como governo, sociedade (por exemplo: a voz ativa de consumidores mais conscientes), academia (universidades e instituições de pesquisas científicas e tecnológicas) e empresas industriais e do setor agrícola.

Esta efervescência afetou diretamente as empresas que estavam procurando se posicionar com alguma segurança em um ambiente com novas regras de competitividade impostas pelo cenário criado em torno do uso de fontes de insumos renováveis e atender às demandas referentes aos aspectos ligados à sustentabilidade (ABIQUIM, 2010).

A nova Indústria Química baseada em biomassa se encontrava em pleno processo de formação, contando com diferentes atores envolvidos nas diversas fases do grande desafio relacionado com a introdução deste novo eixo de produção paralelo ao petroquímico (BOMTEMPO, 2013).

Desta maneira, visando colaborar com o entendimento da evolução desta nova bioindústria, esta tese de doutorado analisou o cenário em renováveis a partir de um processo estruturado em três níveis: Nível 1) Monitoramento sistemático do ambiente de renováveis incluindo notícias em mídia especializada e resultados científicos (patentes, artigos científicos, relatórios técnicos e mercadológicos etc); Nível 2) Estruturação de banco de dados capaz de capturar as informações prospectadas e viabilizar as análises sistemáticas propostas para avaliar o cenário de renováveis, além de converter os dados coletados em conhecimento utilizável sobre o ambiente de renováveis. Nível 3) Construir o Roadmap Tecnológico (TRM) “Vivo” da área

de renováveis na forma visual e gráfica, apresentando os resultados em uma análise temporal e relacionando os produtos monitorados com fatores críticos referentes a mercado e tecnologia (PHAAL, 2004; BORSCHIVER, 2013).

A partir da aplicação dos três níveis de prospecção e organização de dados propostos acima, foram discutidas possibilidades de análises para o cenário de renováveis e questões relacionadas com os seguintes temas: a) identificação dos aspectos relevantes desta oportunidade emergente; b) apontar as importantes lições aprendidas tanto a partir de atividades bem sucedidas, assim como, a partir de alterações de atuação dos principais atores (casos de insucesso, mudança de rota, mudança de postura ou modelo de atuação); c) análise dos fatores relativos aos bioprodutos químicos e biopolímeros que tenham maior chance de competir com produtos equivalentes de origem petroquímica, levando em consideração aspectos tecnológicos e de mercado; d) análise das estratégias das empresas relacionadas com os bioprodutos monitorados, visando identificar os aspectos relevantes e requisitos necessários para atuar neste novo contexto paralelo e/ou alternativo ao de origem petroquímica.

O processo proposto representa uma proposta de valor para as empresas que buscam utilizar o TRM, o processo de roadmapping, o monitoramento sistemático e estudos prospectivos, como uma forma de visualizar as tendências tecnológicas na Indústria Química mundial, as mudanças tecnológicas que poderiam alterar o ambiente competitivo, os possíveis caminhos do seu negócio, as oportunidades existentes para inovação, desafios a serem enfrentados e as ameaças para o seu portfólio de produtos.

O processo visava colaborar com o incentivo ao real uso pelas empresas dos resultados consolidados no TRM em direção aos seus objetivos de negócio e mercado. Deste modo, o TRM desenvolvido e, como proposto nesta tese de doutorado, teve sua origem no primeiro exercício da construção de um Roadmap tecnológico sobre matérias-primas renováveis no âmbito da Braskem em cooperação com a Escola de Química da UFRJ, coordenado pelo Prof. José Vitor Bomtempo (do lado da universidade) e por Paulo Coutinho (do lado da empresa Braskem).

Este trabalho de cooperação resultou no artigo referência base desta tese publicado em 2011 na revista Química Nova (COUTINHO & BOMTEMPO, 2011). Naquela ocasião, os autores sinalizaram a necessidade de se manter o documento “Vivo”, ou seja, constantemente atualizado por se tratar justamente de tema de alta efervescência tecnológica. Ademais, eles ressaltaram a importância da sua continuidade visando agregar valor ao tema para a empresa em questão.

A entrega da UFRJ para a Braskem, no âmbito da cooperação Universidade-Empresa, foi um relatório final que indicava ações de continuidade do projeto. Esta proposta de continuidade da prospecção tecnológica, visava apontar um caminho para a captura de valor do processo de roadmapping, de maneira a promover um fórum contínuo de discussão capaz de realmente direcionar a análise do cenário de renováveis útil para a organização como um todo. Deste modo, o processo de roadmapping e o TRM na forma gráfica foram baseados neste documento original, incorporando-se importantes particularidades em todo o processo como os níveis 1 e 2, descritos anteriormente, passando a ser caracterizado como documento "Vivo", ou seja, constantemente atualizado.

O método foi idealizado no âmbito do trabalho desenvolvido pela autora quando atuava na empresa Braskem em inovação corporativa na área de prospecção de tecnologias renováveis em conjunto com o co-orientador desta tese Dr. Paulo Coutinho (gerente da área de renováveis na Braskem) e sob a orientação da Profa. Dra. Suzana Borschiver (UFRJ), acrescentando a sua expertise no tema Roadmap e dando continuidade ao processo de interação Universidade-Empresa em uma nova fase do projeto.

O processo apresentado foi resultante da aplicação de diversos métodos e apresentou aspectos tácitos resultantes da experiência desenvolvida progressivamente com a prática (em inglês *learning by doing)*. No caso da empresa Braskem foi apresentada a forma como o processo de roadmapping para uma empresa química e petroquímica poderia colaborar com a avaliação de oportunidades de investimento, cooperação e temas para projetos de P&D na área de renováveis. Outro aspecto importante a ser ressaltado foi o entendimento de que este pode ser considerado um caso de sucesso no tema parceria Universidade – Empresa, pois o trabalho inicial foi realizado na UFRJ sendo realmente introduzido e continuado na empresa Braskem e, inclusive com possibilidade de ser consultado por diversas áreas, visando sua cooperação com diferentes pontos de vista.

O modo como se estabeleceu o processo de monitoramento sistemático e prospecção tecnológica e as informações geradas neste trabalho, permitiu o entendimento da evolução do cenário em renováveis. O TRM é uma ferramenta que permite entender a evolução do tema bem como organizar as informações de modo sistemático considerando a variável tempo. O ponto principal deste trabalho foi discutir os aspectos referentes ao cenário de renováveis por meio da apresentação de uma metodologia em três níveis capaz de apontar tendências e caminhos preferenciais referentes ao tema central.

1.2 Objetivos do estudo

O objetivo geral desta tese de doutorado consiste em apresentar um método de prospecção tecnológica estruturado em três níveis: monitoramento sistemático, estruturação de banco de dados relacional e a construção do processo de Roadmap Tecnológico "Vivo" aplicado ao cenário de renováveis, visando acompanhar o seu processo de evolução, identificar aspectos relevantes, tendências e oportunidades. Dessa forma, pretende-se atingir os quatro objetivos específicos, conforme descrito a seguir:

1. Apresentar um processo de monitoramento sistemático aplicado ao ambiente de renováveis, visando acompanhar ativamente a sua evolução e suas alterações em um ambiente turbulento, dinâmico e complexo;
2. Apresentar o desenvolvimento de banco de dados relacional para introdução das informações tecnológicas e de mercado prospectadas, capaz de permitir a sua recuperação eficiente para a análise do cenário de renováveis;

3. Apresentar o método de construção e visualização do Roadmap Tecnológico "Vivo", objetivando apresentar na forma gráfica e visual o cenário de renováveis constantemente atualizado, incluindo suas principais relações e tendências.

4. Analisar o cenário de renováveis com base no banco de dados estruturado e no TRM na dimensão temporal, com relação aos produtos bioderivados, atores e aspectos relevantes do cenário de renováveis.

1.3 Estrutura do estudo

A presente tese foi estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro (Capítulo 1) esta introdução sobre a apresentação e a importância do estudo, seus objetivos gerais e específicos e a estrutura do estudo. O Capítulo 2 explora a contextualização do tema renováveis e apresenta tópicos relacionados aos esforços para a estruturação dos diversos setores envolvidos na busca pelo uso de recursos biológicos renováveis, com foco na produção de produtos bioderivados. Foram abordados aspectos relevantes e motivadores para o desenvolvimento do tema proposto, tais como: sustentabilidade como meta para os atores, tendências globais motivando inovações, desafios da Indústria Química tendo bioprodutos como parte do seu futuro, Indústria Química em transformação no Brasil e no mundo, desafios da biomassa renovável, tecnologias de

conversão da biomassa em competição, ferramentas de prospecção tecnológica e roadmapping. O Capítulo 3 busca apresentar e explorar os aspectos estruturais dos três níveis propostos para o método de prospecção tecnológica e monitoramento sistemático. O Capítulo 4 apresenta uma discussão sobre os resultados encontrados para o alcance do objetivo geral proposto por esta tese. O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões sobre o método proposto em três níveis, sobre o cenário de renováveis e sobre sugestões para trabalhos futuros e, considerações finais.

CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

2.1 A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável como nova meta para os diferentes atores

As grandes preocupações com o futuro da economia global, com valores acerca do meio ambiente e da sociedade e, ainda, especificamente, com as mudanças climáticas, a exemplo do aquecimento global e do efeito estufa (ambos considerados, inclusive, como os dois grandes desafios da humanidade neste século), trouxeram uma nova meta para as firmas, consumidores, governos e para a academia: a sustentabilidade, considerando a equidade dos aspectos ambientais, sociais e econômicos - três pilares essenciais, denominado em inglês *Triple Bottom Line*, conceito revolucionário introduzido em 2002 (FEIL, 2017, SLOME, 2013; ILES, 2013, TRINDADE, 2011).

Assim, o desenvolvimento sustentável, conforme proposto pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas, iniciou-se com a definição de ser o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as demandas a longo prazo das futuras gerações (BRUNDTLAND, 1987; WWF-Brasil, 2014; PASQUINI, 2014). Globalmente, tratava-se de um processo evolutivo de desenvolvimento de um país visando beneficiar gerações presente e futura por meio do crescimento da economia, melhoria da qualidade do ambiente e da sociedade. Nos últimos anos, na Europa, ocorreu a expansão deste conceito o qual englobou ainda a aplicação de novos conhecimentos capazes de viabilizarem a geração de novos produtos sustentáveis, ambientalmente amigáveis e competitivos (CGEE, 2017).

Alguns autores apontam a sustentabilidade como o grande paradigma deste século, sendo um processo avaliado por meio de indicadores e índices de sustentabilidade (FEIL, 2017). Estes dois temas estão em pauta nos últimos 50 anos, pois foi somente em 1972, que a ideia de sustentabilidade foi trazida na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (CNUMA), realizada em Estocolmo, demonstrando que seria possível alcançar o crescimento econômico e industrial sem agredir o meio ambiente (FEIL, 2017).

Acrescenta-se que também foi apenas em 1971 que o tema bioeconomia foi citado, pela primeira vez, pelo economista romeno Nicholas Georgescu-Roegen (CGEE, 2017). O termo desenvolvimento sustentável foi popularizado em 1987 por meio do relatório da Comissão de Brundtland (FEIL,2017; BRUNDTLAND, 1987). Dessa forma, observou-se que gradativamente estes dois termos: sustentabilidade e desenvolvimento sustentável foram ocupando cada vez mais

espaço nos debates nacionais e internacionais, na literatura científica, no setor privado e nas políticas públicas, embora sem um consenso em termos de conceito (FEIL, 2017).

Grandes blocos econômicos passaram a estabelecer metas quantitativas, como a União Europeia. De acordo com a EUROPEAN COMMISSION (2011) as metas que os países deveriam atingir até 2020 foram: a) emitir 20 % menos gases de efeito estufa (GEE) em relação ao ano de 1990; b) garantir que 20% da energia seja proveniente de fontes renováveis (10% em tráfego) e c) aumentar a eficiência energética em 20%. Estas metas têm sido constantemente revistas à medida que apresentam diversos entraves em seus atingimentos. À vista disso, iniciativas governamentais têm sido constantemente observadas quanto ao aumento da legislação para controle dos resíduos industriais e urbanos, emissão de gases do efeito estufa, incentivos ao desenvolvimento de tecnologias limpas e ao uso de recursos biológicos renováveis pela indústria. Os governos comparam suas experiências em termos de políticas públicas nacionais e internacionais, buscando respostas para seus problemas comuns e identificação de boas práticas frente ao grande desafio (OECD, 2011).

As empresas, por sua vez, passaram a selecionar novas tecnologias/produtos e incorporar o conceito de sustentabilidade em suas missões e visões, inclusive com metas quantitativas. Adotaram, cada vez mai, ações visando ao desenvolvimento econômico sustentável, compromisso na inclusão social e respeito ao meio ambiente, agregando assim valor aos seus negócios. Entre essas ações podem ser citadas: estímulo à consciência ambiental, qualidade ambiental, aquecimento global, redução do impacto das produções no meio ambiente, redução da pegada de carbono, adoção de melhores práticas em gestão empresarial e maior alinhamento estratégico com a sustentabilidade, eficiência tecnológica, aumento da sustentabilidade das operações com práticas mensuráveis. Dessas destacam-se: pegada hídrica, a qual compreende a) origem, quantidade e a qualidade da água; b) redução do consumo de água e aumento do seu reuso; c) redução do consumo de energia; d) redução da geração de rejeitos sólidos, efluentes líquidos e contaminantes, entre outras ações como a segurança alimentar, que se trata de uma preocupação global, tem se tornado um elemento direcionador dos esforços tecnológicos e de políticas públicas para o tema sustentabilidade no mundo.

Assim sendo, ficou evidenciada a crescente pressão sobre as empresas as quais foram compelidas a mudar suas estratégias de negócios e padrões gerenciais para enfrentar os desafios decorrentes da sustentabilidade (INSTITUTO ETHOS, 2000). O tema deixou de ser uma opção e passou a fazer parte de suas ações para consolidação de suas estratégias e até mesmo, de sua sobrevivência (ALVES, 2010). A percepção dos diversos segmentos foi de que não havia mais

como desconsiderar um modo de produção socio-ambientalmente sustentável (ZUIN, 2012). A adoção de soluções sustentáveis e ecologicamente responsáveis tornou-se crucial para aumentar a competitividade e a rentabilidade dos negócios (PASQUINI, 2014).

De maneira geral, as empresas passaram a atuar sobre a complexa temática da sustentabilidade em busca de modelos de negócios que contribuam com o desenvolvimento sustentável e em atividades que possam se sustentar a longo prazo, com ganhos ambientais, sociais e econômicos (MACEDO, 2012).

O maior desafio das empresas no novo cenário, sem dúvida, é a necessidade de provar aos acionistas que, a longo prazo, os investimentos em ações sustentáveis significarão maiores lucros e, consequentemente, a garantia da continuidade daquele negócio (ALVES, 2010).

Entretanto, existem muitos aspectos a serem contornados para garantir que as empresas estejam agindo realmente de acordo com os preceitos da sustentabilidade, baseados na necessidade de integração dos três fatores que a fundamentam: gestões ambiental, social e econômica.

Na perspectiva das empresas, participar de iniciativas voluntárias em sustentabilidade pode ser percebido por meio dos ganhos intangíveis que estas experiências proporcionam, como reputação e compartilhamento de experiências na comunidade empresarial, ou por ganhos tangíveis, ainda pouco conhecidos, mas já abordados em estudos que consideram o valor de mercado, a relação entre desempenho financeiro e desempenho socioambiental ou reações do mercado financeiro às ações das companhias mais sustentáveis (MACEDO, 2012).

As empresas sustentáveis são mais capazes de identificar novas oportunidades de negócio, se antecipar a pressões legais e da sociedade, reduzir os custos de produção devido à diminuição de desperdícios e à economia de insumos, aumentar a atração e retenção de talentos, acessar capital mais facilmente, reduzir a exposição a riscos, fidelizar consumidores e melhorar o alinhamento interno com relação a práticas e políticas adotadas, de acordo com o Guia de Sustentabilidade da BM&FBOVESPA (MACEDO, 2012). Dessa forma, é importante considerar que estes órgãos e seus mecanismos de reconhecimento de ações em sustentabilidade tem contribuído e incentivado efetivamente para a evolução do tema para as grandes corporações.

A BM&FBOVESPA criou e manteve índices para realizar o acompanhamento do desempenho de empresas que buscam as melhores práticas de responsabilidade social e sustentabilidade, destacando-se o ICO2 (Índice Carbono Eficiente) e o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) (B3, 2017).

O ICO2, criado em 2011 como uma iniciativa conjunta do B3 (Brasil, Bolsa, Balcão-bolsa de valores oficial do Brasil) e do BNDES, mede o retorno de ações das companhias integrantes do Índice Brasil 50 (IBrX 50) que se comprometeram a fazer e a enviar ao B3 seu inventário de gases de efeito estufa (GEE). Trata-se de um indicador de ações das empresas componentes para a adoção de práticas transparentes em relação a emissões GEE afim de atuar em uma economia chamada de baixo carbono.

O ISE originado em 2005, foi desenvolvido pela B3 em parceria com o Centro de estudos em sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e mede o retorno de uma carteira de ações de empresas comprometidas com sustentabilidade e tem como missão: apoiar os investidores na tomada de decisão de investimentos socialmente responsáveis e induzir as empresas a adotarem as melhores práticas de sustentabilidade empresarial em suas culturas (FGVces, 2017) (BM&FBOVESPA, 2018).

Segundo o Centro de estudos em sustentabilidade da FGV, o ISE é uma ferramenta para análise comparativa da performance das empresas listadas na B3 sob o aspecto da sustentabilidade corporativa, baseada em eficiência econômica, equilíbrio ambiental, justiça social e governança corporativa. Também amplia o entendimento sobre empresas e grupos comprometidos com a sustentabilidade, diferenciando-os em termos de qualidade, nível de compromisso com o desenvolvimento sustentável, equidade, transparência e prestação de contas, natureza do produto, além do desempenho empresarial nas dimensões econômico-financeira, social, ambiental e mudança do clima (FGVces, 2017). Em 2017, este índice apontou um número maior de empresas demonstrando preocupação com questões relacionadas às suas vulnerabilidades frente à mudança do clima e seus potenciais impactos sobre o negócio principal. (DECLOEDT, 2017).

Relatos corporativos sobre ações em sustentabilidade, denominados relatórios de sustentabilidade passaram a ser emitidos pelas empresas, com base nas diretrizes do GRI (*Global Reporting Iniciative*), até os dias atuais e contém os progressos delas em relação à sustentabilidade. Estes relatos são utilizados para divulgar e evidenciar as práticas sustentáveis das empresas e os indicadores de desempenho econômico, social e ambiental. As informações contidas nestes relatórios devem ser adequadas, confiáveis, demonstrar clareza e equilíbrio, atendendo às exigências dos investidores em termos de conteúdo e qualidade, além de serem capazes de comprovação por meio de auditorias independentes (LUGOBONI, 2013).

Dessa forma, como exemplo de metas em sustentabilidade no mundo corporativo e sua evolução constante, podem ser analisados relatórios de sustentabilidade e destacar alguns casos

de grandes empresas como o caso da Dow, que historicamente criou suas Metas de Sustentabilidade em 1995 as quais não foram apenas cumpridas, mas superadas em 2005. Na sequência a companhia firmou novas metas para 2015, ainda mais desafiadoras e visionárias relacionadas com redução de gases de efeito estufa, aumentar consciência sustentável da empresa, melhoria de indicadores chave para excelência operacional em ambiente, saúde e segurança (em inglês EH&S) (DOW, 2014).

Para o ano de 2025, as novas metas de sustentabilidade da Dow passaram também a considerar a força e as oportunidades de parcerias, sendo uma importante constatação de que as empresas perceberam o valor da evolução baseada em novos modelos de negócios em colaboração e busca por complementaridades.

Outros exemplos interessantes podem ser citados como é o caso da DuPont, que atingiu antes do previsto, em dezembro de 2013, suas metas de sustentabilidade estabelecidas para 2015, o que comprovou o seu compromisso com operações mais sustentáveis e alinhadas com os desafios globais por mais alimentos, energia e proteção [1] (AGROLINK, 2013).

A empresa BASF também tem recebido sistematicamente significativos reconhecimentos em sustentabilidade. Somente em 2017 recebeu 25 reconhecimentos em toda a América do Sul pela atuação em inovação e sustentabilidade entre eles: Guia Exame de Sustentabilidade, Época Empresa Verde, Valor Inovação e Best Inovator ATKerney. Como citado no relatório de sustentabilidade da BASF do ano de 2011, a empresa ficou pelo 11º ano consecutivo no Índice Dow Jones de Sustentabilidade (DJSI World). Tal fato é bastante significativo, pois o DJSI World, lançado em 1999, tem como objetivo avaliar o desempenho de empresas com melhores práticas em questões ambientais, sociais e de governança (ESD- na sigla em inglês de *environmental, social and governance*) (B3, 2017).

No campo da responsabilidade socioambiental, a BASF foi listada também no *Carbon Disclosure Leadership Index* (CDLI), índice que aponta quais são as empresas líderes mundiais no combate ao aquecimento global. Tais conquistas, naquele ano, ocorreram devido à queda de 34,6% nas emissões globais de gases de efeito estufa por tonelada de produto vendido pela empresa desde 2002, número capaz de mostrar a eficácia de ações como o Programa de Atuação Responsável® da ABIQUIM (BASF, 2011). Além disso, é importante constatar a perpetuidade e a consistência do tema nas empresas, como exemplo, ainda, a empresa BASF, em seu relatório

[1] Desde 2012, a empresa gerou mais de US$ 6,7 bilhões em receita provenientes de produtos que reduzem as emissões de gases que provocam o efeito estufa. A DuPont definiu em 2012 um novo conjunto de metas focado na segurança alimentar global até 2020, relacionado com novas maneiras de produzir alimentos nutritivos e acessíveis de forma mais sustentável (AGROLINK, 2013).

anual do ano de 2017, manteve sua declaração e compromisso com o desenvolvimento sustentável, sendo este elemento essencial para o sucesso da empresa no longo prazo e ao longo da cadeia de valor, acrescentando que a sustentabilidade servirá mais do que nunca como ponto de partida para novas oportunidades de negócios e crescimento rentável, uma vez que sustentabilidade e inovação são forças que caminham juntas na estratégia da empresa para identificação de oportunidades e redução de riscos para geração de impacto positivo na sociedade (BASF, 2017).

Segundo pesquisa realizada pela revista *National Geographic*, que investigou os hábitos de 17 mil consumidores em 17 países, o Brasil ocupa a segunda posição no ranking de consumo sustentável. Atrás apenas da Índia, o País apresenta bons índices no uso de materiais renováveis em suas construções e no emprego extensivo de biocombustíveis (PASQUINI, 2014). Assim, no Brasil, diversas empresas de todos os setores promovem condutas de estímulo à consciência ambiental e redução do impacto de suas produções no meio ambiente: PETROBRAS, Banco do Brasil, Vale do Rio Doce, Furnas, Natura, Braskem etc.

O Banco do Brasil, por exemplo, firmou compromisso junto ao Ministério do Meio Ambiente para a realização de ações sustentáveis em seus negócios, que foi a Agenda 21, responsável por nortear o Desenvolvimento Regional Sustentável (DRS) e oferecer linhas de crédito a empresas que promovessem a sustentabilidade em suas linhas de produção (BANCO DO BRASIL, 2004).

A Natura busca realizar a venda de embalagens na forma de refil em sua linha de produtos como uma de suas ações relacionadas ao conceito de responsabilidade socioambiental e consumo consciente, sendo pioneira nesta ação desde 1983. O refil consome em média 30% menos recursos naturais do que a embalagem regular e, também, representa uma redução na geração de resíduos sólidos e na emissão de gases de efeito estufa. Como o produto custa, em média, 20% menos do que o produto regular, de acordo com a própria Natura, tratava-se de uma opção mais econômica para o consumidor final. A empresa também agrega suas ações sustentáveis na marca Ekos, relacionada à produtos elaborados com ativos da biodiversidade brasileira. A Natura promove o manejo sustentável dos ativos envolvidos na produção dos artigos da linha Ekos em associação com 19 comunidades rurais espalhadas pelo País (NATURA, 2013). Desde 2005, a empresa também estimula a substituição de matérias-primas de origem animal por aquelas provenientes de fontes renováveis. Todas as embalagens dos condicionadores e dos seus refis são feitas com o chamado polietileno verde, proveniente do etanol da cana-de-açúcar produzido pela

Braskem, que é 100% reciclável e emite menos carbono em sua confecção em relação aos seus congêneres tradicionais.

2.2 Tendências Globais motivando inovações com foco em sustentabilidade

Diversas tendências mundiais globais podem ser consideradas como motivadores chave de processos de inovação e de criação de valor para empresas e sociedade. As tendências apontam para mudanças de perspectivas fundamentais que direcionam as ações para muitos dos desafios atuais e futuros. Atuam como forças que movem e provocam profundas mudanças globalmente (MCKINSEY, 2018). Algumas tendências são atemporais e sofrem modificações constantes devido a um processo natural de amadurecimento em função do tempo e da convergência com outros temas emergentes. Análises de tendências passadas podem ser úteis para entendimento do caminho crítico que percorreram e dos fatores interferentes no seu processo de extinção, alteração ou evolução para novas tendências. Nas últimas duas décadas, o mapeamento de tendências globais contemporâneas e de curto, médio e longo prazo, bem como, o acompanhamento de sua evolução, se tornaram essenciais para o acirrado ambiente competitivo global, colaborando para reduzir o tempo necessário para a tomada de decisão (CNI, 2016).

Por meio de um levantamento realizado no processo de prospecção tecnológica proposto nesta tese foi observado que todas as 10 empresas que mais investiram em P&D globalmente em 2014 (1-Volkswagen, 2- Samsung, 3- Intel, 4- Microsoft, 5- Roche, 6- Novartis, 7- Toyota, 8- Johnson & Johnson, 9- Google, 10- Merck (CASEY, 2014), bem como as outras inúmeras empresas de todos os portes e segmentos monitoradas no nível 1 do método desenvolvido, apresentam como tendências os seguintes temas relacionados aos grandes desafios globais, a exemplo de: a) Sustentabilidade; b) Mudanças climáticas; c) Escassez de recursos naturais associado à redução do consumo de água e de outros recursos naturais; d) Redução da emissão de gases de efeito estufa; e) Aumento da população mundial - atualmente de 7,6 bilhões, projetada para 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões de pessoas em 2050 e 11,2 bilhões de pessoas em 2100 (NAÇÕES UNIDAS, 2017); f) Segurança alimentar; g) Urbanização; h) Revolução digital; i) Internet das coisas; j) Mudança do comportamento do consumidor; k) Fatores demográficos e envelhecimento da população mundial; l) Fatores relacionados com governança corporativa; m) Aspectos legais; n) Aspectos fiscais; o) Aspectos regulatórios; p) Adoção da economia circular; q) Esforços em economia verde e energias alternativas, entre outras.

A empresa Merck com gastos com P&D da ordem de 17% de sua receita global no valor de 7,5 bilhões de dólares em 2013, declarou que busca viabilizar a sociedade futura como um

dos grandes desafios globais, principalmente em campos estratégicos como saúde, meio ambiente, cultura, educação e urbanização (MERCK, 2017). A Intel também declarou que adotava em sua estratégia os seguintes aspectos: sustentabilidade, eficiência energética, mudança climática, transparência, ética, responsabilidade com a cadeia de valor e a tendência global relacionada à mudança de comportamento do consumidor. Suas ações são orientadas para o cliente, atuando em design, fatores relacionados à forma e modelos de uso e desenvolvendo a próxima geração de produtos com base nas necessidades e expectativas do consumidor em relação às ações em sustentabilidade e endereçando os desafios globais mais complexos (INTEL, 2017).

A Covestro (criada em 2015, mas anterior Bayer Material Science do grupo Bayer) que desenvolve polímeros de alta tecnologia, declara em sua estratégia que busca desenvolver soluções sustentáveis para os atuais maiores desafios: mudanças climáticas, esgotamento de recursos, expansão urbana, crescimento populacional e o consequente aumento da conscientização sobre questões ambientais. De acordo com a empresa, estes fatores motivarão inevitavelmente uma maior demanda por energias renováveis, recursos alternativos, transporte eficiente em termos de energia e habitação sustentável e acessível. A Covestro visa atender a esta demanda com materiais duráveis, leves, ecológicos e econômicos, os quais em muitos casos são substitutos adequados para materiais convencionais, como aço e vidro (COVESTRO, 2018).

Grandes atores do setor florestal tais como: StoraEnso, Billerudkorsnas, UPM, Borregaard, West Rock, também apontaram em seus relatórios de sustentabilidade anuais que suas estratégias são direcionadas por estas tendências mundiais, além de cooperação intensa em pesquisa e desenvolvimento. A empresa Billerudkorsnas, por exemplo, avaliou que o perfil do consumidor além dos aspectos demográficos tradicionais como idade, sexo e aspectos gerais de seu perfil, não serão mais os únicos marcadores definidores do perfil de consumo, ou seja, caminhamos para o fato de que cada vez mais os consumidores exigem ofertas sob medida, baseadas em necessidades, valores e preferências. Portanto, o novo foco seria, entender como produtos e serviços devem contribuir para a individualidade do consumidor e para uma experiência positiva de cada indivíduo (BILLERUDKORSNAS, 2017).

Dentre as tendências globais, a economia circular posiciona-se como sendo um modelo econômico reorganizado e focado na coordenação dos sistemas de produção e consumo em circuitos fechados, visando sobretudo: a) regeneração do capital natural; b) manutenção do valor agregado aos produtos por maior tempo possível; c) redução ao mínimo da produção de resíduos; d) redução do consumo de recursos naturais e matérias-primas essenciais, citando apenas como

exemplos: a) minerais não-metálicos, como os materiais de construção e os minerais industriais; b) o cobalto para as baterias utilizadas nos carros elétricos; c) o silício para os painéis solares; d) o ferro, o aço, o cobre, o alumínio e o níquel, entre muitos outros recursos naturais (ECO.NOMIA,2018; COM, 2018).

Deste modo, relevante tendência gira em torno da economia circular, conceito estratégico baseado na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia (ECO.NOMIA, 2018). A economia circular, como tendência global, tem sido incorporada nas ações das empresas, assim como, o tema tem sido inserido na agenda dos tomadores de decisões de negócios, governos e academia. Entretanto, segundo a Comissão Europeia, existem pontos principais de alavancagem para aumentar a circularidade da economia na EU, mas que ainda demorarão algum tempo para serem observáveis nas estatísticas. De qualquer maneira, estes aspectos precisam ser endereçados, bem como, necessitam do estabelecimento de valores de referência que apoiem o acompanhamento de futuros desenvolvimentos e a fundamentação de processos de decisão política (COM, 2018).

A economia circular (*circular economy* em inglês) se baseia em três princípios: eliminar resíduos e poluição por princípio, manter produtos e materiais em ciclos de uso e regenerar sistemas naturais, sendo muito mais do que apenas a gestão de resíduos e reciclagem. No entanto, esta última deve ser utilizada como indicador, mundialmente reconhecido, da eficiência na utilização dos recursos, que fazem parte, juntamente com outros, do plano de ação para a economia circular proposto pela Comissão Europeia: a) taxa globais de reciclagem dos resíduos urbanos (resíduos das habitações e resíduos de outras origens tais como: comércio de retalho, serviços de saúde, hotelaria, serviços de alimentação, resíduos de manutenção de parques, jardins, podas de árvores) e dos resíduos de embalagens (embalagens de plástico, madeira etc) e b) taxas de reciclagem de fluxos de resíduos específicos (resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, bioresíduos reciclados, resíduos de construção e demolição, resíduos provenientes da indústria agroalimentar e os gêneros alimentícios de origem não animal, resíduos da silvicultura, das pescas, das fossas céticas e das redes de saneamento e tratamento, dos veículos em fim de vida) (COM, 2018).

Ademais, a economia circular visa uma ação muito mais ampla desde o redesenho de processos, produtos e novos modelos de negócio até a otimização da utilização de recursos, minimizando sua extração, efetivamente circulando o mais eficientemente possível produtos, componentes e materiais nos ciclos técnicos e/ou biológicos (maximização da reutilização) (ECO.NOMIA, 2018; COM, 2018).

Segundo a Comissão Europeia, a geração de resíduos urbanos, os quais são definidos como resíduos domésticos e em espaços públicos, por habitante na UE baixou 8 % entre 2006 e 2016, para uma média anual de 480 kg por habitante. Este é um exemplo claro de um domínio em que cada cidadão pode contribuir positivamente. No entanto, verificam-se grandes variações entre os Estados-Membros (entre 250 kg e 750 kg por habitante por ano) e a geração de resíduos urbanos ainda continuará crescendo em vários Estados-Membros. A quantidade de resíduos gerados ainda se correlaciona, até certo ponto, com o PIB por habitante. Em relação às taxas de reciclagem de resíduos urbanos, ocorreu aumento de 37% para 46% entre os anos de 2008 a 2016. Cinco Estados-Membros reciclaram mais da metade dos seus resíduos urbanos, contudo, cinco Estados-Membros ainda estavam abaixo dos 25%, enquanto que a meta proposta pela Comissão para 2030 é de 65%.

A reciclagem de resíduos biológicos urbanos na UE foi de 79 kg por habitante, em 2016, correspondendo a um aumento de 23% em comparação com 2007. Quanto à reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), os dados mostram que os níveis de recolhimento e de reciclagem variam de forma considerável entre os Estados-Membros da UE e indicam um grande potencial para melhorar. Em 2015, apenas quatro Estados-Membros reciclaram mais da metade dos equipamentos elétricos e eletrônicos colocados no mercado. Por fim, no caso dos resíduos de construção e demolição, vinte Estados-Membros comunicaram ter já alcançado a meta de 70% de valorização.

De acordo com a Fundação Ellen MacArthur, estabelecida em 2010, com a missão de acelerar a transição rumo a uma economia circular, o modelo econômico baseado nos padrões tradicionais de consumo linear, ou seja, extrair, transformar (produção) e descartar (eliminação) (em inglês *take-make-dispose*) estão enfrentando restrições quanto à disponibilidade de recursos futuros e atingindo seus limites físicos.

O fato é agravado e está associado às grandes tendências globais relacionadas com: a) o aumento da população mundial, pois estima-se que até 2030 a população global atinja 8,6 bilhões de pessoas (NAÇÕES UNIDAS, 2017); b) pressão sobre a disponibilidade finita de recursos naturais, que expõem todos os atores envolvidos (empresas, governo e sociedade) a riscos relacionados com a volatilidade dos preços dos recursos e interrupções de fornecimento; c) combate às mudanças climáticas; d) redução da emissão de gases de efeito estufa (ECO.NOMIA,2018). A transição para uma economia circular ajudará igualmente a alcançar os objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (COM, 2018).

De maneira geral, o que costumava ser considerado desperdício pode ser transformado em recurso, assim, a tendência para uma transição, visando a economia circular, desloca o foco para reutilizar, reparar, recondicionar e reciclar materiais e produtos existentes (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015), ou seja, um modelo focado na manutenção do valor de produtos e materiais durante o maior período de tempo possível no ciclo econômico (ECO.NOMIA, 2018).

A importância crescente da economia circular foi apontada como uma das tendências globais mais importantes para 2017 pela Euromonitor (EUROMONITOR, 2017) ao lado de outras tendências como o risco de se aumentar as barreiras comerciais, a ascensão dos aparelhos multitarefas e da sofisticação tecnológica a qual está trazendo mudanças inovadoras na forma como as pessoas trabalham e a integração na vida profissional (em inglês *work-life integration*).

A partir de 2017, a economia global entrou em um período maior de volatilidade política, particularmente em economias avançadas. Fortes discussões têm ocorrido em torno de temas relevantes em todo o cenário tais como: dinâmica dos negócios, cidades, economia, finanças e comércio, industrial, recursos naturais, consumidor digital, famílias, rendimento e despesa e população (EUROMONITOR, 2017).

Investimentos em infraestrutura para estimular o crescimento econômico também entrou em pauta em 2017 para algumas economias que se recuperaram da crise financeira e foram motivados pela urbanização em mercados emergentes (EUROMONITOR, 2017). Assim, outra tendência global importante gira em torno do tema urbanização que, por sua vez, também direciona o consumo (BILLERUDKORSNAS, 2017), (PwC, 2017). Entretanto, a urbanização sustentável é a chave para o desenvolvimento bem-sucedido (NAÇÕES UNIDAS, 2017).

No Brasil, economia circular é um tema que necessita ser melhor divulgado, pois apresenta muitas possibilidades e análises dentro do contexto de cada segmento ou produto, entre outras possíveis segregações que permitam análises valiosas para o entendimento e debates de sua evolução. Como exemplo de divulgação sistemática do tema, a Profa Dra. Suzana Borschiver, seu grupo de pesquisa e profissionais convidados tem publicado sistematicamente em seu blog estudos de casos sobre economia circular relacionada com diversos temas, até o momento já foram publicados 12 textos: 1) Como medir a economia circular?; 2) A Tabela Periódica Circular; 3) O Início de um Ciclo; 4) A Química é Circular; 5) Logística Reversa na Economia Circular; 6) A Simbiose Industrial além das fronteiras; 7) Economia Circular e Indústria Química; 8) Novos caminhos: Economia Criativa na Moda & Economia Circular; 9) Catalisando a Economia Circular; 10) O Setor Energético na Economia Circular; 11) O que a Biotecnologia

tem a ver com a Economia Circular? e 12) Mitos e Verdades sobre a economia circular (BORSCHIVER, 2018).

A urbanização acelerada é outra das grandes tendências globais previstas para as próximas décadas e basicamente tende a aumentar a demanda por soluções em infraestrutura das grandes cidades. De acordo com a PRICEWATERHOUSECOOPERS -PWC (2017), a ONU projeta que 4,9 bilhões de pessoas serão moradores urbanos. Entretanto, em documento referente à revisão de 2018, as Nações Unidas apresentaram que atualmente 55% das pessoas vivem em áreas urbanas (4,2 bilhões), em 1950 eram apenas 30% (751 milhões) e, em 2050, 68% da população mundial é projetada para ser urbana. A Índia tem a maior população rural (893 milhões), seguida pela China (578 milhões) (NAÇÕES UNIDAS, 2017).

A mudança de comportamento do consumidor é diretamente afetada pelo processo de urbanização, considerado um processo de crescimento tanto no sentido da expansão das cidades em extensão territorial, quanto no de crescimento da população urbana. Acostumada a um estilo de vida diferente no espaço rural, quando esta população se depara com novas necessidades e novas oportunidades de consumo nas grandes cidades, seus hábitos de consumo tendem a mudar significativamente. Este fato traz oportunidades para as empresas que se posicionarem de maneira adaptável, buscando por se sobressair e ganhar a confiança do consumidor. Esta mudança impulsionará uma demanda crescente por soluções inteligentes que lidarão com as seguintes questões: habitações urbanas, materiais de construção de baixo custo viabilizando moradia para todos e soluções para temas como: segurança, abastecimento de água, transporte público, mobilidade urbana, educação, saúde, necessitarão entrar na agenda e nos projetos de planejamento urbano.

Os movimentos relacionados ao processo de deslocamento populacional do tipo campo-cidade causam fortes impactos na sociedade, assim de acordo com a BCG (2018), a urbanização deve ser responsável pelos aumentos de preço e pela necessidade de maiores e mais efetivas soluções para reciclagem, entre outros movimentos a serem endereçados. Segundo o relatório da PRICEWATERHOUSECOOPERS -PWC (2017), ainda, existem oportunidades para as empresas do setor florestal, pois será eminente a necessidade de se desenvolver alternativas para cimentos e metais, tais como soluções em papel, celulose e madeira que efetivamente podem ser usados como materiais de construção civil.

Tendências globais relacionadas com as tecnologias pioneiras, como inteligência artificial, novas formas de comunicação, robótica, automação, indústria 4.0 e outras estão alterando a arquitetura do trabalho para maximizar o valor dos seres humanos e das máquinas,

de uma forma muito mais rápida do que muitas organizações privadas e públicas esperavam. Estas fortes tendências estão mudando fundamentalmente como o trabalho é feito, quem faz e como isso influencia a sociedade. Neste contexto, existem sérias preocupações sobre, por exemplo, as tendências globais indicarem potenciais perdas de empregos. Entretanto, para algumas das empresas líderes (Amazon, Walmart, Microsoft, IBM, FaceBook, CocaCola, Morgan Stanley) é importante o reconhecimento de que estas tecnologias são mais eficazes quando complementam os seres humanos e não os substituem. A expectativa é que estas organizações canalizem suas forças para o uso da tecnologia visando um bem mais amplo, sendo capaz de criar oportunidades para organizar o trabalho com mais eficiência de modo a apoiarem seu crescimento sustentável (DELLOITE, 2018).

Além disso, a produção sustentável, a eficiência industrial e a revolução digital também são apontadas como fortes tendências globais. Otimização do uso de recursos naturais, matérias-primas, redução de custos operacionais, manufatura avançada, novos materiais, automação industrial, impressora 3D, inteligência artificial, estratégias digitais alterando os modelos de negócios são os fatores mais importantes considerados. A eficiência energética, por exemplo, é atualmente a principal diretriz tecnológica na indústria automotiva, aliada às questões relacionadas à sustentabilidade. Sua presença resultou em novas tecnologias de propulsão e energias alternativas, representando um novo paradigma do ponto de vista industrial (DELLOITE, 2018).

No mundo corporativo, tendências relacionadas à atuação com responsabilidade na cadeia de valor, também vigoram em pauta, pois para as empresas não é mais suficiente o negócio principal ser sustentável, existe cada vez mais a necessidade de fornecedores e parceiros também serem sustentáveis. Assim, aspectos legais, fiscais, governança corporativa e regulatórios também atuam como tendências globais na busca por crescimento sustentável nas organizações.

De acordo com relatório publicado pela Delloite Insights, aproximadamente 65% dos CEO(s) entrevistados classificaram o crescimento inclusivo como uma preocupação do mundo corporativo três vezes maior do que com o valor para os acionistas. Isso indica que nos dias atuais, as empresas incorporaram tendências externas e perspectivas, oriundas não apenas da voz de clientes, fornecedores e colaboradores, mas incluindo interações com comunidades locais, órgãos reguladores e outros importantes atores. Isto representa um desafio para os líderes empresariais que necessitaram passar a agir de forma transparente com a informação, melhorar a colaboração, construir confiança, credibilidade e consistência por meio de suas ações para

manter a reputação da organização e para reter, manter, atrair e engajar todo os atores (DELLOITE,2018).

As tendências globais relacionadas com a mudança de comportamento do consumidor também devem ser consideradas. Os consumidores de hoje estão cada vez mais interessados em confiança e relacionamentos autênticos com as marcas. Assim, em relação ao comportamento dos consumidores, as principais tendências apontadas pela Euromonitor (2017) são: autenticidade (de acordo com sua individualidade), conveniência e experiência de consumo. O novo consumismo influenciará fortemente o comportamento, uma vez que os consumidores reavaliam suas prioridades e valores. Deste modo, do lado dos consumidores, não existe mais o desafio de manter e expandir a eco-consciência, pois cada vez mais eles precisam de suporte para gerenciar o fim de vida de seus produtos.

A PricewaterhouseCoopers -PwC (2017) também pontua que os consumidores ao se concentrar em criar melhores experiências de consumo, impulsionam melhores e inovadoras estratégias digitais. Por meio da internet, os consumidores atuais, principalmente da geração Y ou Millenium, rastreiam informações sobre as empresas e seus produtos, expressam suas opiniões negativas e positivas nas redes sociais, em tempo real, e participam de movimentos globais. Organizações que se posicionam às margens deste cenário enfrentam questionamentos desconfortáveis por parte dos consumidores, os quais cobram por ações e resultados (DELLOITE, 2018). Questões críticas para a sociedade como desigualdade na distribuição de renda, cuidados com a saúde, longevidade e envelhecimento populacional, diversidade e segurança da informação (*cybersecurity*) são elementos que atualmente pressionam as organizações, mas que ao mesmo tempo lhes trazem oportunidades para ajudar a tornar o mundo mais igual e justo (DELLOITE, 2018).

2.3 Desafios da Indústria Química tendo bioprodutos como parte do seu futuro

Como se sabe, a economia atual depende, em grande parte, de combustíveis fósseis e, em especial, do petróleo, sendo que este último fornece a base da maioria das nossas matérias-primas energéticas e químicas. A Indústria Química moderna depende fortemente do petróleo como matéria-prima para a produção de *commodities* e especialidades químicas (DARKOW, 2013; CEFIC, 2018). Embora combustível e energia elétrica sejam os principais usos do petróleo, produtos químicos consomem parcela da produção das refinarias (HIRATUKA, 2000). Neste contexto, o comprometimento com o uso de fontes renováveis em substituição a produtos

provenientes de petróleo foi identificado como um dos 15 fatores determinantes para o futuro da Indústria Química na Europa para o ano de 2030 (DARKOW, 2013).

Os preços de óleo cru têm apresenta grande flutuação e atingiram valores elevados nos últimos 10 anos, chegando a exceder o valor de USD 100 por barril em dezembro de 2007. Em 2008, os valores atingiram USD 130 até USD 150 por barril (ULBER, 2011). Este histórico remete a uma projeção de cenário com preços de óleo cru elevados e por um longo período de tempo (CHEMSYSTEMS, 2012). Entretanto, observou-se uma queda abrupta a valores de USD 45 a USD 50 em dezembro de 2008 e em 2009. Em 2011, os preços voltaram ao patamar de USD 100 o barril enquanto que em 2014, observou-se nova queda abrupta, quando o custo do petróleo passou de USD 108 por barril em janeiro de 2014 para USD 57 em dezembro de 2014, mantendo-se nos últimos anos em patamar abaixo de USD 70 (2015 a abril de 2018). A Figura 2.1 demonstra a flutuação do preço do barril de óleo cru, na Europa e nos USA, de fevereiro de 1986 a abril de 2018.

Figura 2.1 – Histórico de preços do barril de óleo cru de fevereiro 1986 a abril de 2018.

Fonte: Adaptado de Chemsystems (2012) e BBC News Business (2018).

Além disso, dentro das próximas duas décadas, segundo algumas previsões, o consumo de energia e de matérias-primas vai subir muito mais que 50% e, como consequência, resultará em explosão de custos. Isso ameaça o desenvolvimento econômico e, por conseguinte, a prosperidade global (CHEMSYSTEMS, 2012). A consciência sobre o aumento dos preços do petróleo no mercado mundial e sobre o aumento da responsabilidade ecológica global exigem novas estratégias na produção industrial. Pode-se verificar que dentre todos os movimentos observados nos últimos anos, os bioprodutos químicos foram, desde que economicamente

viáveis, parte do futuro da Indústria Química mundial, quando a tendência for diminuir a dependência por produtos de base petroquímica.

A Indústria Química tem um papel importante a desempenhar na transição para uma sociedade sustentável e, como parte da estratégia da Bioeconomia na União Européia, está o acesso à biomassa pela Indústria Química. Dessa forma, de acordo com o CEFIC (*European Chemical Industry Council*), a Indústria Química encontrou na bioeconomia uma oportunidade para expandir e diversificar a base de sua matéria-prima, bem com, de viabilizar a bioeconomia em toda a cadeia de valor:

a) utilizando fontes renováveis em diferentes produtos tais como: energias e combustíveis, alimentos, medicamentos, cosméticos, embalagens, tintas, lubrificantes, adesivos, químicos, detergentes e produtos de limpeza, produtos de plástico e borracha;

b) reciclagem de produtos: biorreatores e compostagem;

c) apoio ao cultivo da biomassa renovável: fertilizantes, nutrientes, defensivos agrícolas;

d) fracionamento da biomassa: separação de químicos, resinas, enzimas, microorganismos;

e) processamento das biofrações: biogás, diesel renovavável, bioetanol, xilitol, licor negro (CEFIC, 2015).

Em 2015, as Nações Unidas definiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS ou SDGs em inglês) como parte de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável com meta para 2030, discutida na Assembleia Geral da ONU. A partir da definição dos 17 objetivos (ODS) e das 169 metas a serem cumpridas até 2030, ficou evidenciado que os países buscam acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas.

Segundo Thierry Vanlancker, o Acordo Climático de Paris e os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (SDGs -United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development-UN 2030) estabeleceram uma direção clara para uma sociedade mais sustentável, na qual a Indústria Química pode contribuir significativamente para o atingimento destes objetivos globais baseado em quatro pilares: 1) economia de baixo carbono; 2) adoção dos princípios da economia circular; 3) eficiência de recursos e 4) foco e preocupação com a pessoas e com o planeta. A Indústria Química é particularmente a peça chave para garantir os objetivos do SDG 7 (garantir o acesso a energia moderna para todos) e SDG 13 (ações urgentes para combater a mudança climática e seus efeitos) (CEFIC, 2017). Empresas que investem fortemente

em P&D como a MERCK declaram em seu relatório anual que estão comprometidas a atender e apoiar a ONU nestes ODS até 2030 (MERCK, 2017).

As empresas estão desenvolvendo modelos de negócios direcionados ao enfrentamento dos desafios da sustentabilidade e da mudança do eixo de produção. Associado a isto, a Indústria Química busca compreender como a abordagem de sustentabilidade impacta a sua cadeia de valor (CEFIC, 2013), procura efetivamente evoluir em negócios sustentáveis baseando-se em biomassa (ILES, 2013) e apresenta ações para se posicionar como agente de mudança deste cenário.

A inovação é um ponto central para a competitividade da Indústria Química global, sendo um dos seus importantes pilares, uma vez que o setor trabalha na identificação e solução dos principais problemas enfrentados pelo mundo: necessidade de água potável, geração de energia renovável, conservação de energia e aumento da produção agrícola. A inovação conectada aos princípios da sustentabilidade busca ofertar uma ampla variedade de soluções de alta tecnologia para a conquista de competitividade de mercado, desenvolvimento econômico, criar empregos, criar novos produtos e novos setores, possibilitando que as Indústrias Químicas possam competir com base no custo ou no maior valor agregado (MEI, 2016; DOW, 2018).

A Indústria Química é um dos mais importantes e dinâmicos setores da economia mundial e, também, da economia brasileira. Entretanto, a Indústria Química brasileira enfrenta desde 2007, um significativo agravamento no aumento do déficit da balança comercial, atingindo 28 bilhões de dólares em 2012, e manteve valores altos em torno de 31,2 bilhões de dólares em 2014, 25,4 bilhões de dólares em 2015, 22,1 bilhões de dólares em 2016 e 23,4 bilhões de dólares em 2017.

Nos últimos anos, visando colaborar com ações para uma nova política industrial para o setor químico no Brasil, diversas entidades, como o BNDES, buscaram identificar as oportunidades de diversificação da Indústria Química brasileira com foco em produtos químicos de alto valor agregado, e, ainda, no fortalecimento das cadeias produtivas e no desenvolvimento e implantação de novas tecnologias. Dessa forma, importantes iniciativas foram realizadas por parte de diferentes atores, com capacidade de colaborar na elaboração de políticas públicas, para atuar efetivamente na reversão do atual quadro de déficit da balança comercial no Brasil. Um bom exemplo é o caso do BNDES que, por meio de chamada pública BNDES/FEP nº 03/2011, desenvolveu estudo, entre maio de 2013 a maio de 2014, para identificar e avaliar oportunidades de diversificação da Indústria Química brasileira, com destaque a produtos de maior valor agregado, integração das cadeias atuais e novas tecnologias (BNDES, 2013).

Existe ainda, uma movimentação mundial na busca por fontes alternativas de energia. De acordo com o IEA (International Energy Agency) - Task 39 [2], tanto a bioenergia como os biocombustíveis são importantes componentes do portfólio de energia verde de um país. Embora existam inúmeras opções de energias renováveis para aquecimento e geração de energia, os biocombustíveis são atualmente os únicos meios de deslocamento de combustíveis fósseis líquidos, como gasolina, diesel e combustíveis de aviação (BACOVSKY, 2013).

A área denominada sucroquímica, ou seja, o uso da sacarose como matéria-prima de fonte renovável vem despertando, nos últimos anos, grande interesse como novas rotas industriais na economia brasileira. A produção nacional de derivados de açúcar de alto valor agregado, que hoje são em grande parte importados (exemplo: surfactantes não iônicos, polímeros, adoçantes, emulsificantes etc), contribuiria para a redução do *déficit* da balança comercial química do país (CGEE, 2010).

Segundo a publicação do CGEE (2010) sobre Química Verde no Brasil, o País se encontra em uma posição privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas, por possuir fatores relevantes tais como: maior biodiversidade do planeta, intensa radiação solar, água em abundância, diversidade de clima e pioneirismo na produção de bicombustíveis da biomassa em larga escala (exemplo: etanol).

A utilização de biomassas para a produção de biocombustíveis e de bioprodutos deverá crescer nos próximos anos e ter peso significativo na economia mundial, em particular, na economia brasileira, conforme conclusão dos autores referência desta tese em Roadmap Tecnológico na área de renováveis (COUTINHO & BOMTEMPO, 2011).

Bioprodutos químicos tornaram-se um dos assuntos mais discutidos pelas empresas químicas nos últimos tempos, representando um novo horizonte com relação aos negócios, inovação, desempenho e sustentabilidade (KAISER, 2012). Entretanto, o estabelecimento e a prosperidade de uma economia mundial de base biotecnológica dependem diretamente da avaliação do que é tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente desejável (RAICHER, 2011). Sem dúvida serão os aspectos econômicos que definirão as tecnologias e os produtos promissores (ULBER, 2011).

Muito esforço foi e ainda contina sendo dedicado a novos desenvolvimentos, especialmente no campo da energia e dos plásticos que desempenham papel crucial no estilo de vida moderno. O setor tem avançado significativamente nos últimos anos buscando rentabilidade

[2] IEA (International Energy Agency) - Task 39 é um grupo de especialistas internacionais que discute e atua no direcionamento de esforços para comercializar biocombustíveis de transporte sustentáveis (BACOVSKY, 2013).

e mercado para os produtos bioderivados. Existe um crescente otimismo de que a substituição de produtos oriundos de fonte petroquímica irá se expandir com o desenvolvimento da tecnologia e o aumento das exigências do mercado (BAKER, 2012) (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2017).

Empresas e pesquisadores em todo o mundo estão buscando desenvolver monômeros de base biológica, novos produtos químicos e/ou biopolímeros, a partir de métodos/recursos biológicos/ biotecnologias industriais ou por métodos químicos de conversão de matérias-primas naturais (REDDY, 2013). A ampliação do potencial de aproveitamento das matérias-primas de origem renovável tem provocado importantes mudanças nas bases estruturais da Indústria Química. Surge, ao redor deste processo, a formação de uma nova indústria baseada em biomassa vegetal, além do estabelecimento de uma nova cadeia produtiva em um cenário bastante complexo com diferentes desafios a serem enfrentados pelos atores diretamente envolvidos nesta estruturação.

A indústria baseada em matérias-primas renováveis, termo em inglês *biobased industry*, ainda não possui estrutura industrial bem definida e encontra-se claramente em pleno processo de estruturação (BOMTEMPO,2013; CEFIC, 2018).

A produção e a comercialização de produtos químicos, a partir de fontes renováveis, são dois pontos que estão criando uma movimentação turbulenta no processo de formação desta nova bioindústria. Além da indústria, outros setores envolvidos como governo, academia e, principalmente, o consumidor final, também apresentam importantes ações específicas.

Desta maneira, observaram-se o surgimento de diversos projetos relacionados com iniciativas de colaboração entre grupos (c*lusters*) interessados em setores específicos como biorrefinarias, a exemplo do projeto *Star-Colibri* da União Europeia. Este projeto foi motivado pelo fato de que um dos desafios na Europa era que a pesquisa no campo da biorrefinaria era altamente fragmentada, ocorrendo a duplicação de esforços, sobreposições e uso inadequado dos recursos. Iniciado em novembro de 2009 e finalizado em novembro de 2011, este projeto teve como meta iniciar novas formas de colaboração entre diferentes grupos de interessados (*StarClustering*) para que todo o desenvolvimento em biorrefinarias pudesse se mover mais rápido com as ações mais coordenadas (*EU fast-tracking*). O projeto recebeu aporte de recursos financeiros do 7 º Programa Quadro da Comissão Europeia e culminou na publicação de dois documentos importantes: *Joint European Biorefinery Vision for 2030* e *Joint European Research Roadmap 2020* (STAR-COLIBRI, 2011).

2.4 Indústria Química em transformação no Brasil e no mundo

O uso de matérias-primas de fontes renováveis, na produção de energia e bioprodutos químicos, e as novas alternativas de preparação de substâncias químicas de origem não-petroquímica, constituem os atuais fatores principais de transformação do setor químico. Nos últimos anos, alguns dos maiores atores na Indústria Química têm efetivamente apresentado ações concretas na busca por soluções sustentáveis, por novas fontes de matérias-primas e por produtos a partir de fonte renovável (CEFIC,2018; MCTI, 2017).

Grandes corporações multinacionais como a AkzoNobel, StoraEnso, DuPont, Total, BASF, BP, DSM entre muitas outras, lançaram estratégias corporativas visíveis e com mensagens claras em torno das intenções de desenvolver produtos químicos de base biológica.

Da mesma forma, as empresas no final da cadeia produtiva e mais próximas ao consumidor final, detentoras de grandes marcas como: Coca-Cola, Estée Lauder, Danone, McDonalds, Starbucks Coffee, WalMart, Audi, P&G, Heinz, C&A entre outras, procuram cada vez mais produtos bioderivados, visando ofertar uma experiência positiva para cada indivíduo, em relação à sua consciência sobre o planeta terra. Isto reflete em uma atitude muito interessante para toda a cadeia de valor.

Segundo análise de atores importantes do setor, como exemplo a Embrapa Agroenergia, o Brasil tem na biomassa a oportunidade tanto para continuar aumentando a participação de renováveis em sua matriz energética, quanto para equilibrar a balança comercial da Indústria Química, que tem mais de USD 30 bilhões de déficit anualmente (EMBRAPA, 2017).

Biorrefinarias são consideradas importantes para a estratégia de viabilizar o uso e processamento da biomassa vegetal na Indústria Química (VAZ, 2013; MCTI, 2017), uma vez que, as soluções devem privilegiar a eficiência no uso dos insumos e da energia que se trata do objetivo explícito das biorrefinarias (EMBRAPA, 2013).

O conceito de biorrefinaria é uma combinação das plantas integradas que tratam da transformação e fracionamento de recursos biológicos renováveis, transformando-as em vários produtos dentro de uma plataforma química ou em blocos de construção químicos, ou em subprodutos de processos de produção de combustíveis análogos à indústria petroquímica hoje (CGEE, 2010).

Assim, as biorefinarias são complexos industriais, onde processos e equipamentos convertem biomassas em combustíveis, energia e produtos químicos. A questão-chave desta proposta seria a produção de grande volume de um determinado produto de baixo valor agregado (biocombustíveis, por exemplo) e pequenos volumes de outros produtos químicos bioderivados

com alto valor agregado como blocos construtores ou intermediários químicos, ou seja, moléculas precursoras para a síntese de vários produtos de grande interesse comercial (VAZ, 2013; CGEE, 2010).

A princípio, o modelo da nova bioindústria deverá buscar integração completa da biomassa até o produto químico, passando pela produção de energia e biocombustíveis, a exemplo do que ocorre na cadeia petroquímica. Até o momento este é o modelo vencedor de biorefinaria, como o da empresa DuPont e, também, como o próprio modelo da indústria de álcool/açúcar brasileira.

As Usinas de Açúcar e Álcool brasileiras representam um exemplo de um embrião de uma biorefinaria bem-sucedida: integram processos de produção de álcool, açúcar e energia elétrica e abrem novas possibilidades, tais como a produção de etanol de 2ª geração e de materiais com maior valor agregado (RAICHER, 2011, SOUZA, 2017).

A DuPont, por exemplo, anunciou a concentração de esforços em três importantes divisões de negócios: agricultura e nutrição, que por sua vez engloba sementes, defensivos agrícolas, ingredientes para indústrias de alimentos; biocombustíveis (combustíveis e bioquímicos) e materiais avançados incluindo polímeros, plásticos de engenharia, materiais de proteção e segurança, além de energia alternativa.

Em 1996, 43% da receita do grupo era proveniente de produtos oriundos do petróleo, 18% era de materiais avançados, 17% era de *commodities* de fibras e apenas 7% era oriundo da agricultura, nutrição e biotecnologia. Em 2012, observou-se clara alteração sendo que 43% da receita foi proveniente da agricultura, nutrição e biotecnologia e apenas 20% da receita do grupo teve origem em produtos oriundos do petróleo, como pigmentos e especialidades químicas (SCARAMUZZO, 2013).

Como exemplo, pode-se citar o caso da Genomatica, empresa *spin-off* da Universidade da Califórnia San Diego (UCSD), fundada no ano de 2000, por dois pesquisadores doutores: Christophe Schilling e Bernhard Palsson, com o reconhecimento da proposta de valor apresentada por modelos de computador de organismos “Vivo” e seu metabolismo.

A trajetória da empresa Genomatica deve ser analisada com atenção e destaque, pois demonstrou uma sequência de movimentos estruturados para financiamentos, parcerias e marcos técnicos de produção.

A empresa recebeu apoio para o desenvolvimento de sua tecnologia por meio de várias licenças e parcerias com as maiores empresas da Indústria Química (Grupo Mossi & Ghisolfi (M&G), BASF, Novamont, Braskem, Eni Versailes, DuPont Tate & Lyle, Mitsubishi Chemical Corporation entre outras) e com isso em apenas cinco anos alcançou a escala comercial de seu processo (LUX RESEARCH, 2012).

Nos últimos 5 a 10 anos, um elevado número de novas empresas da bioindústria americana recebeu grandes incentivos de programas governamentais, como do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América Energia (DOE) e de Agricultura (USDA), para a busca por processos de tratamento do material lignocelulósico visando à produção de açúcares de baixo custo (CEFIC,2018; BOMTEMPO, 2013). No Brasil, diversas empresas apresentaram iniciativas na área de renováveis. No contexto do setor sucroenergético existem pesquisas sobre formas de aproveitamento das culturas.

Para acelerar o desenvolvimento em escala comercial do etanol de segunda geração, produzido a partir da palha e do bagaço da cana-de-açúcar, iniciativas foram observadas quando o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) abriu uma linha de crédito em 2012 por meio do programa PAISS [3], que foram utilizadas por diversas empresas brasileiras e presentes no país, ativas no desenvolvimento de tecnologias de segunda geração, como Raizen, CTC e GranBio. Em janeiro de 2013, o BNDESPAR, braço de participações do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), tornou-se acionista minoritário da GranBio, com 15% do capital total da companhia (operação de 600 milhões de reais).

A empresa construiu a primeira usina de etanol celulósico em escala comercial do País com capacidade para produzir 82 milhões de litros/ano, no Estado de Alagoas (SZWARC, 2013). Pelo fato de esta usina ter sua capacidade de produção equivalente às unidades de primeira geração, representou o primeiro passo para a integração da segunda geração na cadeia produtiva do País, estimulando outras empresas a seguirem caminhos similares. Assim, outras inicitivas foram seguidas como foi o caso da PETROBRAS e da Raízen, que também anunciaram planos em etanol de segunda geração.

[3] O Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) foi uma iniciativa conjunta do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para seleção de planos de negócios e fomento, com a finalidade de organizar a entrada de pedidos de apoio financeiro no âmbito das duas instituições e permitir maior coordenação das ações de fomento e melhor integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis. O PAISS forneceu apoio aos projetos que contemplavam o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa oriunda da cana-de-açúcar (BNDES, 2013).

Entretanto, nos últimos anos a empresa GranBio tem apresentado declínio em seus resultados financeiros, dificuldade de estabilidade operacional da unidade em escala comercial, principalmente na fase do pré-tratamento e, portanto, dificuldade em gerar receita (NOVA CANA, 2018).

As iniciativas em renováveis no Brasil foram citadas no artigo *Brazil's big six in advanced biofuels and chemicals: who's doing what now*? publicado no site Biofuels Digest. O autor Jim Lane (2013) destacou as seguintes empresas:

a) a Amyris com sua produção de farneceno na unidade industrial ao lado da Usina Paraíso desde dezembro de 2013;

b) a Solazyme, em associação com a Bunge, em fase de construção da sua unidade industrial de óleos especiais e seu anúncio para 2014 sobre o início da produção em escala comercial;

c) a GranBio, já analisada anteriormente, devido aos seus planos em etanol celulósico e em biobutanol em parceria com a Rhodia;

d) a Raízen em associação com a Cosan concretizando o financiamento para sua primeira planta de 40 milhões de litros de etanol celulósico a partir de bagaço de cana, integrada a outra de etanol de primeira geração (Costa Pinto, em Piracicaba), com início de produção em 2014. A Raízen anunciou ainda que a construção foi prevista para custar USD 90 milhões e que pretendia ter oito usinas para produção de etanol avançado até 2024.

Embora em fase inicial de implantação, o etanol celulósico apresenta grande potencial de crescimento, devido ao reaproveitamento dos resíduos da produção de etanol e açúcar em quantidade abundante. Além disso, não depende da produção de alimentos para sua industrialização e nem da expansão da área plantada com cana-de-açúcar (SZWARC, 2013).

Um dos principais desafios para o Brasil está na busca pela competitividade do combustível de segunda geração em relação ao de primeira. Em geral, o custo no Brasil da produção do etanol de primeira geração, convencional, é mais baixo do que em outros países. A busca pela competitividade no Brasil poderá induzir a uma maior inovação nas tecnologias para redução do custo de produção, provocando um volume crescente de produção de combustível de segunda geração e uma possível maior aceitação do mercado a este tipo de biocombustível pela sustentabilidade em sua produção.

Segundo a PETROBRAS, o diferencial da tecnologia do etanol de segunda geração é o aproveitamento de bagaço de cana-de-açúcar, o que permite um aumento na produção de até 40% sem necessidade de ampliar a área plantada com canavial (PETROBRAS, 2014). A PETROBRAS iniciou suas pesquisas em etanol celulósico em 2004, em parceria com instituições científicas e empresas de tecnologia nacionais e internacionais, o que permitiu alcançar a maturidade tecnológica adequada para um projeto em escala industrial. A PETROBRAS pretendia produzir um biocombustível com custo competitivo e mais sustentável, implantando a nova usina de etanol de segunda geração acoplada a uma usina de primeira geração, buscando sinergias em utilidades, como vapor e energia elétrica (PETROBRAS, 2014).

De acordo com as estimativas do Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 [4], a demanda de etanol hidratado deveria saltar de 15,5 bilhões de litros para 55,9 bilhões de litros, entre 2011 e 2020. Esta demanda deveria ser plenamente atendida pela expansão da oferta, aumento da área de plantio de cana, da ampliação e implantação de unidades produtoras, bem como do uso de novas tecnologias, que aumentariam a eficiência de toda a cadeia produtiva, como a produção de etanol lignocelulósico. Dentro deste contexto, em relação ao bioetanol, etanol lignocelulósico ou etanol de segunda geração, vários estudos, como exemplo o Roadmap do CEFIC [5]. ((*European Chemical Industry Council*), apontavam para a busca de um crescimento significativo impulsionado pela política, pelos preços elevados do petróleo e pelos avanços tecnológicos (BLOOMBERG, 2012) (CEFIC, 2013).

2.5 Desafios da biomassa vegetal

O papel atual e futuro da biomassa para o fornecimento de energia e para a bioeconomia vem sendo discutido mundialmente em diferentes fóruns e eventos do setor (CEFIC, 2018).

[4] O Plano Decenal de Expansão de Energia 2020, do Ministério de Minas e Energia, publicado em 2011, abordava as projeções futuras de energia elétrica incluindo petróleo, biomassa de cana, lenha, energia eólica, etc..

[5] O CEFIC (**European Chemical Industry Council)** é um fórum da Indústria Química da Europa. Representando 29 mil empresas químicas de grande, médio e pequeno porte e responde por 20% da produção química mundial. O roadmap do CEFIC foi publicado com o objetivo de explorar o impacto, as oportunidades e os riscos de vários cenários de desenvolvimento de energia e tecnologia para a Indústria Química Europeia no período 2020-2050. Este documento apresentava análises, conclusões e recomendações-chave para a inovação e desenvolvimento sustentável para uma economia de baixo carbono e de eficiência energética, para os produtos da Indústria Química a serem usados em todos os setores da economia e, ainda, para garantir a competitividade da Indústria Química europeia (CEFIC, 2013).

A exploração econômica da biomassa como matéria–prima alternativa à petroquímica e seu uso pela Indústria Química deve levar em consideração diferentes aspectos críticos, como exemplo sua disponibilidade (KAMM, 2006). Para algumas biomassas este fator não é o determinante via de regra, pois segundo relatório sobre mercado de biopolímeros publicado pela empresa TRANSPARENCY MARKET RESEARCH (2017), estima-se que o mercado de biopolímeros de amido na Alemanha, no período considerado no estudo de 2017 a 2025, deve aumentar a uma taxa de crescimento anual de 13,8%, principalmente impulsionado pela disponibilidade de matéria-prima na região, evidenciando sua importância no mercado de biopolímeros.

Diversos aspectos corroboram o fato relacionado à presença de uma clara estrutura industrial indefinida para a bioindústria baseada em recursos biológicos renováveis conforme apontando por BOMTEMPO (2013), entre eles, a eminente busca por vencer os desafios do uso dos diferentes tipos de biomassa vegetal: amilácea, lignocelulósica, oleaginosa e sacarídea, bem como, um modelo de agregação de valor econômico às cadeias agroindustriais como as da soja, cana-de- açúcar, milho, florestas e outras (KAMM, 2006; VAZ, 2013).

O termo biomassa se refere a qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal, incluindo as culturas dedicadas à energia (como a cana-de-açúcar para produção de etanol), árvores, alimentos, rações animais de origem agrícola, plantas aquáticas, madeira e resíduos de madeira e de animais e outros materiais residuais (SILVA, 2018, KAMM, 2006). As biomassas podem ser agrupadas e classificadas como: primeira geração, segunda geração e nova geração de biomassas (VAZ, 2013; CEFIC, 2013). As biomassas de primeira geração são as baseadas em carboidratos e englobam milho, cana-de-açúcar, trigo e beterraba. As biomassas oleaginosas de primeira geração incluem: soja, palma, coco, entre outras culturas. As biomassas de segunda geração englobam todos os lignocelulósicos como os resíduos de origem agrícola e agroindustrial, resíduos de madeira, culturas energéticas - gramíneas e madeira- e correntes de rejeito como resíduos sólidos municipais (MSW-em inglês *Municipal Solid Waste*) e resíduos do processamento de alimentos. As biomassas de nova geração são consideradas as culturas de óleo não-tradicionais como algas e jatrofa (VAZ, 2013).

Assim, do lado das matérias-primas renováveis observa-se um aumento da demanda e o estabelecimento de um grande esforço por soluções para o aproveitamento de resíduos de origem agrícola e agroindustrial disponíveis em quantidade abundante. Entretanto, um dos maiores desafios desta nova bioindústria em relação à transição do uso de matérias-primas petroquímicas para biomassa vegetal está justamente atrelado à sua desvinculação da competição com alimentos

que tendem a dificultar a sua adoção como alternativa sustentável. Além disso, a grande maioria das empresas envolvidas na produção de biocombustíveis e produtos bioderivados busca o acesso à matéria-prima de baixo custo para suprir sua plataforma produtiva. Na área agrícola os esforços concentram-se na busca por culturas com maior rendimento por hectare, adaptação climática e às condições de terra (LMC, 2012).

A maioria dos processos de transformação de biomassas para produtos bioderivados é baseada na conversão de açúcares C6, cujo consumo deve competir com a indústria de alimentos e de combustível. Este fato pode resultar em um aumento do custo do açúcar e uma discussão da sociedade sobre o uso da terra para a alimentação (PÖYRY, 2010). A disponibilidade limitada de açúcar já é um motivador (*driver*) para a utilização de fontes de carbono lignocelulósicas, como a biomassa a partir de resíduos agrícolas ou de biomassa florestal.

Muitos estudos têm sido apresentados abordando as diferentes biomassas disponíveis, com seus custos de produção e destaque às biomassas emergentes (LMC, 2012). Segundo Ulber (2011), a produção anual de biomassa era da ordem de 170 bilhões de toneladas, sendo que 75% são carboidratos na forma de celulose, quitosana, amido e sucrose; 20 % como lignina e apenas 5% para outros produtos naturais como óleos e proteínas. Assim, fica evidente que o maior foco é na conversão de carboidratos em produtos químicos renováveis.

O estudo da LMC (2012), sobre quais matérias-primas serão competitivas para bioprodutos químicos, também aponta que devido à grande quantidade e à diversificação de culturas de biomassas baseadas em carboidratos, esta plataforma de insumo agrícola apresenta maiores vantagens. As culturas mais competitivas baseadas em carboidratos (açúcares C5 e C6) identificadas neste estudo foram: cana-de-açúcar no Brasil; milho nos Estados Uniodos, grãos na Argentina; mandioca e grãos do sudeste da Ásia. Para as biomassas oleaginosas destacam-se os óleos de soja e de palma na Argentina, Indonésia e Malásia como os fornecedores mais competitivos em termos de preço e de volume. O glicerol é um subproduto da produção de biodiesel. Pode ser utilizado como fonte de carbono por diferentes bactérias sendo convertido em importantes produtos químicos (LMC,2012).

No roadmap publicado pelo CEFIC (*European Chemical Industry Council)* (2013), foi analisado o potencial da utilização de biomassa como matéria-prima e o estudo enfatizou que este aspecto tem atenção significativa em vários Estados- membros da União Europeia (EU). Representantes da Alemanha e da França indicaram que quantidades substanciais (aproximadamente 10%) de biomassa já são utilizadas como matéria-prima. Na França existe uma meta voluntária de 15% de matéria-prima de biomassa até 2020. No norte da Europa, os

esforços significativos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) estão em curso sobre o uso de produtos e resíduos florestais como matéria-prima para a Indústria Química, sendo que esta região pode desempenhar importante papel no desenvolvimento de uma Indústria Química de base biológica.

Entretanto, estes exemplos mostram que a disponibilidade de biomassa sustentável é muito mais limitada na UE e que há diferenças regionais significativas quanto ao potencial e a aplicabilidade dela como matéria-prima nesta região. No estudo também acrescentaram que apenas duas biomassas são adequadas e estão disponíveis para a produção de produtos químicos de base biológica na União Europeia: a palha e os produtos florestais (CEFIC, 2013).

Neste roadmap, ainda, foi concluído que o uso de biomassa depende de inovação. Foram identificadas quais áreas de pesquisa, importantes para a Indústria Química, incluem processos avançados de conversão de biomassa. A utilização de dióxido de carbono como matéria-prima (*Carbon Capture and Utilization*, CCU) está em fase muito inicial de desenvolvimento e não há estimativas quantitativas quanto ao potencial do CCU (CEFIC, 2013).

De forma geral, os principais desafios para o uso da biomassa destacados na literatura e em análises de empresas especializadas neste setor industrial (LMC, 2012) são:

a) disponibilidade de biomassa e de resíduos lignocelulósicos;
b) custo da biomassa;
c) fatores logísticos;
d) acesso dedicado às fontes de matérias-primas de biomassa;
e) garantia de fornecimento devido, por exemplo, às variações climáticas; estratégia safra/entressafra; matérias-primas diversificadas para permitir o uso da capacidade de conversão de biomassa durante todo o ano como uma das estratégias de controle da sazonalidade que levam à ociosidade de infraestruturas de produção caras; melhor biomassa em relação aos altos teores de celulose e hemicelulose e baixos teores de lignina e cinzas;
f) maiores rendimentos na conversão a bioprodutos químicos; maior produtividade no campo e por hectare; controle das composições que variam ao longo de uma mesma safra; formas variadas para diferentes biomassas e seus resíduos; infraestrutura insuficiente; foco em redução de custo de transporte; melhor uso da biomassa: cogeração de energia ou conversão a bioprodutos químicos; menor utilização de água e fertilizantes do que no cultivo dos cereais.

2.6 Tecnologias de conversão de biomassa em competição

De acordo com o CEFIC (*European Chemical Industry Council*), a bioeconomia possibilita a Indústria Química a expansão da sua base de matéria-prima e a oportunidade de integrar os processos de fermentação aos seus processos convencionais (CEFIC, 2018).

Existe uma grande variedade de rotas e soluções tecnológicas que se encontram em desenvolvimento, entre elas: rotas termoquímicas, químicas (catalíticas), rotas bioquímicas e a combinação entre elas. Basicamente, duas rotas se destacam: bioquímica e termoquímica (KAMM, 2006; ZAFAR, 2018; COUTINHO & BOMTEMPO, 2011; ZANG, 2018; KUMAR, 2017). Estas rotas se encontram em competição, não sendo claro, ainda, se uma delas virá a dominar o mercado ou se ambas se desenvolverão de forma complementar.

A conversão bioquímica da biomassa envolve o uso de bactérias, microorganismos e enzimas para decompor a biomassa em combustíveis gasosos, como exemplo, o biogás e o biometanol ou combustíveis líquidos, como o bioetanol. As tecnologias bioquímicas mais populares são a digestão anaeróbia e a fermentação. A digestão anaeróbia é o processo biológico natural, no qual uma série de reações químicas durante as quais qualquer material orgânico úmido é decomposto pelas vias metabólicas de microorganismos que ocorrem naturalmente em um ambiente pobre ou livre em oxigênio. Uma planta de digestão aeróbia produz basicamente duas correntes principais: biogás e material digerido. O biogás pode ser aplicado para produção de energia ou para combustível de veículos. O material digerido pode ser utilizado como fertilizante líquido (licor) ou fertilizante sólido de baixo nível de nutrientes (material fibroso) (ZAFAR, 2018). A conversão termoquímica da biomassa envolve a obtenção de uma fração intermediária uniforme que pode ser submetida aos processos de conversão biológica da biomassa, sendo esta rota descrita como híbrida, podendo ser classificada em dois processos distintos: a) gaseificação segjida de fermentação e b) pirólise rápida seguida de hidrólise e fermentação (KAMM, 2006).

De maneira geral, o material lignocelulósico é composto pelos açúcares: celulose (C6-45%) e hemicelulose (C5-30%) e, também por lignina (25%) como elemento de ligação na composição. Os blocos construtores da hemicelulose são glucose, xilose, manose, galactose, arabinose e ramnose (KAMM, 2006).

Os materiais lignocelulósicos possuem estruturas complexas e difíceis de quebrar, muitas vezes resistentes aos esforços de pré-tratamento devido à natureza complexa das paredes celulares de plantas e ao elevado grau de cristalinidade da celulose (KUMAR, 2017; SILVA, 2014; VAZ, 2013). As pentoses são açúcares redutores com cinco átomos de carbono. A xilose

é a pentose mais facilmente obtida a partir de matérias celulósicas e de menor custo, além de ser a segunda fonte de açúcar mais abundante na natureza (KAMM, 2006).

O processo denominado de pré-tratamento é a etapa de preparo da biomassa, ou seja, é o processo de rompimento da estrutura para separação das frações lignocelulósicas e exposição das celuloses e hemiceluloses para aumentar a eficiência da hidrólise a açúcares fermentáveis (hexoses -C6 e pentoses-C5). Os principais fatores relacionados com os desafios da etapa de pré-tratamento são: a) dificuldade na ruptura da estrutura da lignina a depender inclusive do teor deste componentes nas diferentes biomassas; b) redução do tamanho da partícula visando aumento da área superficial acessível; c) redução da cristalinidade da fração celulósica; d) cuidado para não degradar as pentoses; f) evitar a formação de inibidores que possam vir a prejudicar o processo de fermentação subsequente (KUMAR, 2017).

Existem vários métodos de pré-tratamento tais como: a) tratamento físico da matéria-prima para aumentar a sua área específica; b) tratamentos físico-químicos para desbloquear o acesso à celulose tais como: explosão a vapor (*steam explosion* a temperaturas de 180ºC a 240ºC por rápidos períodos de tempo de 5-10 min), tratamento com gás carbônico (CO_2) além das técnicas químicas convencionais utilizadas nas indústrias de papel e celulose como hidrólise ácida (1-3% de ácido sobre a biomassa seca, 200ºC por períodos de tempo de 10 s), hidrólise alcalina (soluções cáusticas), deslignificação oxidativa, organosolv[6], termo hidrólise, processo AFEX[7], entre outros como exemplo o método proposto por KANDANELLI (2017) com a utilização de um novo sistema ternário de solventes (DES-*deep eutetic solvent* – solvente eutético profundo - composto por cloreto de colina, ácido oxálico e n-butanol) empregado para a deslignificação da biomassa lignocelulósica, como exemplo casca de arroz, palha de arroz e palha de trigo, resultando em maior deslignificação (aproximadamente 50%) da biomassa lignocelulósica. Segundo os autores, a aplicação de fluidos eutéticos profundos em substituição aos líquidos iônicos tem sido proposto recentemente na literatura, como alternativa de menor custo e menor impacto ambiental.

As hemiceluloses podem ser hidrolisadas por estes vários processos (enzimático, químico e físico) e convertidas em açúcares monoméricos com grande pureza e de alto rendimento. O processo mais fácil é a hidrólise em meio ácido que geram as xiloses. Existem muitas pesquisas

[6] Organosolv - processo que combina num reator a dissolução total do lignocelulósico com tratamento com etanol a 75%, reação rápida, com baixa formação de subprodutos, com conversões acima de 65% e com potencial de atingir 80%, tecnologia provada em escala de demonstração.

[7] Processo AFEX - explosão das fibras lignocelulósicas na presença de amônia, conhecido por Ammonia Fiber Explosion.

neste campo, pois grandes esforços tecnológicos de empresas e grupos de pesquisas em universidades do mundo todo têm sido observados na busca por processos que vençam os entraves técnicos do processo de pré-tratamento da biomassa com características heterogêneas (KAMM, 2006).

Na hidrólise ácida, as condições para desdobramento da celulose a glicose são semelhantes às da decomposição da glicose (reações consecutivas). Por outro lado, a hidrólise ácida da hemicelulose transcorre rapidamente em condições mais brandas que as condições para a celulose, sendo que, as reações de decomposição das pentoses já acontecem simultaneamente (KAMM, 2006).

A xilose é obtida como subproduto durante o pré-tratamento do bagaço de cana por via ácida, enzimática e/ou explosão a vapor, feita com a intenção de se obter glicose, posteriormente transformada em etanol de segunda geração e, em alguns casos, a outros produtos químicos (KUMAR, 2017; SILVA, 2014; VAZ, 2013).

A hidrólise enzimática tem sido a tecnologia mais desenvolvida na produção de açúcares celulósicos. Em relação à conversão bioquímica das xiloses, existem aspectos chaves relacionados aos microorganismos para a fermentação a etanol que representam o estágio atual de desafios das pesquisas científicas e tecnologias como a tolerância à inibidores, rendimento e produtividade, além da dificuldade de separação das correntes de C5 (KAMM, 2006).

Comparado com os rendimentos para a conversão de glicoses a etanol, observam-se que muitos desafios devem ser vencidos para a conversão de xiloses a etanol.

A separação das correntes de hemicelulose para conversão em outros produtos químicos de alto valor agregado além de etanol poderia ser uma das alternativas para a relação custo-benefício destes processos de conversão de biomassa lignocelulósica. O uso de xilose como matéria-prima para produtos de maior valor agregado, em vez de fermentá-la a etanol juntamente a outros açúcares provenientes do fracionamento da biomassa, pode alterar os padrões atuais de utilização da biomassa lignocelulósica. Estudos de tendências apontam para o desenvolvimento e otimização de tecnologias que permitam a separação econômica de correntes de xiloses de outros açúcares que resultem da hidrólise da lignocelulose (KAMM, 2006).

Acredita-se que nas próximas décadas possa ocorrer o aproveitamento destas correntes de C5 e estes açúcares poderão ser usados para produzir grande variedade de bioprodutos químicos diretamente e de alto valor agregado, sendo o etanol um dos principais produtos finais ou matéria-prima para a produção de outros bioprodutos potenciais como biobutanol, bioácido

succínico, farneceno, potenciais biopolímeros, em vez de converter este carboidrato derivado em etanol ((KAMM, 2006).

Os inibidores produzidos a partir do processo de hidrólise de biomassa lignocelulósica são barreiras para a produção industrial de produtos químicos a partir de fontes renováveis. A severidade dos processos na etapa denominada de pré-tratamento é justamente exigida para separar os componentes da biomassa que interagem fortemente entre si por serem unidos por forças de ligações covalentes e não covalentes. Estes processos aplicados para a desconstrução da biomassa geralmente causam a sua degradação com subsequente formação de outros produtos químicos com características de inibidores (VAZ, 2013).

Devido às condições empregadas nos pré-tratamentos térmicos e químicos, uma série de compostos surgem e podem atuar como inibidores potenciais tanto da hidrólise enzimática, quanto da fermentação.[8] A produtividade e a eficiência do processo de fermentação são afetadas pela inibição pelo próprio produto produzido e pela inibição por substâncias formadas na etapa de hidrólise e presentes no caldo hidrolítico. Assim, existe um grande esforço na direção de efetivamente melhorar a tolerância aos subprodutos que inibem o processo fermentativo (WANG, 2013).

Algumas empresas têm buscado acelerar os desenvolvimentos de produtos químicos derivados de biomassa, entretanto, devem ficar atentas a alguns pontos importantes, tais como: evitar alternativas impraticáveis tanto do ponto de vista técnico como econômico, não realizar extrapolações perigosas a partir de dados em escala laboratorial/piloto, evitar rotas de síntese complexas, evitar a geração de correntes de subprodutos de difícil tratamento para posterior descarte no meio ambiente.

Além disso, deve ser validada a sustentabilidade do processo em escala comercial, pois os produtos químicos derivados de biomassa não são automaticamente verdes. Assim, devem ser processados por meio de métodos químicos adequados para torná-los produtos genuinamente sustentáveis de acordo com os doze princípios da química verde (CLARK, 2012).

A conversão industrial sustentável de biomassa atualmente exige o desenvolvimento de novos métodos de pesquisas e tecnologias específicas para as biorefinarias que envolvem

[8] Os tipos de compostos tóxicos e suas concentrações em hidrolisados lignocelulósicos dependem tanto da matéria-prima, quanto das condições operacionais empregadas no pré-tratamento (SANTOS, 2009). Os produtos de degradação, que são potenciais inibidores da fermentação, se agrupam em três categorias: derivados furânicos (furfural e 5-hidroximetilfurfural - HMF), ácidos orgânicos fracos (como ácido acético) e derivados fenólicos (PALMQVIST, 2000). Os inibidores afetam a integridade da membrana celular do micro-organismo utilizado como fermento (ZAUTSEN, 2011).

processos de conversão da biomassa unidos a equipamentos de produção de combustíveis, produtos químicos e energia (SCHUCHARDT, 2001; DE JONG, 2012).

A viabilidade econômica da produção de etanol de segunda geração a partir de bagaço pré-tratado, por exemplo, ainda está em fase de desenvolvimento (RAPIER,2018). Para o bagaço de cana tem-se que este poderia ser hidrolisado formando glicose que, em seguida, poderia ser fermentada produzindo etanol, mas este processo ainda não está desenvolvido a ponto de competir com o etanol produzido por fermentação de sacarose. Existem relatos na literatura mostrando que a celulose de bagaço de cana é mais resistente à hidrólise que celuloses de outras origens, o que pode ser uma desvantagem importante do bagaço de cana quando a tecnologia de segunda geração se tornar competitiva face aos outros materiais lignocelulósicos (RAPIER,2018; BHATTACHARYA, 2008).

Além dos aspectos abordados acima, alguns outros fatores também devem ser levados em consideração como entraves para as tecnologias de conversão de biomassa vegetal: a) elevado custo das enzimas hidrolíticas; b) processo de reciclo da enzima ainda não desenvolvido; c) problema de inativação da enzima por associação com lignina (SILVA, 2014); d) problema de inibição da enzima pela glicose formada; e) maiores rendimentos para bioprodutos químicos; f) maior produtividade específica com redução da cogeração de subprodutos.

Ademais, a substituição do processo de catalise ácida homogêneo por catalisadores heterogêneos verde, eficientes, com locais ativos e alta área de superfície é a tendência para os futuros processos de hidrólise da biomassa (ZANG, 2018).

2.7 Demanda por produtos químicos de base renovável

Nos últimos anos, a oportunidade de aumentar o mercado com produtos com marcas ecológicas e sustentáveis tem colaborado com a demanda por produtos químicos de base renovável. Conforme já abordado anteriormente, as próprias empresas petroquímicas, químicas e empresas do setor de plásticos e, inclusive de borrachas, detentores de importantes marcas mundiais têm se mobilizado para desenvolver novas plataformas no setor de renováveis (exemplo: BASF, BAYER, DuPont, Braskem, Arlanxeo, Lanxess, Solvay, Michelin, Bridgestone Corporation, entre outras) (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2017).

Segundo a European Bioplastics (2017), os bioplásticos representam aproximadamente 1% do total de 320 milhões de toneladas de plásticos produzidas anualmente. A produção global de bioplásticos deve aumentar de 2,05 milhões de toneladas em 2017 para aproximadamente 2,44 milhoes de toneladas em 2022. A distribuição por segmento de mercado (da capacidade de

produção global de bioplásticos em 2017 de 2,05 milhões de toneladas) foi a seguinte: 58% embalagens rígidas e flexíveis, 11% têxteis, 7% bens de consumo, 7% indústria automotiva e de transporte, 5% agricultura e horticultura, 4 % construção civil, 2% elétricos e eletrônicos e 6% outros (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017).

Para alguns autores, o desenvolvimento de biopolímeros e/ou bioplásticos[9] provenientes de recursos renováveis foi motivado nos últimos anos, em parte pela conscientização do consumidor com relação a aspectos de redução de consumo de produtos de fonte não-renovável, reciclabilidade, biodegradabilidade e redução da pegada de carbono ((TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2017; CEFIC, 2018, VOEGELE, 2010; KAISER, 2012). No caso dos bioplásticos observa-se que dentre as principais barreiras para a aceitação pelo mercado estão fatores econômicos e a forte concorrência com os plásticos à base de combustíveis fósseis, cujo processo produtivo e a utilização final foram otimizados ao longo de décadas e, por isso, são bem conhecidos em toda a cadeia de abastecimento.

Reforçando, segundo estudo realizado no âmbito do projeto Biochem, co-financiado pela European Comission (PÖYRY, 2010), o crescimento futuro dos produtos bioderivados será afetado diretamente pelo custo da biomassa, por preocupações sobre os preços dos combustíveis fósseis, pelo nível de apoio público, pelo alto potencial de substituição técnica e propriedades superiores para os produtos finais.

Na maioria das vezes tem-se constatado que na fase inicial da introdução no mercado, os produtos são frequentemente utilizados em nichos de mercado, mas gradativamente algumas aplicações dos polímeros de base biológica já adquiriram posição estabelecida no mercado. Recentemente, tornou-se também tecnicamente viável, quer parcial ou totalmente, substituir matérias-primas fósseis por matérias-primas renováveis em polímeros *commodities* e/ou em polímeros de alto desempenho.

O crescimento do volume total para produtos químicos de base biológica entre 2008-2020 foi estimado em 2,1 milhões de toneladas (5,3% ao ano), sendo que assumindo um crescimento

[9] O termo “bioplásticos” engloba os termoplásticos obtidos de fonte renovável. As matérias-primas de base biológica podem ser convertidas tanto em plástico biodegradável como em não-biodegradável. A biodegradabilidade dos polímeros está diretamente relacionada com a sua estrutura química e não com a origem das matérias-primas que os originam. São considerados bioplásticos *drop-in* aqueles polímeros obtidos de forma idêntica às suas versões convencionais, mas a partir de matéria-prima bioderivada ou parcialmente bioderivada independentemente de sua biodegradabilidade. Os diferentes tipos de bioplásticos são abordados no estudo da Pira International (PLATT, 2010), sendo que os principais tipos considerados foram: a) bioplásticos diretamente derivados de biomassas-polissacarídeos e proteínas; b) bioplásticos sintetizados a partir de monômeros bioderivados- bio-polietileno; c) bioplásticos biodegradáveis sintetizados de fonte fóssil - poli (succinato de butileno) (PBS); d) bioplásticos produzidos diretamente por microorganismos geneticamente modificados - PHB, PHV.

semelhante, o mercado deverá crescer de 4% (21 mil milhões de euros em 2008) para 6% em 2020 (40 mil milhões de euros em 2020) (PÖYRY, 2010).

O mercado global de produtos químicos foi estimado pelo USDA (2008) em USD 1,2 trilhão em 2005. Produtos químicos e polímeros *commodities* contribuíram com 60% em relação ao total, seguido por 30% de produtos químicos especiais e 10% de produtos para a química fina. Os produtos químicos de base biológica correspondiam a 2% do mercado de química total em 2005, com projeção de crescer para algo em torno de 9,4 a 13,1 % até 2010, e entre 22,1 a 28,1 % em 2025 (USDA, 2008).

Para as próximas duas décadas é possível observar-se um crescimento significativo da Indústria Química global, com projeção de crescer entre 3 a 6% até o ano de 2025. Excluindo os produtos farmacêuticos, a Indústria Química mundial deverá crescer para mais de USD 2 trilhões por ano em 2025, sendo que produtos químicos de base biológica devem substituir produtos já existentes e criar novas fontes de receita no valor de mais de USD 500 bilhões por ano (USDA, 2008).

A definição de bioprodutos ou de produtos sustentáveis pode ser bastante diversa. Atualmente, as discussões de análise de impacto ambiental de um determinado produto procuram não apenas qualificar as emissões de CO_2, mas todo o processo de produção, incluindo a produção da matéria-prima, contexto regional energético e disposição final do produto incluindo a reciclagem e outros, ou seja, a chamada análise de ciclo de vida[10].

Além disso, constantemente são levantados questionamentos sobre a sustentabilidade de produtos que utilizam matérias-primas renováveis, como cana-de-açúcar, milho e beterraba, em relação à utilização da terra e contaminação das águas. Em um mundo com crescente e rápido aumento da população cuja consequência é a crescente demanda por alimentos e rações, o uso destas matérias-primas para fins não alimentares é muitas vezes controverso e muito debatido.

O European Bioplastics publicou em 2013 estudo[11] a partir do qual foi possível concluir que o uso de terra como matéria-prima necessária para a produção de bioplásticos corresponde a

[10]A ferramenta de análise de ciclo vida e a sua utilização para definição da estratégia de mitigação de impactos ambientais tem se tornado fundamental para definir qual a melhor estratégia de como mitigar os impactos ambientais para determinado produto ou processo. Desta maneira, a integração de competência dentro da empresa que inclui áreas de sustentabilidade (com apoio de análises de ciclo de vida e desempenho ambientais dos processos), marketing, inovação e tecnologia se torna fundamental para o desenho de estratégias para a mitigação de impactos ambientais.

[11] O European Bioplastics publicou, em 8 de abril de 2013, estudo com base em dados da Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO) e com base em cálculos realizados pelo Institute for Bioplastics and Biocomposites (IfBB, University Hannover, Germany) (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2013).

apenas uma fração mínima da área agrícola mundial, ou seja, o estudo concluiu que a superfície necessária para cultivo de biomassa suficiente para produção de bioplásticos hoje é menor que 0,006 % da área agrícola mundial de 5 bilhões de hectares (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2013). Por meio deste estudo, ficou evidenciado que não existe nenhuma competição com a alimentação humana e animal, pois um olhar sobre a área agrícola mundial e da forma como é utilizado atualmente torna claro que apenas 0,006% são usados para cultivar matéria-prima para os bioplásticos e este valor está longe de estar em concorrência com os 98% usado para pastagens e para produzir alimentos (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2013).

Em relação ao posicionamento de preços para os produtos de fonte renovável, uma questão importante a ser destacada refere-se ao fato de que algumas empresas acreditam e contam que o mercado vai aceitar um prêmio sobre o preço para produtos químicos de base biológica. Entretanto, segundo estudo realizado pela BCG (2018) os clientes não estão dispostos a pagar um prêmio exclusivamente pela sustentabilidade. Isso evoluiu para incluir usos mais sustentáveis dos materiais por meio da reutilização, reciclagem e materiais renováveis.

Outras empresas acreditam que o preço precisa ser igual ou até melhor do que as alternativas petroquímicas para garantir sua adoção no mercado (JENKINS, 2013). Este é o caso da estratégia da empresa Myriant para o bioácido succínico, já explícita e declarada nos quatro princípios de sua proposição de valor: 1) baixa pegada de carbono; 2) não aplicar prêmio no preço para produtos com marca verde; 3) não utilizar matéria-prima que compita com alimentos e 4) produtos verdes com alto desempenho (SALEH, 2013).

Entretanto, de acordo com pesquisa realizada em início de 2013 pela Comissão Europeia englobando mais de 25.500 pessoas em todo o bloco, do lado do consumidor final existe uma preocupação em relação ao impacto ambiental dos produtos que compram e consomem. Esta pesquisa apontou que aproximadamente 77% das pessoas na UE estariam dispostas a pagar mais por produtos verdes e mais ecológicos se confiassem nas reivindicações da marca. Do total, 80% das pessoas declararam que gostariam de encontrar informações ambientais nos rótulos dos produtos e 50% nas prateleiras e nos anúncios (BUSINESSGREEN, 2013).

Esta constatação resultou em ações da Comissão Europeia junto às empresas e outras partes interessadas em desenvolver formas de apresentar aos consumidores as informações credíveis que estão procurando quando compram produtos verdes.

O objetivo da UE seria colaborar com o desenvolvimento de novos mercados, bem como, gerar oportunidades para investimentos e inovação em economia verde (BUSINESSGREEN, 2013). Outros autores também questionam a apresentação de produtos com atributos verdes no

mercado. ILES (2013) debate as estratégias de empresas como BASF, Dupont e Braskem em bioplásticos e discute que estas empresas assumiram que executando ações como: reduzindo custos, aumentando rendimentos e desenvolvendo melhores fornecedores de matérias-primas renováveis, haveria a garantia de sucesso para os bioplásticos no mercado, mas, surgiram uma série de outros obstáculos não-convencionais e, apenas estas premissas não garantiram a sobrevivência no mercado.

Entre estes novos obstáculos destaca-se a atuação direta na construção de mercado para os bioplásticos (ILES, 2013; BOMTEMPO, 2013, OROSKI, 2013), em conjunto com a necessidade eminente de garantir aos consumidores que seus produtos realmente são sustentáveis.

As empresas DuPont, BASF e Braskem atuaram sob diferentes modelos de negócio visando aproveitar a oportunidade para os bioplásticos, assim, desenvolveram formas de criar valor (exemplo: rótulos como Braskem: *I´m green*™, DuPont™: Renewably Sourced™ *Materials contain a minimum of 20% renewable sourced ingredient by weight* , ferramentas e análises de ciclo de vida - ACV), formas para comunicar vantagens de desempenho e formas para comunicar aos consumidores finais sobre a redução de impacto ambiental de seus produtos com atributos verdes.

De acordo com ILES (2013) estas empresas enfrentam um risco significativo de que a sua proposta de valor sustentável possa não se manter, sem maiores inovações na criação de sistemas de prestação de contas sobre formas em que os bioplásticos podem melhorar o futuro, formação dos critérios de avaliação de materiais de base biológica e ferramentas para monitorar melhorias com o uso dos bioplásticos como redução dos impactos adversos, aumento dos benefícios ambientais e sociais, abastecimento de biomassa, processamento e comercialização do produto.

Estas empresas agiram de forma conservadora em não estender os limites de decisão dos seus modelos de negócio para incluir as perspectivas dos diversos atores sociais como: grupos de advocacia, agências de governo, varejistas, consumidores, comunidades agrícolas e universidades. Até o momento, estas empresas têm focado dentro de suas próprias operações para decidir o que a sustentabilidade significa e não buscaram construir processos consultivos para ouvir a opinião destes atores sobre seus valores e escolhas sobre os impactos ambientais de produtos químicos. Segundo os autores, isso reflete a longa história de relutância das empresas em reconhecer a crítica social de sua produção. Atualmente, a DuPont está focada em inventar modelos de negócios sustentáveis, a BASF está lutando com seus legados tecnológicos e organizacionais e a Braskem busca se beneficiar do acesso aos produtores de etanol (ILES, 2013).

Estudo conduzido pela empresa McKinsey (KAISER, 2012) com consumidores e com executivos que atuam em diferentes segmentos de mercado, apontou que a demanda por produtos verdes está crescendo em ritmo acelerado, principalmente pelos itens que atendem aos critérios corretos e efetivamente não tragam desvantagens em relação ao seu desempenho quando comparado com o seu equivalente petroquímico. Entretanto, este crescimento está associado a dois fatores principais: tipo de mercado e localização geográfica[12]. Efetivamente a resposta variou em função da localização geográfica dos executivos avaliados.

Vale destacar e analisar o fato de que neste estudo foram avaliados seis atributos verdes: 1) reciclabilidade; 2) produto obtido a partir de fonte renovável (biobased); 3) baixa pegada de carbono; 4) biodegradabilidade; 5) baixa toxicidade e 6) material reciclado. Os principais resultados apontados por este trabalho foram: a) os produtos verdes são uma tendência importante para 80% dos executivos entrevistados e para mais de 90% dos consumidores avaliados; b) os produtos verdes vão ocupar espaço no mercado e impactar os hábitos de consumo do consumidor final; c) a definição sobre produtos verdes e seus principais atributos está mais relacionada à destinação final do produto do que à sua origem a partir de fonte renovável.

A reciclabilidade foi o atributo verde mais importante para todos os executivos entrevistados independentemente da localização geográfica, da mesma forma que para os consumidores avaliados. Os executivos americanos apontaram a baixa toxicidade como o segundo atributo mais valioso. Entretanto, na Europa e na Ásia, a biodegradabilidade teve o mesmo peso que a baixa toxicidade.

A questão relacionada com a reciclabilidade também foi o principal atributo identificado por 50% dos consumidores, ou seja, ficou claro que os produtos verdes que não puderam se utilizar das atuais correntes de reciclagem teriam sérias barreiras na sua adoção por parte dos consumidores. Os outros atributos relacionados ao final do ciclo de vida dos produtos, como biodegradabilidade, baixa pegada de carbono e baixa toxicidade, também foram destacados.

O fato de o produto ser obtido a partir de fonte renovável (*biobased*) teve menor importância para os executivos americanos, mas teve importância destacada na Europa e na Ásia, quase equivalente à biodegradabilidade e à baixa toxicidade. O atributo verde menos valorizado pelos executivos nestas duas regiões foi a redução da pegada de carbono. O estudo apontou ainda

[12] Esta foi a macro conclusão obtida em estudo realizado pela McKinsey em 2011 com 500 executivos entrevistados ao redor do mundo (KAISER, 2012) e que tivessem participação na seleção ou uso de produtos químicos e plásticos em seis segmentos industriais: bens de consumo, embalagem, automotivo, dispositivos médicos, eletrônicos e construção. Participaram ainda 1.000 consumidores nos Estados Unidos e na União Europeia.

que a demanda e o entusiasmo para o consumo deste tipo de produto variaram em função da localização geográfica e do segmento de mercado, sendo que a Europa possui maior interesse do que os Estados Unidos, seguida da Ásia. O segmento de bens de consumo foi o que apresentou maior demanda entre todos os avaliados.

Referente ao tema prêmio sobre o preço para produtos verdes, uma conclusão importante deste estudo refere-se ao fato de que foi constatado que os consumidores pagariam um valor superior nos produtos verdes até um limite de 5% (70 a 80%), mas um limite de até 10% de prêmio ainda seria aceito pela maioria dos consumidores (55%). Acima desta porcentagem somente aceitariam pagar prêmio para produtos verdes destinados ao mercado de embalagens (KAISER, 2012). Os produtos verdes devem trazer ganhos para toda a cadeia de valor. Entretanto, para os executivos o prêmio para os consumidores finais pode variar de 12 a 22% em função da localização geográfica e em função do mercado para *commodities* e especialidades. Para os autores do estudo, as empresas químicas devem se preocupar e ser seletivas em relação ao mercado que pretendem focar seus produtos verdes, dando prioridade aonde haveria maior probabilidade de se aplicar prêmio e facilidade de adoção de produtos bioderivados devido aos atributos verdes em segmentos de mercado como: embalagem, eletrônicos e bens de consumo.

Importantes informações podem ser obtidas a partir de outro estudo conduzido pela empresa Genomatica e pelo ICIS (EVANS, 2012), que também envolveu executivos de empresas químicas de todos os tamanhos e em toda a cadeia. Nesta avaliação, ficou evidenciada a busca por produtos químicos a partir de matérias-primas de origem vegetal idênticos aos produtos químicos convencionais derivados do petróleo. O estudo foi desenvolvido a partir de um questionário on-line sobre as práticas de sustentabilidade da Indústria Química global no período entre 12 a 22 de novembro de 2012. Participaram do estudo 702 executivos destas empresas químicas, fabricantes de especialidades químicas, química fina, polímeros, produtos químicos para uso direto e distribuidores de produtos químicos, com volume de negócios de USD 500 milhões até empresas com faturamento acima de USD 10 bilhões. Foi observada a seguinte distribuição geográfica dos entrevistados: 40% baseados na Europa, 27% na América do Norte, 13% na Ásia, 7% na América Latina, 5% no Oriente Médio, 3% na África e 5% em outras regiões.

Apesar das grandes diferenças entre as empresas participantes, 54% dos entrevistados disseram que suas empresas têm práticas de química sustentável em curso, além de estratégias e políticas em sustentabilidade, incluindo a redução do uso de energia e de produtos químicos tóxicos e o aumento do uso de material reciclado. O estudo apontou que 17% das empresas declararam que suas políticas e estratégias de sustentabilidade estão em fase de desenvolvimento

e implementação, 17% têm a intenção de introduzir suas políticas de sustentabilidade nos próximos dois a três anos e apenas 12% declararam não ter interesse no momento. Sobre as iniciativas em sustentabilidade para os próximos cinco anos, o estudo apontou que 75% dos executivos responderam que suas empresas declaram atuar na melhoria de seus processos produtivos com relação à redução do consumo de energia e geração de resíduos; 47% atuam na redução/eliminação do uso de produtos tóxicos; 44% dos entrevistados relataram que suas empresas planejam aumentar o uso de materiais renováveis ao longo dos próximos cinco anos; 43% possuem iniciativas para o uso ou aumento do uso de materiais reciclados; 28% com intenção de desenvolver produtos biodegradáveis e 27% têm intenção de desenvolver produtos mais duráveis.

Em relação à importância de alguns fatores questionados sobre sustentabilidade, 75% dos executivos entrevistados apontaram como fator muito importante o uso de energia e a produção de resíduos em seus processos produtivos; 63% consideraram muito importante a qualidade ambiental de seus produtos, mas apenas 44% dos executivos consideram importante o consumo de energia associado a todos os fatores externos a sua empresa, ou seja, fatores da cadeia produtiva como: transporte de materiais, consumo de energia nos processos petroquímicos a montante e a jusante na sua cadeia. Apenas 41% dos executivos consideram importante a pegada de carbono de seus insumos básicos, corroborando com os dados obtidos no estudo da McKinsey (KAISER, 2012).

Ainda em relação à sustentabilidade, em termos de prioridade em seus negócios, 26% dos executivos apontaram que para suas empresas é prioridade promover mercado para produtos sustentáveis; para 23% a prioridade é ter atitudes proativas em relação à sustentabilidade; 16% dos executivos informou que suas empresas consideram o envolvimento do cliente e a conscientização em relação à sustentabilidade ao nível empresarial; para 15% dos executivos a prioridade é a capacidade de responder a perguntas sobre a sua posição sobre a sustentabilidade; para 9% sustentabilidade não é prioridade e, para 8% a prioridade é elevar o perfil do público em relação à sustentabilidade.Como ações de curto prazo, os executivos consideram: atuar no preço das matérias-primas (40%); melhorar o desempenho da saúde e segurança (38%); redução de custos estratégicos (37%); e redução do preço da energia e de seu consumo (30%).

Em médio prazo as prioridades são: reduzir o impacto ambiental das operações (40%) e dos produtos (39%). Neste estudo os executivos destacaram que os fabricantes de produtos químicos de consumo direto e de produtos intermediários eram os mais comprometidos com a produção a partir de matérias-primas renováveis, sendo que 45% atualmente realizam P&D nesta

área; 36% adotam um compromisso estratégico com a utilização de matérias-primas de origem vegetal; e 28% já estão investindo em instalações de produção à base de plantas; enquanto que apenas 18% não têm nenhum interesse atual em produtos bioquímicos. Os fabricantes mais acima na cadeia de produção e distribuidores de produtos químicos parecem ser menos comprometidos; com 31% envolvidos com a realização de P&D; 29% adotando um compromisso estratégico com a utilização de produtos bioquímicos e apenas 16% investem em instalações de produção de base biológica. Um fator importante detectado foi que os entrevistados identificaram especialidades químicas, polímeros, compostos aromáticos e produtos químicos intermediários para a produção de polímeros como algumas das classes químicas mais urgentes e mais promissoras para a produção por meio de processos bioquímicos.

O volume do mercado europeu de bioplásticos somou 0,13 milhões de toneladas em 2008; o uso global de bioplásticos foi de 0,64 milhões de toneladas em 2010 e 0,85 milhões de toneladas em 2011 (SMOCK, 2012). Este segmento de mercado representou aproximadamente 34% do mercado global em 2010, com quase 0,21 milhões de toneladas das 0,64 milhões de toneladas totais. Houve crescimento para 0,3 milhões de toneladas métricas em 2011, das 0,85 milhões de toneladas totais. O mercado americano representou cerca de 37,5% do mercado total em 2010 e foi de 0,24 milhões de toneladas das 0,64 milhões de toneladas totais. O mercado americano aumentou de 0,3 milhões de toneladas métricas em 2011 para 1,2 milhão de toneladas em 2016, um CAGR de 33%.

Os bioplásticos são cada vez mais utilizados em componentes para a indústria automobilística, brinquedos, componentes eletrônicos e embalagens. Aproximadamente 82% do mercado global de bioplásticos na área de embalagens é voltado para a indústria alimentícia. De acordo com estudo da Pira International Ltda (PLATT, 2010), o principal mercado para bioplásticos na área de embalagens é a Europa, com 53,7 % do mercado global.

A Europa se destaca como o maior mercado interessado em bioplásticos e lidera as linhas de pesquisa e desenvolvimento. No entanto, os locais de produção deste material se concentram na América do Sul e na Ásia e já estão crescendo em número de instalações nestas regiões do planeta. De acordo com estudo realizado na Europa em 2013 pelo instituto alemão Nova-Institut GmbH, embora a Europa mostrasse forte demanda por biopolímeros não existiam políticas dedicadas à sua promoção. Desta maneira a produção tendia a ocorrer em outros lugares mais atrativos (devido ao melhor acesso à biomassa) e mais seguros (devido à presença de um quadro de política favorável) como na Ásia e nas Américas do Sul e do Norte. Esta posição relativamente

fraca da União Europeia na produção de polímeros de base biológica era em grande parte consequência de um quadro político desfavorável ao uso de material industrial de biomassa.

Diferentemente dos biocombustíveis nos Estados Unidos, não há na União Europeia uma estrutura política de apoio aos biopolímeros, capaz de incentivar os investimentos da mesma forma que há para os biocombustíveis, que receberam forte e contínuo suporte durante a produção comercial (quotas, incentivos sobre impostos, regulamentações sobre eletricidade verde, programas de introdução de biocombustíveis no mercado, entre outros). Os polímeros de base biológica serão os polímeros para o futuro, mas seu desenvolvimento ainda está muito dinâmico (nova-Institut GmbH, 2013). A capacidade de produção de biopolímeros deverá triplicar, ou seja, passará de 3,5 milhões de toneladas em 2011 para quase 12 milhões de toneladas em 2020. Esta pesquisa da nova-Institut GmbH foi realizada em colaboração com renomados especialistas internacionais da área de polímeros de base biológica. Foram avaliados todos os tipos de polímeros de base biológica produzidos por 247 empresas em 363 locais ao redor do mundo e foram examinadas em detalhes 114 empresas de 135 localidades.

A quantidade de biopolímeros de 3,5 milhões de toneladas representaram apenas 1,5% da produção total de polímeros de 235 milhões de toneladas, em 2011. Os produtores atuais de polímeros de base biológica estimaram que a capacidade de produção atinja cerca de 12 milhões de toneladas até 2020. Dessa forma, com uma produção total esperada de cerca de 400 milhões de toneladas em 2020, os biopolímeros deverão aumentar de 1,5% da produção total em 2011, para 3% em 2020, o que significa dizer que a capacidade de produção de biopolímeros vai crescer mais rápido que a produção global.

Desenvolvimento mais dinâmico é previsto para os biopolímeros considerados substitutos diretos, chamados de *drop-in*, que são quimicamente idênticos ao seu homólogo petroquímico. Estes biopolímeros podem ser parcialmente bioderivados da biomassa como é o caso do líder deste grupo, o bio-PET, que utiliza bioetanol a partir de cana-de-açúcar e cuja capacidade de produção chegará a cerca de 5 milhões de toneladas no ano de 2020. Além dos biopolímeros totalmente bioderivados, que são o grupo das poliolefinas de base biológica como PE e PP também podem ser obtidos a partir de bioetanol da cana-de-açúcar. Para a classe dos biopolímeros biodegradáveis, como PLA e PHA, é projetado pelo menos quadruplicar a capacidade até 2020.

A posição atual da Europa na produção de polímeros de base biológica é limitada. No campo das blendas de polímeros com amido sua posição é sólida e consolidada e deve manter-se assim nos próximos anos. No estudo foram previstos até 2020, desenvolvimentos e

investimentos como PLA em escala industrial, instalações de produção de PET, desenvolvimentos na comercialização de PBT de base biológica, avanços para PA e PU, a fim de abastecer mercados em crescimento, como a construção civil e o setor automotivo, além da produção de resinas termofixas e as instalações para a produção industrial de PBAT (nova-Institut GmbH , 2013).

Em relação aos investimentos mundiais, o estudo apontou que a participação da Europa vai diminuir de 20% para 14% em 2020. Já a participação da América do Norte deve diminuir de 15% para 13%. Por outro lado, a participação da Ásia vai aumentar de 52% para 55% e da América do Sul de 13% para 18%.

Em relação à demanda dos biocombustíveis, estes fornecem uma alternativa verde potencial e promissora para evitar a instabilidade política global e as crises ambientais decorrentes da dependência do petróleo. Tem um papel importante para mitigar o aquecimento global e conservar os combustíveis fósseis. Atualmente, as culturas amiláceas, como o milho, são utilizadas como fonte de matéria-prima para a produção de bioetanol, mas não podem atender às necessidades globais de combustível. Além disso, devido ao seu valor alimentício, estas culturas convencionais não são capazes de atender à demanda de produção de biocombustível. Logo, a biomassa lignocelulósica parece ser uma alternativa atraente para o suprimento inexorável de biocombustíveis, diminuindo a credibilidade sobre os recursos de combustíveis fósseis.

A matéria-prima de biomassa lignocelulósica é abundante, reciclável, barata e distribuída uniformemente na natureza. No entanto, a produção de bioetanol lignocelulósico não é comercializada em larga escala devido a barreiras econômicas e técnicas que tornam a produção de etanol pouco competitiva. Dessa forma, a pesquisa deve ser focada no desenvolvimento de processos comercialmente lucrativos (tecnologias verdes) para a produção de bioetanol. Além disso, a abordagem atual é focada na conversão baseada em enzimas da biomassa lignocelulósica em bioetanol e abrange principalmente tecnologias distintas de conversão de biomassa lignocelulósica, desafios e futuras metas de pesquisa (PIRZADAH, 2014).

2.8 A aplicação de ferramentas de prospecção tecnológica e Roadmap Tecnológico

Processos de prospecção científico-tecnológica são praticados pelo homem há muito tempo, mesmo que de forma empírica, isto é, pela prática e sem o devido entendimento dos processos básicos envolvidos. No entanto, o interesse explícito pelo estudo e desenvolvimento de metodologias sistemáticas de prospecção é bastante crescente. O propósito da prospecção

tecnológica é melhorar o acesso à informação de forma sistemática, provendo suporte à tomada de decisões estratégicas de longo prazo para as empresas, incluindo recursos para atividades de inovação (CNI, 2016; BORSHIVER, 2016).

A evolução de novas concepções, ideias, novos acontecimentos e desenvolvimentos científicos acabam por ter um grande impacto sobre as populações devido ao crescente progresso dos meios de comunicação e, com isso, não há a menor possibilidade de acompanhar, dada a profusão com que ocorrem e são veiculadas. Assim, uma visão histórica dos acontecimentos, identificação dos atores, avaliação das interconexões são tarefas das mais difíceis. Com o advento da internert (www-world wide web), na década de 90, as tecnologias da informação e os meios de comunicação em rede possibilitaram o compartilhamento de informações e conteúdos em escala global. Cabe lembrar um fato interessante pois o www completará 30 anos em 2019.

Pesquisas estratégicas para fins econômicos, tecnológicos e de mercados de consumo passaram a ser um recurso essencial para empresas locais e mundiais, impactando os negócios globalmente (EUROMONITOR, 2017). As empresas buscam conceber estratégias para enfrentar os desafios do ambiente competitivo globalizado (CNI, 2016). Diversas iniciativas são adotadas pelas empresas, como exemplo, a estruturação de áreas internas nas organizações que atuam em Inteligência Competitiva e Mercadológica. Tais áreas buscam informações sobre diversos temas, tais como: análise concorrencial, inteligência mercadológica, análise de negócios visando fusões e aquisições, projetos de investimentos, avaliação de tendências de mercado, monitoramento de preços e seus reflexos globais, análise da cadeia de valor, estratégia competitiva, oportunidades de negócio, participação de fóruns de discussão, estruturação de antenas tecnológicas externas e internas.

Na arte prospectiva, a aplicação de um conjunto estruturado de diferentes métodos de prospecção e a aplicação de método sistemático de apresentação das informações analisadas pode resultar em um trabalho que compreenda a possível previsão de como uma área da tecnologia irá se desenvolver com o tempo. Além disso, pode indicar possíveis caminhos tecnológicos, mapear os principais avanços em termos tecnológicos e de estruturação do negócio, sintetizar e mapear o estado da arte do setor estudado, explorar a dinâmica das tecnologias emergentes, verificar a necessidade de as empresas de base tecnológica fazerem um balanço de *market pull* e *technology push* de seus produtos e colaborar com a construção de visão de futuro (PHAAL, 2004; OLIVEIRA, 2012; COUTINHO & BOMTEMPO, 2011; BORSCHIVER, 2013; CNI, 2016).

Segundo estudo publicado pelo CNI (no âmbito da MEI -Movimento Empresarial pela Inovação) em 2016, denominado Melhores Práticas Empresariais para Inovar, o tema foi

abordado de forma a apresentar uma síntese da literatura recente com o objetivo de apresentar alguns caminhos para o fortalecimento das atividades de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) no País, a partir de estudos de caso e de entrevistas, realizadas com pesquisadores e representantes de empresas no Brasil e nos Estados Unidos. Neste estudo é comentado que nos países mais avançados o processo de prospecção tecnológica é cada vez mais comum, contudo, o Brasil não tem acompanhado esta tendência e sistematização.

As ferramentas mapeadas neste estudo do CNI e no livro Technology Roadmap (BORSHIVER, 2016) foram citadas como referência de forma a dar sustentação para o método estruturado em três níveis proposto nesta tese de doutorado:

a) análise de tendência - baseada em técnicas de regressão, curvas S

b) opinião de especialistas - baseado em julgamento intuitivo, refinado e apresentado na forma de consenso interdisciplinar, que engloba métodos tais como: *Delphi/WebDelphi* e os Painéis de Especialistas;

c) técnica de cenários – baseado em traçar cenários futuros por duas metodologias: cenários exploratórios e cenários desejados ou normativos.

d) métodos computacionais e ferramentas analíticas – baseado em Árvores de relevância e modelos de decisão não estruturados; Cientometria, bibliometria, data mining e text mining; Análise de patentes.

e) métodos de criatividade – baseados em Análise morfológica; Análise de impacto; Brainstorming; *Focus group*; Metáforas/analogias e Ficção científica.

A prospecção tecnológica é considerado como uma das ferramentas de estratégia tecnológica na qual se realiza varredura periódica e sistemática sobre diversos aspectos como: posicionamento tecnológico, movimentos estratégicos e comerciais, investimentos públicos e privados, projetos de pesquisa, alterações estruturais, nível de prontidão tecnológica, metas para as tecnologias em desenvolvimento e outros aspectos de uma determinada área tecnológica de interesse. O prognóstico ou previsão é outro tipo de ferramenta de estratégia tecnológica a partir da qual é possível criar ou inferir visões de futuro baseadas no que hoje existe, sendo usualmente composta de vários cenários para subsidiar tomada de decisões, identificação de novas tecnologias e seus novos campos de aplicação, mapeamento das principais dependências e tendências tecnológicas, nas projeções de futuro de cada cenário.

A prospecção tecnológica também é uma ferramenta útil para muitos setores e tem sido aplicada usualmente. Prospecção Tecnológica é o nome dado a um conjunto de técnicas e processos voltados a identificar quais são, e quais serão, as mudanças tecnológicas que podem

alterar o ambiente competitivo, gerar oportunidades e ameaças a diferentes negócios, ou mesmo modificar profundamente as relações entre as pessoas. Os estudos prospectivos são desenhados em função de um ou mais dos seguintes objetivos: conhecer e acompanhar o estado-da-arte de tecnologias relevantes; discernir e comparar as tendências de evolução de tecnologias e mercados; monitorar e interpretar os movimentos de atores relevantes e as mudanças no ambiente competitivo; identificar e interpretar sinais fracos que possam indicar oportunidades e eventos futuros relevantes (PHAAL, 2004; OLIVEIRA, 2012; COUTINHO & BOMTEMPO, 2011; BORSCHIVER, 2013; CNI, 2016).

Especificamente para o cenário de renováveis, devido às suas características peculiares, esta ferramenta pode auxiliar a compor/prever como o ambiente que envolve o uso de matérias-primas renováveis deverá evoluir ao longo do tempo, levando em consideração que se trata de um processo contínuo e em evolução constante. Os próprios estudos realizados para o setor apontam que as informações disponíveis na área de renováveis são muito diversificadas e, às vezes, inconsistentes, podendo levar a resultados interpretados de forma inadequada (nova Institut GmbH, 2013).

Nos últimos anos, diversos atores (governo, academia e indústria), investiram tempo, tecnologia, recursos financeiros e recursos humanos nesta área de renováveis e este fato gerou um ambiente complexo, em evolução permanente, no qual a velocidade e a quantidade com que a informação é gerada torna difícil um processo de análise sistemático capaz de orientar a decisão quanto à escolha de tecnologias e produtos para incentivo, investimento e pesquisa. Este tipo de ambiente requer uma abordagem de monitoramento e análise adequada, sendo o uso da metodologia Roadmap Tecnológico aplicado por diversos autores na literatura (PHAAL, 2004; OLIVEIRA, 2012; COUTINHO & BOMTEMPO, 2011; BORSCHIVER, 2013; CNI, 2016).

Os Roadmap Tecnológico s (TRM) ganharam popularidade como ferramentas para gerenciamento do futuro da tecnologia (COUTINHO & BOMTEMPO, 2011), construção de visão de futuro e para exploração da dinâmica de tecnologias emergentes (PHAAL, 2001). Alguns autores têm apresentado o Roadmap Tecnológico como uma abordagem estratégica, objetiva e flexível para auxiliar no gerenciamento e planejamento da inovação (OLIVEIRA, 2012). Os sistemas de construção de roadmaps permitem que em um mesmo espaço digital estejam conectadas todas as partes interessadas e as informações, viabilizando, simplificando e acelerando a coleta de dados, com a possibilidade ainda a trazer uma visão geral instantânea.

Por tratar-se de um método flexível pode ser capaz de integrar e comunicar estratégias de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia de maneira integrada com as metas do

negócio ao longo do tempo (PHAAL, 2001) (COUTINHO & BOMTEMPO, 2011) (BORSHIVER, 2016).

O método TRM permite ainda a identificação de tendências tecnológicas e mercadológicas para os próximos anos, visando suportar por exemplo o processo de tomada de decisão de investimentos tecnológicos, de modo adequado e nos momentos certos, além de alocar recursos dos diversos setores industriais (BORSCHIVER, 2013). Como podem ser aplicados para diversos setores, colabora com a sintetização e mapeamento do estado da arte do setor estudado, apontando as oportunidades existentes, os desafios a serem enfrentados e as prioridades de ação a curto, médio e longo prazo.

O TRM é construído de forma a integrar todos os aspectos relevantes do negócio (mercado, produtos, tecnologia, investimentos, esforços de P&D, recursos e pessoas) na dimensão tempo. A sua aplicação como apoio no planejamento estratégico permite a identificação de possíveis lacunas e a convergência entre a proposta da organização no presente e suas metas futuras (COUTINHO & BOMTEMPO, 2011).

O método TRM permite o desenvolvimento de uma prospecção tecnológica que identifique um cenário futuro e as tendências a partir do conhecimento da dinâmica da indústria, do acompanhamento sistemático das tecnologias emergentes ao longo do tempo, do mapeamento dos seus principais avanços tecnológicos e das tendências do setor, proporcionando agilidade no processo de análise dos novos cenários e dos competidores.

A academia propõe que o processo de Roadmap Tecnológico poderia ser utilizado e aplicado como provedor de diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C, T &I, como proposto em tese de doutorado elaborada por SANTOS (2011) referente à Biorrefinaria de Produtos da Lignina no Brasil, orientada pela Profa. Dra. Suzana Borschiver e Maria Antonieta Gimenes Couto.

Sobre gestão do conhecimento ou do capital intelectual, acrescenta-se ainda que o conhecimento definido como a informação adquirida e armazenada por meio de experiências ou por meio da aprendizagem em práticas diárias representa um ativo intangível e valioso nas organizações. Estimular a criação, a disseminação e o compartilhamento das informações permite o crescimento e a perpetuidade de processos e projetos por meio da contribuição de ideias, particularidades e lições aprendidas a respeito de um tema, evitando retrabalho ou perda do conhecimento, sendo o verdadeiro estímulo ao lastro dos integrantes nas organizações (JACONIS e COUTINHO, 2015). O conhecimento pode ser construído de diferentes formas dentro das organizações e representa um recurso estratégico que permite análises específicas que

apoiam a mitigação de riscos nos processos de tomada de decisões. A produção de conhecimento é estimulada, mas a sua captura para preservação e recuperação não são práticas adotadas pelas organizações de forma estruturada.

Diferentes modelos de gestão conhecimento e da informação suportam processos de inovação nas organizações direcionando para o aumento de competitividade (VALENTIM, 2008). Portais ou plataformas institucionais orientadas ao negócio representam valiosos recursos de apoio técnico e permitem a recuperação da memória técnica e de materiais produzidos relevantes que possam servir como insumos para a busca de soluções inovadoras nas organizações. Conhecimentos estratégicos compartilhados e devidamente apropriados aos autores permitem a identificação de especialistas de diversas áreas dentro das empresas usualmente segmentadas (JACONIS & COUTINHO, 2015). Sobre a importância da informação e seu uso de forma adequada tem-se que a informação não se limita a coleta de dados (MCGEE e PRUSAK, 1994). O dado precisa ser ordenado, organizado, ser atribuído um contexto e significado para que se torne informação (BORSHIVER, 2016). Além disso, a informação com seu papel de destaque deve ser disseminada sem barreiras e deve haver uma aceitação pelos indivíduos sobre a valor que se dá para a informação visando sua real assimilação.

Assim, o processo de prospecção de informações mercadológicas e tecnológicas quando bem coletados, dispostos e utilizados contribuem com as estratégias empresariais, representando uma vantagem competitiva. Informação com papel de destaque e sua disseminação sem barreiras e de recuperável de forma clara permitem a reavaliação da mudança no valor que se dá para a informação. Uma das principais razões pelas quais precisamos de sistemas de informação é porque eles melhoram a eficiência, o que pode aumentar a produtividade. Eles geralmente suportam operações intensivas em dados. Nas organizações empresariais, um sistema de informação bem concebido pode ser a diferença entre os lucros e as perdas. Cada organização funciona com informações e cada entidade tem uma maneira particular de coletar, gravar, armazenar e manipular informações.

Os sistemas de informação revolucionaram completamente a coleta, armazenamento e manipulação de dados. Um sistema de informação geralmente compreende uma série de aplicações de computador e hardware especializadas que processam grandes quantidades de dados para fornecer informações úteis em processos como a tomada de decisão. Algumas definições referem-se a toda a arquitetura, compreendendo aplicativos de software, hardware, sistemas operacionais e a estrutura de rede que suporta os vários componentes de computação que compõem o sistema de informação. Os sistemas de informação evoluem com o tempo à

medida que a tecnologia avança e como regras formais que regem a gestão da informação numa mudança de organização. Por exemplo, se houver grandes mudanças estruturais em uma organização, mudanças comparáveis no sistema de informação podem ser necessárias.

CAPÍTULO 3 MÉTODO DE MONITORAMENTO SISTEMÁTICO, PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E TRM SOBRE A ÁREA DE RENOVÁVEIS

O processo de monitoramento sistemático e prospecção tecnológica contínua sobre o cenário de renováveis apresentado propôs-se a constituir uma metodologia estruturada para capacitação técnica que viabilizasse o acompanhamento das ações realizadas no passado, da força das ações no presente e das previsões para a construção do futuro deste tema emergente, relacionado ao uso de matérias-primas renováveis.

Dessa forma, foi possível analisar o cenário de renováveis de forma mais apropriada com base em informações prospectadas devido às suas especificidades e que permitiriam responder questões relacionadas ao seu desenvolvimento tecnológico a exemplo de:

a) identificar quais os fatores que motivaram e motivarão o seu desenvolvimento;

b) identificar os produtos relevantes, sua forma de introdução no mercado, atores envolvidos no seu desenvolvimento, as tecnologias e seu grau de maturidade;

c) analisar o movimento das empresas, como estas avançaram nos últimos anos e como deverão avançar no curto, médio e longo prazo. Entre muitas outras questões que contribuíram para o entendimento da evolução do cenário em renováveis, conforme será discutido no capítulo 4.

A metodologia proposta para o caso da análise do cenário de renováveis nesta tese de doutorado foi baseada na estruturação do processo em três níveis. No primeiro nível, foi proposto um método de monitoramento sistemático e prospecção tecnológica contínua sobre a área de renováveis, considerando o ambiente turbulento e dinâmico em que se desenvolvia. No segundo nível e no terceiro nível, as informações prospectadas foram organizadas em duas ferramentas de apoio, respectivamente, banco de dados relacional e Roadmap Tecnológico (TRM) “Vivo”, construído na forma gráfica, a partir dos dados prospectados e possibilitando a visualização das informações e a realização de análises estruturadas sobre o tema.

Os principais aspectos para cada nível foram apresentados resumidamente a seguir e de forma detalhada nos capítulos 3.1 a 3.3:

NÍVEL 1) Metodologia utilizada para o monitoramento sistemático e atualizado do ambiente de renováveis, visando acompanhar ativamente a evolução deste cenário e mapear como esta área estava se desenvolvendo ao longo do tempo. O processo, como um todo, compreendeu as etapas de prospecção, coleta, seleção, organização e análise de informações disponíveis em diversas fontes primárias e secundárias. O método de prospecção tecnológica

adotado permitiu acompanhar o desenvolvimento de produtos bioderivados, a cadeia, as tecnologias e os atores que possuem ações para o uso de fontes de insumos renováveis.

NÍVEL 2) Estruturação de banco de dados relacional capaz de:

a) promover o armazenamento das informações coletadas e analisadas no nível 1;

b) possibilitar rápida recuperação das informações;

c) suscitar a ágil visualização dos dados prospectados e introduzidos em campos específicos no banco de dados;

d) proporcionar a rastreabilidade, revisitação e reavaliação das informações prospectadas e suas respectivas fontes;

e) sistematizar o processo de atualização das informações frente a este ambiente complexo, dinâmico e em constante modificação;

f) gerar relatórios e planilhas capazes de desenvolver análises sistemáticas para avaliar o cenário de renováveis;

g) converter os dados coletados em conhecimento utilizável sobre o ambiente de renováveis.

NÍVEL 3) Construção de Roadmap Tecnológico (TRM) “Vivo” visando apresentar na forma gráfica e visual o cenário de renováveis constantemente atualizado. O TRM apresentava os resultados em uma análise temporal, relacionando basicamente mercado, produto e tecnologia.

A análise do cenário de renováveis foi estruturada em dois subníveis:

Subnível 1) Análise do setor baseada em questões chaves com o objetivo de extrair aspectos relevantes da massa de informações introduzidas no banco de dados. Dessa forma, realizou-se uma análise macroestrutural do setor, buscando identificar tendências que poderiam ter impacto nos negócios e fornecer algum indicativo de como estava se delineando a estrutura industrial, mercadológica e regulatória na área de renováveis.

Subnível 2) Análise das empresas e dos produtos individualmente, das relações entre as empresas com os produtos e relações da tríade: empresas, produtos e tecnologias, englobando seus estágios de maturidade e evolução na linha tempo (*Time Evolution*). Desta maneira, visou-se identificar como estes principais intervenientes do setor estavam atuando nesta nova estrutura industrial em formação e em competição com a consolidada de origem petroquímica.

O processo desenvolvido em sua totalidade, englobando os três níveis estruturados e as etapas para a construção de um Roadmap Tecnológico “Vivo”, foi apresentado na Figura 3.1. Nela foi representado o passo a passo para a construção de um processo de roadmapping “Vivo”, seguindo-se a descrição das suas etapas:

ETAPA 1 – A identificação do tema central: para o desenvolvimento de um processo de TRM, a escolha do tema central foi fundamental, uma vez que, todos os outros passos seguintes dependiam da real intenção da avaliação do cenário, bem como, de quais perguntas chaves e aspectos relevantes que se pretendia manter “Vivo” no processo de vigilância tecnológica.

ETAPA 2- Identificação das fontes de prospecção: esta etapa foi desenvolvida de acordo com as orientações e aspectos relevantes do nível 1 apresentado.

ETAPA 3- Identificação dos direcionadores/ motivadores (*drivers*) relacionados com o tema central de acordo com as orientações e aspectos relevantes do nível 2.

ETAPA 4- Identificação dos atores envolvidos e dos produtos ou soluções tecnológicas, pertinentes dentro do contexto do tema central que se pretendia monitorar e objeto do processo de Roadmap Tecnológico “Vivo”.

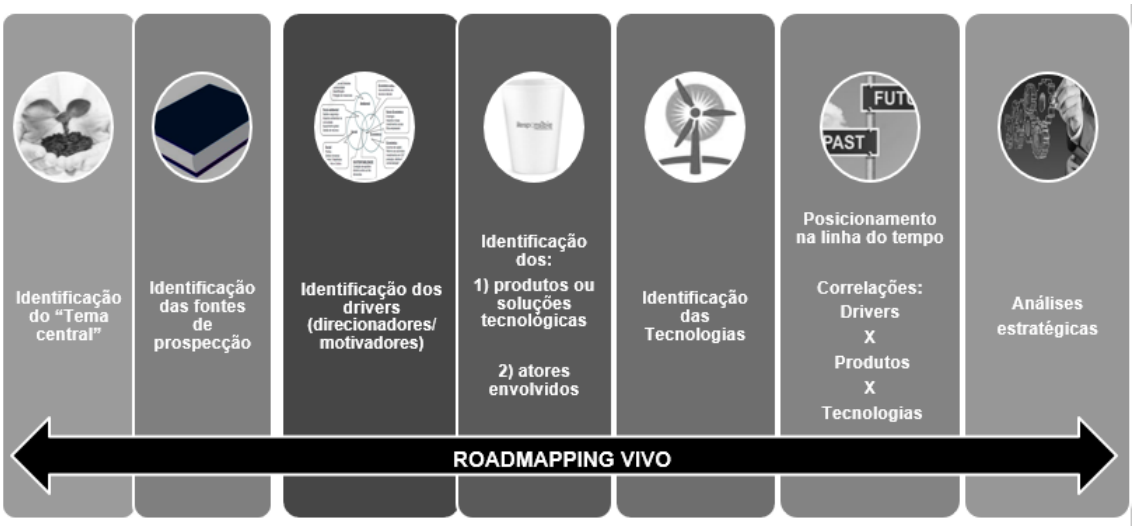
ETAPA 5- Identificação das tecnologias envolvidas dentro do contexto do tema central que se pretendia monitorar e objeto do processo de Roadmap Tecnológico “Vivo”.

ETAPA 6- Posicionamento dos produtos na linha do tempo, de acordo com o seu grau de maturidade comercial e tecnológica, e correlação entre os elementos que compuseram o processo de Roadmap Tecnológico “Vivo”: Direcionadores (em inglês *Drivers*), Atores, Produtos e Tecnologias.

ETAPA 7- Estruturação das análises estratégicas a serem realizadas como principal objetivo do processo de Roadmap Tecnológico “Vivo”, como: Perfil da empresa (*Company Profile*), Perfil do Produto (*Product Profile*), Perfil da Tecnologia (*Technology Profile*), Correlação Produto e Empresa, Correlação Produto e Empresa

e Tecnologia, Correlação Empresa e *Driver*, Correlação Produto e *Driver*, Correlação Tecnologia e *Driver*.

Figura 3.1- Processo de construção de um roadmap "Vivo" proposto nesta tese de doutorado - Etapas da estruturação e desenvolvimento em três níveis.



Fonte: Autoria própria.

3.1 NÍVEL 1 – Monitoramento Sistemático

No nível 1, foi desenvolvido um método para o processo de coleta e exploração de uma grande quantidade de dados quantitativos e qualitativos obtidos a partir das diferentes fontes de informação técnica especializadas, incluindo notícias em mídia especializada, patentes e resultados científicos. Além disso, sugeriu uma forma de como lidar com estes dados não estruturados de várias fontes, uma vez que é sabido que, atualmente, o maior desafio dos esforços prospectivos está justamente em como trabalhar com dados que crescem em volume, velocidade e variedade.

O processo sugerido permitiu acessar os dados de forma rápida e atualizada, viabilizando a análise da informação e avaliação de seu impacto ou a sua dimensão de alcance. Dessa forma, este processo poderia ser utilizado como ferramenta de estratégia tecnológica por empresas que buscam monitorar as tendências tecnológicas na Indústria Química mundial para identificar avanços tecnológicos, destacando-se oportunidades, desafios e ameaças para o seu portfólio de produtos, como é o caso da empresa Braskem e de outras empresas que buscavam adentrar no espaço de renováveis, bem como, em outras tecnologias emergentes. Ele também é aplicável para

tecnologias maduras em busca de espaço para inovação e para a introdução de novas soluções tecnológicas entre outras oportunidades de evolução no ambiente competitivo global.

O processo nesta tese, como um todo, se propôs a lidar sistematicamente com o acesso e análise da informação prospectada e compreendeu basicamente duas etapas e suas particularidades conforme descrito a seguir:

a) Identificação e mapeamento das fontes de dados e sua análise criteriosa com relação à qualidade da informação e sua credibilidade:

- As fontes de dados técnicos especializados e correlacionados com o cenário de renováveis utilizadas no monitoramento e prospecção tecnológica resultaram de um processo de prospecção estruturado e contínuo estabelecido para o setor de renováveis.
- O grupo selecionado foi definido criteriosamente e avaliado tecnicamente sobre sua credibilidade para garantia do uso no banco de dados, sua divulgação e análise de suas informações.
- No Quadro A.0.1 (Apêndice A) estão apresentadas as seguintes informações sobre as fontes de prospecção selecionadas, qualificadas e utilizadas no processo de prospecção tecnológica sistemática nesta tese de doutorado:

1) Website;

2) Classificação proposta nesta tese;
   a) Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global;
   b) Site técnico especializado;
   c) Site técnico especializado – Blog;
   d) Site de empresa de consultoria em gestão;
   e) Site de organização ligada a ações governamentais;
   f) Site de revista técnica internacional;
   g) Site técnico especializado sobre projeto de apoio no setor de produtos de base biológica para oito países na Europa;
   h) Site técnico especializado em análises econômicas;
   i) Site de organização ligada a ações governamentais;
   j) Site sobre Site sobre Evento Técnico-Científico;

k) Site sobre Informações Técnicas;

l) Site técnico sobre projetos na Europa

3) Descrição sobre o que o website aborda: o que ele propunha divulgar/analisar e como ele estava estruturado. Estas informações visavam relatar a sua importância no processo de prospecção tecnológica na área de renováveis;

4) A logomarca do *website*.

- Estruturação da taxonomia de pesquisa tecnológica baseada em palavras chaves relacionadas com o cenário de renováveis que foram criteriosamente identificadas e organizadas em um conjunto estruturado e dividido em grupos por relevância do tema, conforme apresentado no Quadro B.0.1 (Apêndice B), sendo as palavras selecionadas apresentadas tanto em inglês como em português, devido a abrangência global do tema.

- Foram definidas ações operacionais para prospecção contínua e acompanhamento das fontes de dados (*websites*) como: a) programação para o recebimento de e-mail(s) newsletter e/ou usar o recurso RSS (*FEED RSS*) diretamente nos sites monitorados, visando estabelecer um processo de vigilância tecnológica atualizado e contínuo; b) estratégia de incremento contínuo do número de fontes de dados a partir do direcionamento dos *websites* consultados; c) uso de alertas em sites, por exemplo, o *google*, com as palavras chaves identificadas no Quadro B.0.1 (Apêndice B). Ademais, informações provenientes de eventos técnicos e científicos, reuniões com os atores, entrevistas com profissionais qualificados também compuseram o processo de prospecção contínua.

b) Processo de coleta, seleção e análise de informações disponíveis no ambiente de renováveis:

- Em destaque, apontou-se a importância da etapa de análise das informações coletadas no processo de prospecção e monitoramento permitindo respostas criteriosas sobre as tendências sem incorrer erros de direcionamento das avaliações de trajetórias em renováveis.

- Para este aspecto destacou-se a importância da capacidade dos recursos humanos envolvidos em transformar informação em conhecimento estruturado, prezando pela rastreabilidade dos dados, sua capacidade de ser recuperado com facilidade (objeto do nível 2 desta tese) e reanalisado sempre que necessário frente a fatores novos e/ou aprofundamento das análises.

- A etapa de extração de dados relevantes das bases técnico-científicas foi realizada com perspicácia e conhecimento técnico específico. Os dados apontados foram registrados, organizados e introduzidos no banco de dados relacional, proposto no nível 2 desta tese, diretamente em campos específicos dos formulários direcionados e que permitiram a sua rápida recuperação, rastreabilidade e o uso em relatórios customizados. Esta fase proposta no nível 2, alimentou e impulsionou a etapa seguinte de construção do Roadmap Tecnológico "vivo" (TRM) e, ainda, de análise destas informações na busca por evidenciar padrões dos dados que poderiam auxiliar na descoberta das possíveis tendências na área de renováveis.

- O refinamento da interpretação e análise dos dados pode ser feita por meio de diversas propostas de análises estatísticas como: análise de agrupamentos, contagem de dados, histogramas de frequência, gráficos de pizza ou gráficos circulares/setores. As análises permitem impulsionar a busca por padrões de vinculações entre as variáveis registradas para a análise do cenário de renováveis.

- As informações monitoradas e analisadas englobam, entre outras, o acompanhamento dos movimentos dos principais atores (em inglês *players*), ou seja, empresas produtoras, desenvolvedores de tecnologia, empresas detentores de importantes marcas (em inglês *brand owners*), universidades, instituições de pesquisa e inovação, associações, diferentes tipos de empresas competidoras envolvidas, a relação com a cadeia produtiva, modelos de negócio e estratégias de parcerias estabelecidas, fusões e aquisições (*JV*, Integração Vertical, *M&A*(s), *Venture Capital*, *IPO*, entre outras), avaliação da possibilidade de lucros sustentáveis, estruturação de sua infraestrutura em P&D e em ativos para processos produtivos em biotecnologia e, ainda, a expertise de sua equipe; a movimentação em termos de novos entrantes,

ações relativas a investimentos públicos e privados, ações governamentais em aporte de recursos para temas específicos conforme suas políticas públicas, as interferências das regulamentações para acelerar ou desacelerar a consolidação deste setor.

- A metodologia proposta contemplou a prospecção de informações sobre: tecnologias de produção a partir de biomassa, as diversas rotas tecnológicas em competição, as plataformas tecnológicas para as diferentes biomassas (oleaginosas, açúcares celulósicos fermentáveis, resíduos orgânicos e outras) que estão se estabelecendo, tipos de processos de produção, complexidade, custo, estágio de evolução das tecnologias, aplicações industriais e de mercado e volumes de produção.

- Em termos de tecnologia foram monitorados os aspectos da corrida tecnológica tais como: tipos de biomassa (milho, cana-de-açúcar, sorgo, beterraba, capim elefante, etc), o pré-tratamento e o tratamento da biomassa (moagem, pirólise, torrefação, gaseificação, hidrólise enzimática, hidrólise ácida, explosão a vapor, tratamento com água quente, microondas, etc.), os processos de conversão a biocombustíveis, bioprodutos químicos e bioplásticos (fermentação/genética, processos químicos convencionais: oxidação, redução, catálise, polimerização), descrição das tecnologias, comparação com as tecnologias petroquímicas existentes, avaliação das novas tecnologias em desenvolvimento, vantagens técnicas e operacionais, aspectos de sustentabilidade: eficiência energética e da água, segurança química e biológica, liberação de gases de efeito estufa, os desafios tecnológicos a serem vencidos em diferentes escalas e, principalmente, no processo de escalonamento, logística e acesso à matéria-prima renovável, rendimentos dos processos, consumo de energia, geração de subprodutos e dificuldades/custo envolvido em seu processo de separação, nível de prontidão tecnológica e estágio de desenvolvimento da tecnologia, a situação de patenteamento e análise de robustez e fragilidades da propriedade intelectual.

- Em relação ao macro ambiente foram abordadas as mudanças socioeconômicas, as tendências tecnológicas, aspectos da legislação, investimentos, a identificação de necessidades de mercado para o cenário de renováveis.

O grupo relevante de fontes de dados englobava o monitoramento dos movimentos de diferentes atores envolvidos como grupos de pesquisas relevantes e inovadores, os movimentos das empresas relacionadas com a nova bioindústria com diferentes portes, entre outros, conforme apresentado na tabela 3.1. Nesta tabela são apresentadas as fontes divididas em grupos relevantes e a descrição dos aspectos relevantes delineados, dentro da estratégia adotada, para o processo de vigilância tecnológica proposto nesta tese de doutorado.

Tabela 3.1: Grupo de fontes utilizadas para o processo de vigilância tecnológica e sua descrição.

Grupo de Fonte (portais/websites)	**Foco / Descrição** **Objetivo da vigilância tecnológica**
Empresas de todos os portes monitoradas:	
a) grandes empresas do setor de óleo e gás, energia, químico, petroquímico, agronegócios, biotecnologia, produtores de bens de consumo detentores de grandes marcas no mercado, entre outras;	• **Acompanhamento das comunicações regulares e periódicas:** ○ Boletim de novidades (*Newsletters*); ○ Notas de imprensa (P*ress releases*). • **Informações direcionadas e específicas:** ○ Origem/histórico; ○ Descrição detalhada; ○ Portfólio de produtos; ○ Parcerias; ○ Tecnologia; ○ Localização das plantas. ○ Direcionadores (*drivers*), macrotendências e estratégias.
b) pequenas empresas nascentes de base tecnológica (*startups* e *spin-offs*);	
c) fundos de *venture capital*;	
Organizações ligadas a ações e iniciativas governamentais em diversos países.	• Programas de incentivo financeiro a pesquisas para temas direcionados; • Políticas públicas. • Novidades científicas.

Grupo de Fonte (portais/websites)	Foco / Descrição Objetivo da vigilância tecnológica
Órgãos governamentais do Brasil e do mundo responsáveis por fomento à pesquisa em universidades e em empresas.	
Empresas que se propõem a divulgar notícias sobre a plataforma de negócios para o setor sucroenergético.	• Análises setoriais e mercadológicas; • Impacto sobre a cadeia.
Instituições Científicas e Tecnológicas (ICT) e Universidades no mundo.	• Programas e projetos de pesquisas; • Novidades científicas; • Alterações nas estruturas dos cursos visando sustentabilidade e inovação.
Revistas técnico – científicas nacionais e internacionais.	• Acesso a artigos técnico-científicos recentes e publicados em faixa de tempo definida; • Varredura periódica sobre a produção científica de grupos de pesquisas e pesquisadores específicos em determinadas linhas de pesquisa relacionadas com os termos e temas objeto do monitoramento tecnológico; • Os resultados científicos relativos a oportunidades e estágios de pesquisas interessantes e de importância industrial e no mercado.
Eventos técnico-científicos promovidos por entidades associativas, empresas, ICTs, Universidades, organizações governamentais: • **Congressos** • **Seminários** • ***Workshops*** • **Conferências** • **Palestras técnicas** • **Jornadas** • **Simpósios** • **Painéis** • **Fórum e debates** • **Colóquios** • **Reuniões técnicas** • **Mesa-redonda** • **Cursos, entre outros.** •	• Informações relevantes obtidas a partir dos trabalhos apresentados nos eventos; • Acesso à análise da mídia especializada sobre as informações relevantes coletadas durante o evento; • Destaques para os assuntos abordados nas seções plenárias; • Prospecção de profissionais vinculados às empresas; • Prospecção de pesquisadores, suas linhas de pesquisa e vinculação com universidades e empresas; • Relações entre empresas e universidades; • Relações das empresas com produtos e temas técnico-científicos; • Relações dos pesquisadores e universidades com os temas monitorados.

Grupo de Fonte (portais/websites)	Foco / Descrição Objetivo da vigilância tecnológica
Patentes concedidas e pedidos de patentes.	• Busca e mapeamento da propriedade intelectual • Análise dos inventores mais relevantes • Relação dos inventores com as empresas monitoradas; • Análise dos depositantes e suas relações de co-titularidade; • Análise da quantidade de famílias e de documentos; • Análise do país depositado com o objetivo de entender a estratégia de proteção da invenção.
▪ **Empresas especializadas em inteligência e novas oportunidades de negócios em tecnologias emergentes;** ▪ **Empresas independentes de consultoria de aconselhamento estratégico e inteligência sobre tecnologias emergentes;** ▪ **Empresas que fornecem serviços baseados em tecnologia e são focadas em mercados definidos;** ▪ **Empresas especializadas em pesquisas e análise de mercados industriais globais.**	• Informações sobre previsões de mercado, de produto e de aplicações; • Estudos técnicos e econômicos aprofundados sobre tendências, planejamento estratégico, mercado e inteligência de negócios, pesquisas e análises de mercado publicados anualmente; • Análises sobre implicações de novas oportunidades sobre os negócios atuais; estratégias competitivas, tendências internacionais e outros fatores que impactam o crescimento em determinado setor. • Análises e comparação de dados para prever tendências futuras. • Perfis das empresas mais ativas na indústria e participação de mercado para empresas líderes; movimentos de outras empresas principais na cadeia de valor e do mercado; • Avaliação de aspectos técnicos sobre as possíveis rotas renováveis, rendimentos, viabilidade técnica e econômica de cada rota;

Grupo de Fonte (portais/websites)	Foco / Descrição Objetivo da vigilância tecnológica
• **Empresas caracterizadas como plataformas de notícias atualizadas e confiáveis no setor de renováveis.**	• **Notícias especializadas sobre:** ○ Biotecnologia; ○ Energias renováveis; ○ Setor suco energético; ○ Setor sucroalcooleiro; ○ Sustentabilidade; ○ Política agrícola e alimentar; ○ Etanol; ○ Biocombustíveis; ○ Biodiesel; ○ Biomassa; ○ Agronegócio; ○ Açúcar
Empresas caracterizadas como plataformas de notícias atualizadas e confiáveis no setor de petroquímicos.	• Notícias especializadas sobre a visão do setor petroquímico e sobre a área de renováveis.
Empresas caraterizadas como consultorias de gestão.	• Acompanhamento de análises de tendências.
Empresas caracterizadas como plataformas de notícias atualizadas e confiáveis no setor de plásticos, borrachas, adesivos, polímeros e outros produtos da cadeia petroquímica.	• Notícias especializadas sobre a visão do setor de plásticos sobre os biopolímeros / bioplásticos / biodegradabilidade / biocompósitos; • Aspectos sobre regulamentação e legislação; • Aspectos sobre investimentos e expansão de capacidades; • Aspectos sobre mercado; • Aspectos sobre percepção do consumidor final.
Organizações relacionadas com projetos de apoio ao setor de base biológica.	• Análise das empresas participantes para correlação com suas intenções futuras de desenvolvimento e de aproximação de mercado; • Avaliação dos temas das pesquisas colaborativas.
Empresas caracterizadas como plataformas de notícias sobre inovação.	• Notícias especializadas sobre boas práticas na área de inovação; • Planejamento da inovação; • Análise de casos de sucesso e implantação de processos de inovação;

Fonte: Autoria própria.

3.2 NÍVEL 2 – Banco de dados relacional estruturado

Conforme citado anteriormente, o desafio dos esforços prospectivos do nível 1 apresentados estavam relacionados à busca e ao acesso às informações que se apresentavam em volume cada vez mais crescente e surgiam em alta velocidade nos diversos meios de divulgação, assim como na variedade de informações sobre um determinado tema. Já o desafio seguinte, proposto no nível 2 desta tese, se referiu à organização das informações e seu armazenamento correto, permitindo a sua rápida recuperação, garantindo rastreabilidade, credibilidade e acurácia dos dados, além de favorecer a análise dos dados.

O banco de dados relacional estruturado buscou a compilação de todas as informações prospectadas incluindo dados históricos e conhecimento de eventos futuros que possam impactar sobre as previsões no cenário de renováveis. Os objetivos da estruturação deste banco de dados se referiam à facilidade de inserção, busca direcionada, recuperação das informações prospectadas, inclusive proporcionando a rastreabilidade dos dados técnicos.

Este banco de dados relacional idealizado foi resultado da evolução do processo de prospecção e registro das informações obtidas. A sua construção passou por diversas fases de estruturação, que colaboraram para o estágio de maturidade culminando no seu desenvolvimento contínuo e versátil capaz de incorporar novos campos para manter o elemento inovador do tema. Os campos do banco de dados relacional foram aos poucos sendo introduzidos de acordo com a demanda das análises que foram desenvolvendo-se ao longo do tempo.

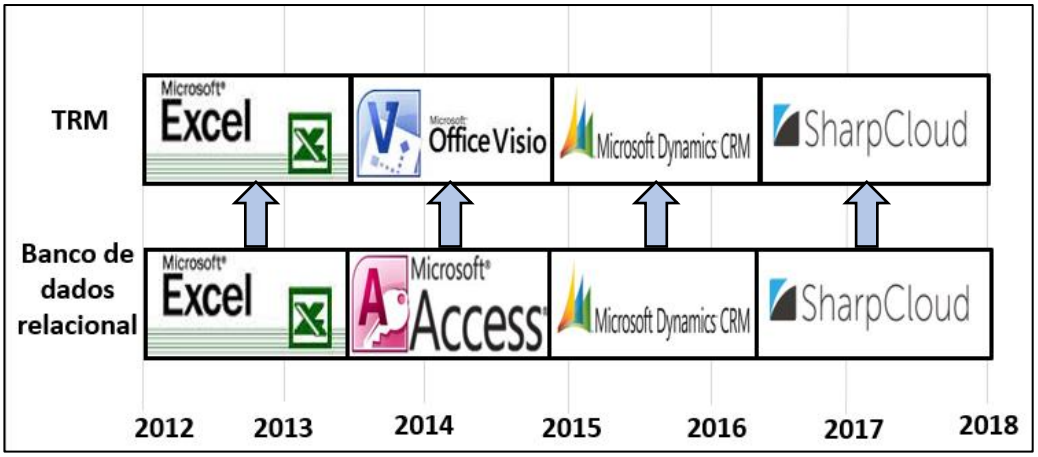
Diferentes sistemas de bancos de dados foram desenvolvidos nesta tese de doutorado ao longo do desenvolvimento do trabalho, baseado em programas computacionais disponíveis no mercado e em contínua evolução e amadurecimento do tema. Interessante observar que no desenvolvimento da metodologia houve uma evolução no conhecimento sobre projeto de banco de dados, sistemas de bancos de dados, como modelar base de dados, modelo relacional, modelo entidade-relacionamento e linguagem de consulta estruturada. Este conhecimento estava alinhado com a demanda do método e do tema, de forma a ser construído com base sobre o que era importante ser avaliado para a correta tomada de decisão e a análise em profundidade do cenário de renováveis.

À vista disso, inicialmente o banco de dados foi desenvolvido em MS Excel. Em seguida, os dados foram migrados para um banco de dados relacional desenvolvido em MS Access, que por sua vez possibilitou o amadurecimento do banco para o MS Dynamics CRM. Este último programa permitia a exportação dos dados novamente para MS Excel, possibilitando o uso de outros programas para a construção do TRM na forma gráfica e visual, a exemplo do SharpCloud.

O TRM final apresentado nesta tese foi construído no programa SharpCloud com o banco de dados do próprio programa, construído com parte dos dados do MS Excel obtido do banco de dados em MS Dynamics CRM e MS Access.

Da mesma forma, acrescenta-se que a construção do TRM na forma gráfica também foi alterando-se em função do banco de dados, ou seja: a) quando o banco de dados era construído em MS Excel, o TRM era contruído também em MS Excel; b) quando o banco de dados foi migrado para MS Access, o TRM foi construído em MS Visio; c) quando o banco de dados foi migrado para MS Dynamics CRM, o TRM era construído automaticamente em programa específico desenvolvido a partir do MS *Dynamics* CRM. Neste último caso foi desenvolvido um sistema computacional que permitia a geração automática do TRM na forma gráfica diretamente. O processo de evolução do banco de dados relacional e das ferramentas usadas para a construção do TRM estão representados na Figura 3.2, a seguir.

Figura 3.2 - Representação da evolução dos sistemas para construção do banco de dados relacional e do Roadmap Tecnológico (TRM).



Fonte: Autoria própria.

O banco de dados desenvolvido utilizando o programa denominado MS Dynamics CRM, se referia à proposta de adaptação de um software robusto já desenvolvido pela MicroSoft com o objetivo de promover a gestão de relacionamentos com o cliente em uma visão 360 graus, única para cada cliente e que permitia conectar clientes e recursos para impulsionar os negócios. Uma vez que sua estrutura poderia ser personalizada para atender às demandas específicas dos atores e produtos monitorados, verificou-se a possibilidade de desenvolver uma estrutura específica para gerenciamento das relações entre produtos e empresas monitoradas na área de renováveis,

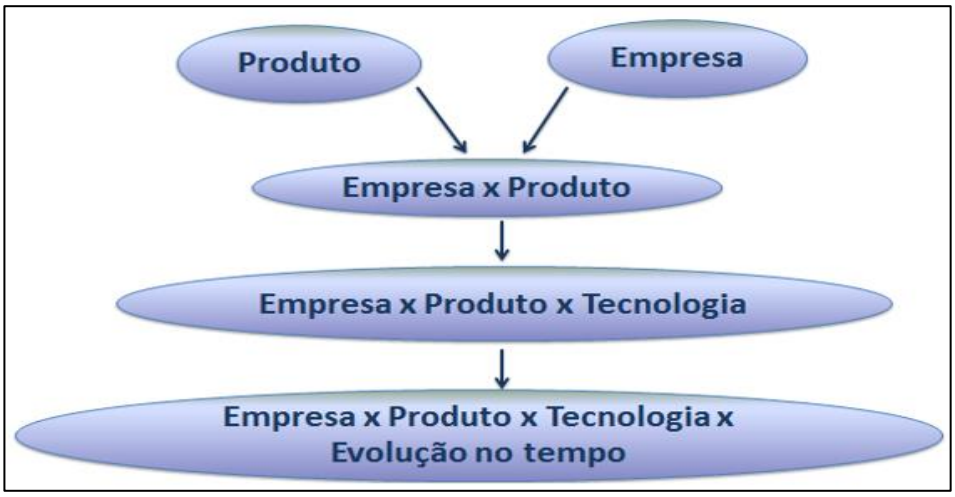
inclusive extrapolável para outras áreas do conhecimento e setores industriais, visando acompanhar as tendências na Indústria Química.

O banco de dados em MS Dynamics CRM foi totalmente customizado e construído em prazo de seis meses, em parceria com empresa de consultoria de TI especializada e credenciada pela Microsoft. Deste modo, esta última evolução do banco de dados relacional permitia aos usuários que fizessem perguntas relacionadas aos negócios por meio de vários pontos específicos. Outro ponto diferencial era possibilidade de acessar o banco de dados em MS Dynamics CRM diretamente a partir da imagem gerada para o TRM em formato de arquivo PDF[13].

A arquitetura do banco de dados foi idealizada pela autora desta tese de doutorado, com base na sua experiência desenvolvida no processo de prospecção do nível 1 e de acordo com a avaliação do que era necessário para a análise do cenário de renováveis. O objetivo era contemplar as informações dos produtos e das empresas, assim como suas relações com tecnologias, plantas, estágio de maturidade dos projetos, sempre relacionando com o tempo (curto, médio e longo prazo). A premissa para a sua estruturação e desenvolvimento era para mantê-lo continuamente alimentado, revisado e acessível para consultas constantes. A organização das informações básicas e relevantes sobre os produtos e as empresas era fundamental e, para tanto foram estabelecidos campos definidos nos formulários específicos. Na arquitetura idealizada do banco de dados, o produto monitorado era relacionado com o ator principal (normalmente, a empresa produtora ou a empresa desenvolvedora da tecnologia a ser licenciada, ou a Universidade que estava desenvolvendo uma linha de pesquisa no tema) e com todos os atores que atuavam em parceria (empresa x produto ou *company x product*). O tipo de parceria entre as empresas era registrado no banco de dados relacional, em campo relativo ao papel dos atores (empresa ou universidade), denominado em inglês *company role*. Outras informações relevantes como estágio de maturidade, capacidade das plantas, localização, investimentos, tipo de biomassa, patentes e outras foram introduzidas nos dois níveis mais elevados de relacionamentos: a) empresa x produto x tecnologia (ou em inglês *company x product x technology)* e b) empresa x produto x tecnologia x evolução no tempo (ou *em inglês company x product x technology x time evolution*). A representação esquemática da arquitetura do banco de dados relacional é apresentada na Figura 3.3 a seguir.

[13] PDF - *Portable Document Format* ou Formato Portátil de Documento, que se trata de formato de arquivo criado pela empresa Adobe Systems para que qualquer documento seja visualizado de forma idêntica ao documento original, independente de qual tenha sido o programa que o originou.

Figura 3.3 – Representaçao esquemática da arquitetura do banco de dados relacional desenvolvido.



Fonte: Autoria própria.

O banco de dados em MS Dynamics CRM relacional foi estruturado de forma a conter algumas funcionalidades diferenciadas e customizadas para esta proposta de trabalho tais como: a) os relatórios obtidos podiam ser customizados em função da necessidade de informações a partir do banco de dados; b) novos campos foram facilmente criados de acordo com a necessidade de monitoramento de dados específicos para a avaliação do cenário de renováveis, garantindo a inserção de elementos inovadores no processo de prospecção, de acordo com seu grau de utilização; c) com o objetivo de garantir a rastreabilidade das informações prospectadas e sua rápida recuperação foram criados formulários específicos no quais as informações prospectadas podiam ser anexadas e recuperadas com facilidade para todos os campos referentes a produto, empresa e suas relações. Para este caso, as informações foram adicionadas e relacionadas com campos específicos denominados tipos de comentários os quais permitiram correlacionar o conteúdo da informação prospectada com o campo do banco de dados. Relatórios específicos para o tipo de comentário adicionado também podiam ser obtidos. Alguns dos tipos de comentários mais utilizados são: artigos, informações sobre as tecnologias, capacidade das plantas, modelo de negócio, perfil da empresa, estágio de maturidade da planta, investimentos, análises de mercado, fusões e aquisições, situação financeira e movimentos financeiros, informações sobre parcerias estabelecidas, reuniões com empresas, produtores, análise de patentes, entre outros.

A base do banco de dados foram os produtos e as empresas/atores monitorados e suas relações. As principais informações monitoradas e introduzidas e seus respectivos objetivos

foram apresentadas nas tabelas a seguir: a) tabela 3.2 contendo os campos para os produtos monitorados; b) tabela 3.3 contendo os campos para os atores monitorados (incluindo as parcerias); c) tabela 3.4 contendo os campos para a relação produto com ator; d) tabela 3.5 contendo os campos para a relação produto, ator e tecnologia; e) tabela 3.6 contendo os campos para a relação produto, ator, tecnologia e evolução no tempo; f) tabelas 3.7 e 3.8 contendo os aspectos relevantes para os elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio, adotados no Roadmap e prospectados nesta tese; g) tabela 3.9 contendo as tecnologias adotadas no TRM e os aspectos relevantes para as alternativas tecnológicas na área de renováveis. A seguir serão apresentadas as tabelas e suas considerações. Na metologia de construção de banco de dados relacional, cada campo era definido como sendo: a) campo livre com possibilidade de digitação de informações em até 200 caracteres; b) campo com possibilidade de inserção de endereços da internet ou de endereços de repositórios de dados (*hyperlinks)*; c) campo a ser preenchido com informações pré-definidas pela escolha de opções a partir de listas pré-cadastradas, como: setor (público ou privado), lista de países, estados, cidades e outros.

Tabela 3.2 – Campos no banco de dados relacional para produtos monitorados

Campo	**Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados**
Nome, descrição, fórmula molecular e massa molar (GENERAL: type, name, description, molecular formula and molecular weight, product type)	Informações básicas para identificação do produto monitorado: Tipo: produto, matéria-prima ou utilidade; Nome; Descrição, Fórmula molecular e Massa Molar; Relação com a dimensão 2 do TRM, ou seja, a classificação como Biocombustível, Bioderivado químico e Biopolímero.
Classe química (C*ategory*)	O objetivo é identificar as classes químicas predominantes para os produtos derivados de biomassa: ácidos, álcoois, algas, amidas, aminas, compostos aromáticos, éster, éteres, hidrocarbonetos, dienos ou diolefinas, cetonas e outras funções químicas.
Classificação (*Product Class*)	O objetivo é identificar as classificações dos produtos como *commodities*, *pseudocommodities*, química fina, especialidades.

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Informações para o roadmap (*Roadmap information*)	Neste campo foram estabelecidas as regras para o posicionamento da caixa do produto automaticamente no TRM como ano para o roadmap que se refere ao seu posicionamento na linha do tempo em função da viabilidade de sua produção em escala comercial, a definição da cor da caixa em função da sua classificação como biocombustível, bioderivado químico e biopolímero.
Especificação do produto (*Product Grade*)	Informações sobre a especificação do produto contendo dados sobre o grau de pureza do produto, contaminantes, propriedades etc.
Relação 1: produto x empresa (*Company x Product*)	Neste campo foram identificadas as empresas de todos os tipos, as universidades e parcerias relacionadas com o produto em questão.
Detalhamento dos direcionadores (*drivers*) do TRM (*Layer detailing*)	Neste campo foram apontados os motivadores e/ou direcionadores (em inglês: (*driver*(s)) para o desenvolvimento de cada produto e as tecnologias relacionadas ao desenvolvimento do produto.
Informações sobre as rotas tecnológicas (*Route Information*)	Nome da rota, descrição, coeficientes técnicos e rendimentos, informações sobre OPEX e CAPEX.
Informações sobre mercado, principais produtores globais de produtos de origem petroquímica, aplicações,	Neste campo foram compiladas importantes informações sobre o produto a partir de rota petroquímica e/ou renovável, incluindo principais produtores, volumes de produção, capacidade produtiva e ociosa por produto, aplicações, participação de mercado (*marketshare*) tecnologias existentes e em desenvolvimento, visando a criação de perfis de produtos monitorados (*product profiles*).
Informações sobre as rotas tecnológicas (*Route Information*)	Nome da rota, descrição, coeficientes técnicos e rendimentos, informações sobre OPEX e CAPEX.
Informações adicionais (*Additional information*)	O objetivo deste campo é garantir a rastreabilidade das informações e a sua rápida recuperação, assim, foram introduzidas as notícias prospectadas, os estudos relevantes como CEH e PEP publicados pelo IHS, estudos como PERP publicados pela Nexant, as análises de patentes concedidas e pedidos de patentes e outras informações prospectadas.

Fonte: Autoria própria

Tabela 3.3 – Campos do banco de dados relacional para atores monitorados

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Dados gerais (*General*)	Informações básicas para identificação das empresas/universidades bem como para as parcerias monitoradas: razão social, dados de endereço da sede e suas filias (país, estado, cidade, esta informação era particularmente interessante para entender se os atores estavam buscando se instalar próximo à matéria-prima cutivada em uma determinada região, ou se estava buscando se fixar perto de pólos industriais para se beneficiar de compartilhamento de utilidades, como exemplo o caso da Bioamber junto à Lanxesss em Sarnia no Canada), endereço, website, nome anterior (*formerly*, campo importante para não perder dados históricos em função dos movimentos relacionados com alteração de razão social, fusões e aquisições e outros movimentos), setor da economia: público ou privado, segmento, atuação no Brasil, tamanho da empresa, número de funcionários, presença global, número de unidades produtivas, projetos em desenvolvimento. Estas informações eram utilizadas para a criação de perfis de empresas (*company profiles*)
Origem/Formação/ Histórico/Missão/ Visão/ Não de início/ Ano término (*Origin/ Descripton*)	Neste campo foram colocadas informações sobre as empresas, universidades e as parcerias estabelecidas tais como: origem e descrição, ou seja, detalhes sobre sua formação e descrição sobre campo de atuação no setor; informações sobre o ano de início e, se for o caso o ano do fim das atividades, com o objetivo de verificar-se, por exemplo, alguma tendência de estabelecimento de parcerias em função de alguma ação no espaço de tempo.

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Informações para o roadmap (*Roadmap information*)	Neste campo foram estabelecidas as regras para o posicionamento da empresa/universidade ou parceria dentro da caixa do produto automaticamente no TRM. Caso tenha-se a intenção de preservar a informação como confidencial então é apenas não selecionar sua liberação para o TRM. O arquivo em formato jpg referente à logomarca da empresa ou do produto é colocado neste campo do CRM para ser inserido automaticamente no TRM.
Informações sobre as plantas/centros de P&D associados às empresas/ universidades ou parcerias (R&D *Location* / *Plant Location*)	As informações sobre o ano de início de operação da planta, localização da planta, descrição, origem, capacidade produtiva, matéria-prima associada.
Contatos (*Contacts*)	Neste campo foram colocadas informações sobre o nome do contato, posição na empresa, dados para contato: e-mail, endereço etc. O histórico das relações de contato entre empresas pode ser adicionado no campo comentários.
Relação 1: produto x empresa (*Company x Product*)	Neste campo foram identificadas as empresas de todos os tipos, as universidades e parcerias relacionadas com os produtos monitorados.
Informações adicionais (*Additional information*)	O objetivo deste campo é garantir a rastreabilidade das informações e a sua rápida recuperação, assim, foram introduzidas as notícias prospectadas, um perfil da empresa, os estudos relevantes como CEH e PEP publicados pelo IHS, estudos como PERP publicados pela Nexant, as análises de patentes concedidas e pedidos de patentes e outras informações prospectadas.

Fonte: Autoria própria

Tabela 3.4 – Campos do banco de dados relacional para as relações atores e produtos monitorados

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Dados gerais (*General*)	Informações sobre a correlação de empresas/universidades e parcerias com os produtos monitorados
Papel da empresa/universidade e das parcerias (Company role)	Neste campo foram colocadas informações sobre o papel das empresas, universidades e as parcerias estabelecidas em relação ao produto monitorado, tais como: produtor, licenciador de tecnologia, investidor, desenvolver de tecnologia, cliente final chave, distribuidor, proprietário da marca, fornecedor de matéria-prima e outras formas de parcerias.

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Capacidade total por período (*Total capacity kta*)	Informações sobre a capacidade da empresa ou parceria em relação ao produto monitorado correlacionado por período de tempo do TRM.
Número total de plantas por período (total number of plants per period)	Informações sobre o número total de plantas da empresa ou parceria em relação ao produto monitorado correlacionado por período de tempo do TRM.
Classificação por período (Ranking per period)	Posicionamento da empresa ou parceria para o produto monitorado e por período de tempo quando comparado com outras empresas ou parcerias para o mesmo produto
Tecnologia proprietária (Proprietary Technology)	Neste campo foram colocadas informações sobre uma determinada tecnologia proprietária da empresa ou parceria relacionada ao produto monitorado: nome da tecnologia, patentes relacionadas e parâmetros para a tecnologia em questão.
Informações adicionais (*Additional information*)	O objetivo deste campo é garantir a rastreabilidade das informações e a sua rápida recuperação, assim, foram introduzidas as notícias prospectadas, um perfil da empresa, os estudos relevantes como CEH e PEP publicados pelo IHS, estudos como PERP publicados pela Nexant, as análises de patentes concedidas e pedidos de patentes e outras informações prospectadas.

Fonte: Autoria própria

Tabela 3.5 – Campos do banco de dados relacional para as relações atores, produtos e tecnologias monitoradas

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Dados gerais (*General*) Relação 2: Empresa, produto e tecnologia (*Company x Product x Technology*)	Informações sobre a correlação de empresas/universidades e parcerias com os produtos monitorados e suas tecnologias
Comparação entre as rotas de produção petroquímicas e renováveis (*Comparison Petrochemical x Biochemical Production Route*)	Pontos de destaque sobre a comparação entre as rotas de produção por tecnologias petroquímicas e as tecnologias renováveis.
Investimentos (*Investments*)	Informações sobre investimentos públicos e privados

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Capacidade total por período (*Total capacity kta*)	Informações sobre a capacidade da empresa ou parceria em relação ao produto monitorado correlacionado por período de tempo do TRM.
Número total de plantas por período (*Total number of plants per period*)	Informações sobre o número total de plantas da empresa ou parceria em relação ao produto monitorado correlacionado por período de tempo do TRM.
Patentes (*Patents*)	Os documentos de patentes podem ser anexados neste campo. A logomarca da tecnologia ou a logomarca do produto podem ser anexados neste campo.
Informações adicionais (*Additional information*)	O objetivo deste campo é garantir a rastreabilidade das informações e a sua rápida recuperação, assim, foram introduzidas as notícias prospectadas, um perfil da empresa, os estudos relevantes como CEH e PEP publicados pelo IHS, estudos como PERP publicados pela Nexant, as análises de patentes concedidas e pedidos de patentes e outras informações prospectadas.

Fonte: Autoria própria

Tabela 3.6 – Campos do banco de dados relacional para as relações atores, produtos, tecnologias monitoradas e evolução no tempo.

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Dados gerais (*General*) Relação 3: Empresa, produto, tecnologia e evolução no tempo (*Company x Product x Technology X Time Evolution)*	Informações sobre a correlação de empresas/universidades e parcerias com os produtos monitorados e suas tecnologias em função do tempo: a) nível de desenvolvimento: laboratório, piloto, demonstração e industrial, b) ano em que estará neste estágio de maturidade, c) ano previsto inicialmente com o objetivo de se detectar postergação dos projetos de construção de plantas, d) localização da planta e número de plantas
Capacidade total da planta (*Total capacity kta*)	Informações sobre a capacidade total de produção da empresa ou parceria em relação ao produto monitorado e a tecnologia correlacionada em função do tempo.
Investimentos (*Investments*)	Informações sobre investimentos públicos e privados em P&D, realizadas diretamente pelos atores, provenientes fontes de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Campo	Aspectos relevantes para os parâmetros monitorados
Informações adicionais (*Additional information*)	O objetivo deste campo é garantir a rastreabilidade das informações e a sua rápida recuperação, assim, foram introduzidas as notícias prospectadas, um perfil da empresa, os estudos relevantes como CEH e PEP publicados pelo IHS, estudos como PERP publicados pela Nexant, as análises de patentes concedidas e pedidos de patentes e outras informações prospectadas.

Fonte: Autoria própria

Os denominados *Drivers* ou Elementos Direcionadores são fatores que retratam os motivadores de mudanças futuras e tendências tecnológicas, ambientais, comportamentais, sociais, entre outras. Em sua essência, os *drivers* consideram diversos requerimentos críticos que dependem do seu contexto geral e entorno, tais como: aspectos socioeconômicos, políticos, obstáculos de mercado, oportunidades de mercado, logística, aceitação do público, suporte político, restrições regulatórias, entre outros fatores. Os *drivers* tem sua maior aplicação para apoiar o posicionamento das organizações e da sociedade no contexto global. Existem diversos aspectos importantes associados à frequência de mudança dos *drivers* ao longo do tempo, sendo fundamental acompanhar estes movimentos. *Drivers* de mercado, por exemplo, alteram significativamente o mercado em que a empresa está inserida, por isso, a importância para as organizações de utilizarem ferramentas que possibilitem o acesso às análises de tendências de mercado. Dessa forma, é essencial que as organizações se conscientizem sobre a importância de olhar para fora afim de melhor adequar suas decisões internas, sendo esta a função primordial dos *drivers* neste contexto. Decisões estratégicas internas relacionadas a temas como: aquisição de ativos estratégicos, investimentos, conhecimento do futuro do negócio, ações de compartilhamento de recursos, entre outras, baseiam-se nos *drivers* e suas implicações.

Um *driver* é caracterizado por se tratar de um fato ou uma constatação que motiva ou move as organizações em determinadas direções. Trata-se de um fator chave que se apresenta como um propósito, uma razão maior para uma ação ou resposta a uma pergunta-chave como saber o porquê- propósito – o ***know-why*** - está relacionado com o conhecimento do propósito de um negócio, ou seja, saber a sua importância e o seu valor.

Os *drivers* são criados a partir da identificação de fatores que ditam as novas regras da competitividade, do ambiente em que se está inserido, dos desafios socioeconômicos já bem estabelecidos e que constituem ameaças ou oportunidades já conhecidas.

Entretanto, algumas tendências são atemporais e sofrem modificações constantes devido a um processo natural de amadurecimento em função do tempo e da convergência com outros temas emergentes. Dessa forma, é imprescindível o acompanhamento do tema para garantir a segregação destes fatores do processo de monitoramento. O uso de um *driver* é motivado pelo fato de que as organizações necessitam, por exemplo, entender os movimentos de seus principais concorrentes e responder a questões-chave: Como eles estão desenhando o novo mercado? Como estão se organizando para se manter competitivo? entre outras. Para citar como exemplo relacionado com o caso de *drivers* de mercado para uma empresa, tem-se que considerar os elementos que irão definir os volumes demandados dos produtos produzidos; elementos que se caracterizam por representarem ameaças aos produtos produzidos; elementos que representarem a abertura grande número de oportunidades para ampliar o alcance de seu negócio.

Os *drivers* adotados para o cenário de renovável desta tese foram selecionados por meio de todo o processo de prospecção tecnológica realizado nível 1, englobando a consolidação dos direcionadores apresentados principalmente em relatórios e estudos publicados por entidades representativas do setor de bioeconomia, como os relatórios publicados pela European Commission (2011), European Bioplastics, nova Institut GmbH, entre outros. Considerou-se também os elementos direcionadores explicitados nos relatórios anuais e nos relatórios de sustentabilidade dos principais atores monitorados neste estudo. Além disso, realizou-se uma importante avaliação dos direcionadores abordados pelos relatórios de tendências publicados pelas principais empresas especializadas em pesquisa e análise de mercado global, tais como: PricewaterhouseCoopers -PwC, Mckinsey, Deloitte, BCG-The Boston Consulting Group, Euromonitor, Accenture.

Assim, na tabela 3.7 foram apresentados os motivadores *(drivers)* considerados e adotados neste TRM, incluindo seus pontos chaves e questões relevantes que direcionam o cenário de renováveis. Entretanto, durante o processo de prospecção tecnológica, foram encontrados outros importantes elementos como direcionadores para os atores monitorados neste trabalho, seja em seus relatórios anuais ou em relatórios de sustentabilidade, declarações públicas em mídia especializada, apresentações em eventos técnicos, artigos técnico-científicos e outros meios. Na tabela 3.8 serão apresentados esta compilação de elementos direcionadores prospectados com o objetivo de apresentar a abrangência do tema e como as organizações apresentam suas estratégias.

Tabela 3.7 – Elementos motivadores e/ou direcionadores (*drivers*) da área de renováveis utilizados no TRM

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS-* (purposes-know-why)*)*	**Aspectos chave para os elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio na área de renováveis**
1) Aumento da população mundial (*Population Growth*)	Aumento da população mundial - atualmente de 7,6 bilhões, projetada para 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões de pessoas em 2050 e 11,2 bilhões de pessoas em 2100 (NAÇÕES UNIDAS, 2017).
2) Sustentabilidade: (*Sustainability Strategy: concerns-environmental, social, economic)*	Estratégia de sustentabilidade- Nova meta para as firmas, consumidores, governo e academia: a sustentabilidade nas três dimensões: econômica, social e ambiental. A Indústria Química está buscando evoluir negócios sustentáveis baseando-se em biomassa (ILES, 2013; European Comission, 2011). A busca é por condições de equilíbrio dinâmico entre as três dimensões.
3) Economia circular (*Circular economy*)	A União Europeia está buscando promover a mudança de uma economia linear para uma economia circular baseada em um modelo de produção e de consumo, que implica na redução do desperdício ao mínimo, ou seja, um produto pode ser utilizado uma e outra vez criando assim mais valor (Parlamento Europeu, 2018).
4) Redução de Gases de efeito estufa - GEE *(GHG -Greenhouse Gases Minimizing)*	O gás carbônico é considerado o segundo maior contribuidor de todos os gases para o efeito estufa. A queima de combustível fóssil tem contribuído significativamente para o aumento do CO_2 na atmosfera, sendo que a maior quantidade de CO_2 é proveniente de atividades industriais. Diversas ações têm sido adotadas para conter a emissão de GHG entre elas novas tecnologias como a nova indústria baseada em biotecnologia que surge com uma das alternativas (OECD, 2011). Até 2030, a União Europeia está comprometida com a redução dos gases de efeito estufa em até 40% do valor de referência de 1990.
5) Escassez de recursos naturais *(Resource scarcity)*	Escassez de recursos naturais associado à redução do consumo de água e de outros recursos naturais. A necessidade de recursos naturais crescerá com o aumento da população mundial.
6) **Mudanças climáticas (*Climate Changes*)**	A mudança climática é um desafio para todas as atividades humanas, incluindo as formas como a energia será gerada e consumida no futuro. A redução do aquecimento global é de fundamental importância para qualquer empresa ou indivíduo. Produtos químicos bioderivados podem substituir seus equivalentes petroquímicos com redução significativa da emissão de GHG (OECD, 2011).

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS-* (purposes-know-why))	**Aspectos chave para os elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio na área de renováveis**
7) Urbanização *(Urbanization)*	A urbanização se refere à expansão das cidades, ou seja, o crescimento das áreas urbanas.
8) Recurso de fontes renováveis *(Renewable resources)*	Ações concretas na busca por soluções sustentáveis, por novas fontes de matérias-primas e por produtos a partir de fonte renovável. Novos produtos podem ser criados a partir de biomassa para substituir os baseados em combustíveis fósseis, enquanto a intensificação sustentável da agricultura e silvicultura pode proteger os estoques de carbono em solos e florestas. (European Comission, 2011).
9) Alteração do preço do petróleo *(Oil price fluctuations)*	A Indústria Química depende fortemente do petróleo como matéria-prima para a produção de *commodities* e especialidades químicas. Embora combustível e energia elétrica sejam os principais usos do petróleo, produtos químicos consomem parcela da produção das refinarias (HIRATUKA, 2000). Os preços de óleo cru têm apresenta grande flutuação e atingiu valores elevados nos últimos 10 anos.
10) Biodegradabilidade *(Biodegradability)*	A biodegradabilidade é um dos atributos verdes relacionados com a preocupação com o ciclo de vida do produto, cujo descarte final não venha a prejudicar o meio ambiente.
11) Reciclabilidade (*Recyclability*)	A reciclabilidade é um dos atributos verdes mais importantes para os consumidores. Fica evidenciado que os produtos verdes que não puderam se utilizar das atuais correntes de reciclagem teriam sérias barreiras na sua adoção por parte dos consumidores finais.
12) Baixa Pegada de carbono (*Low Carbon Footprint*)	A indústria de biotecnologia baseada em matérias-primas renováveis (white biotechnology) pode reduzir significativamente as emissões de CO_2 e é reconhecida como parte do conjunto de ferramentas para alcançar soluções sustentáveis para as mudanças climáticas (OECD, 2011). A redução da emissão de CO_2 evita aquecimento global.
13) Expectativa dos consumidores *(Consumer needs and preferences)*	Consumidores exigem ofertas sob medida, com base em suas necessidades individuais, valores e preferências. O maior desafio é acompanhar a mudança no comportamento do consumidor para fidelizá-lo como cliente, além de redesenhar seus produtos para criar valor de maneira única para o cliente. A geração do milênio tem um enorme poder de compra e seus hábitos e preferências comportamentais e de compra são muito diferentes das gerações anteriores. Os consumidores de baixa renda de hoje nos países em desenvolvimento são a classe média de amanhã (PWC, 2017).
14) Segurança alimentar (*Food security*)	A segurança alimentar engloba alimentos suficientes, nutritivos, seguros e acessíveis.

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS*- (purposes-know-why))	Aspectos chave para os elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio na área de renováveis
15) Revolução digital, automação, internet das coisas e impressão 3D. (*Digital Revolution, Automation, IoT and 3D Revolution*)	Revolução digital pode afetar os modelos de negócio existentes e nenhuma indústria está imune. A automação está mudando a forma de grande parte da força de trabalho no mundo. Uso de impressão 3D, robótica, IoT, drones estão revolucionando as empresas industriais (PWC, 2017).

Fonte: Autoria própria

Tabela 3.8 – Outros elementos motivadores e/ou direcionadores (*drivers*) da área de renováveis prospectados para os atores monitorados.

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS*- (purposes-know-why))	Aspectos relevantes para os outros elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio prospectados na área de renováveis
Mudanças demográficas no poder econômico	O crescimento populacional explosivo em algumas áreas e o declínio em outros estão contribuindo para mudanças demográficas no poder econômico. Por exemplo, algumas sociedades estão envelhecendo rapidamente enquanto a idade média de outras está ficando mais jovem (PWC, 2015).
Mudanças e pressões ambientais (*Environment shifts and pressures*)	As empresas estão cada vez mais buscando ações em respeito e em benefício ao meio ambiente. Tem apresentado diversas soluções para mitigar seus impactos em uma perspectiva de estabelecer um crescimento mais sustentável e com agregação de valor aos seus negócios.
Lucratividade na cadeia de valor *(Value chain profitability)*	A viabilidade econômica da produção de compostos químicos a partir de biomassa vegetal vem sendo buscado por meio da integração de processos de modo a aproveitar infraestruturas existentes e diminuir custos (VAZ, 2013). Da mesma forma, barreiras econômicas buscam ser vencidas por meio da garantia de demanda de produtos de base biológica na cadeia de valor a jusante, com parcerias com usuários finais e detentores de grandes marcas (ILES, 2013).

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS*- (purposes-know-why))	**Aspectos relevantes para os outros elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio prospectados na área de renováveis**
Atributo verdes (*Green atributes*)	Os produtos verdes vão ocupar espaço no mercado e impactar os hábitos de consumo do consumidor final (KAISER, 2012). Entretanto, existe uma preocupação em relação ao impacto ambiental dos produtos que compram e consomem. É preciso analisar o impacto da conscientização dos consumidores com relação a aspectos de redução de consumo de produtos de fonte não renovável e da sua percepção sobre os aspectos ecológicos dos produtos verdes (BUSINESSGREEN, 2013). Importante estudo realizado pela McKinsey (KAISER, 2012) apontou ainda que a demanda e o entusiasmo para o consumo de produtos verdes variaram em função da localização geográfica e do segmento de mercado, sendo que a Europa possuiu maior interesse do que os Estados Unidos, seguida da Ásia e o segmento de bens de consumo foi o que apresentou maior demanda entre todos os avaliados.
Conteúdo de material bioderivado *(Bio-based content)*	O impacto do conteúdo verde, ou seja, o conteúdo de matérias primas renováveis no produto final. Produtos totalmente composto por material baseado em fontes renováveis e produtos parcialmente bioderivados. Entretanto, a definição sobre produtos verdes e seus principais atributos está mais relacionada à destinação final do produto do que à sua origem a partir de fonte renovável.
Acúmulo de capital *(Accumulation Of Capital)*	A inovação no uso de matérias-primas renováveis abre novos campos para a acumulação de capital para as empresas que se propõem a diversificar sua base produtiva.
Conhecimento *(Knowledge)*	O nível de conhecimento acumulado da empresa sobre vias biotecnológicas para conversão da biomassa em novos produtos como base para o crescimento, bem como sua capacidade de geração e de utilização/aplicação deste conhecimento.
Desempenho *(Performance)*	A demanda por produtos verdes está crescendo em ritmo acelerado, principalmente para produtos que atendem aos critérios corretos e que efetivamente não tragam desvantagens em relação ao seu desempenho quando comparado com o seu equivalente petroquímico (KAISER, 2012).
Baixa toxicidade *(Low Toxicity)*	A reduzida toxicidade também é um atributo relacionado com o final do ciclo de vida dos produtos sendo apontado como um dos atributos verdes de importância na visão dos consumidores finais a ser considerado na sua proposta de introdução no mercado com marca ecológica e sustentável.
Produtividade (*Productivity*)	O rendimento dos processos de conversão das biomassas a blocos construtores é um importante parâmetro para a economicidade das diferentes alternativas tecnológicas. As empresas buscam por altos rendimentos e com baixos custos de conversão para resultar na oferta de produtos competitivos.

DIRECIONADORES/ MOTIVADORES *(DRIVERS*- (purposes-know-why))	**Aspectos relevantes para os outros elementos motivadores e/ou direcionadores de mercado e de negócio prospectados na área de renováveis**
Transição da sociedade à uma bioeconomia sustentável (Society transition to a green bio-economy)	A conscientização da sociedade ao efeito favorável ao clima pelo desenvolvimento da bioeconomia sustentável e, finalmente, uma transição efetiva para uma sociedade livre de fósseis. Embalagens de papel ao invés de plástico, têxteis confeccionados com fibras de madeiras, uso de madeira na construção civil.
Aspectos legais, Aspectos fiscais, Aspectos regulatórios	Regulamentação: Pública e Privada.
Sociedade mais sustentável	Foco e preocupação com as pessoas e com o planeta.
Aspectos Sócio-ambientais	Desertificação; Biodiversidade, Impactos ambientais na comunidade; Proteção de mananciais; controle de emissões; Saúde e segurança; direitos trabalhistas; direitos humanos segurança de processos no qual proteger pessoas é essencial.
Aspectos político-sócio-econômicos	Mudanças no cenário mundial; investimentos sociais; ética empresarial; Perspectivas da economia internacional; Modificações na política econômica brasileira; Mudanças na estrutura de custos; impostos e taxas, retorno aos acionistas, variações cambiais, incertezas futuras, modificações dos fatores que afetam os preços internacionais e domésticos; governança corporativa.
Aspectos de mercado	Barreiras à entrada: Tributação; promover demanda futura pelos produtos atuais da empresa; Mudanças nos preços praticados pelos concorrentes; redução de custo - reduzir custo para que o cliente compre mais, mas mantendo todas as outras características iguais; Riscos conhecidos e desconhecidos; Mudanças no cenário político-econômico nos mercados emergentes; modificações na sazonalidade dos mercados.
Aspectos de consumo	Maior durabilidade de produtos; reduzir peso permite reduzir consumo de combustível.

Fonte: Autoria própria

Na tabela 3.9, foram apresentadas as diversas alternativas tecnológicas prospectadas e consideradas neste TRM, conforme descrito no capítulo 2, seus pontos chaves e questões relevantes que direcionam o cenário de renováveis.

Tabela 3.9 - Aspectos relevantes para as alternativas tecnológicas na área de renováveis

TECNOLOGIAS	Aspectos relevantes
1) Pré-tratamento (*Pretreatment*)	Etapa de preparo da biomassa: romper a sua estrutura para separação das frações lignocelulósicas e expor as celuloses e hemiceluloses visando aumentar a eficiência da hidrólise a açúcares fermentáveis (hexoses -C6 e pentoses-C5).
1.1) Tratamento Mecânico (*Mechanical*)	Tratamento físico da biomassa devido à necessidade de redução do tamanho da partícula visando aumento da área superficial acessível, mas não alteram a composição da biomassa.
1.2) Tratamento por explosão a vapor (*steam explosion*)e LHW (*Liquid Hot Water*)	Tratamento físico-químico para desbloquear o acesso à celulose. A biomassa é exposta a vapor pressurizado (2 atm), seguido de rápida redução na pressão, à temperaturas de 180ºC a 240ºC por rápidos períodos de tempo de 5-10 min. Ocorre a quebra da estrutura lignocelulósica, com a hidrólise da hemicelulose em pentoses (d-xilose), a despolimerização da lignina, rompimento das fibras de celulose e liberação de hexoses.
1.3) AFEX (*Ammonia fiber expansion*)	Pré-tratamento que utiliza amônia e liberação explosiva sob alta pressão para expansão das fibras visando a produção de açúcares fermentáveis (KAMM,2017).
1.4) Hidrólise ácida (diluted or concentrated acid hydrolysis)	Técnicas químicas convencionais utilizadas nas indústrias de papel e celulose por tratamento com 1 a 3% de ácido sobre a biomassa seca, à temperaturas de 200ºC por 10 s.
1.5) Hidrólise alcalina	Técnicas químicas convencionais utilizadas nas indústrias de papel e celulose por tratamento com soluções cáusticas.
1.6) Organosolv	Processo organosolv que combina num reator a dissolução total do lignocelulósico com um tratamento com etanol a 75%, reação rápida, com baixa formação de subprodutos, com conversões acima de 65% e com potencial de atingir 80%.
1.7) Líquidos iônicos (LI)	Líquidos iônicos- sais orgânicos formados por ânions inorgânicos e cátions orgânicos que causam mudanças significativas na estrutura cristalina da biomassa como a remoção da lignina, a redução da cristalinidade e o aumento da área superficial
2) Processo Bioquímico (*Biochemical Route*)	Processo de desconstrução da biomassa, ou seja, conversão de polissacarídeos (celulose e hemicelulose) em monômeros glicose (hexose) e xilose (pentose), principalmente.
2.1) Processo Microbiano	Processo de conversão da biomassa catalisado pela ação de enzimas, as quais podem estar distribuídas dentro e fora de microorganismos (VAZ, 2013).

TECNOLOGIAS	Aspectos relevantes
2.1.1) Microorganismos geneticamente modificados (GMO)	Novas tecnologias envolvendo o uso de microorganismos geneticamente modificados para metabolizar a biomassa e produzir moléculas sob medida e aumento de rendimentos de conversão a produtos específicos. O GMO pode ser utilizado para produção de químicos, pré-tratamento, etc.
2.2) Processo Enzimático (*Enzimatic Hydrolysis*)	Processo de conversão da biomassa catalisado pela ação de enzimas isoladas sem necessidade de adição de nutrientes. As enzimas podem ser utilizadas nas formas livre ou imobilizada com a desvantagem da dificuldade de isolar e purificar que implica aumento de custo no processo (VAZ,2013). Benefícios associados às Enzimas: a) Reduz o consumo energético e de água; b) Reduz a necessidade para produtos químicos agressivos; c) Reduz a quantidade de subprodutos; d) São soluções sustentáveis (SILVA, 2014).
3) Processo Químico – Catálise Química **(*Chemical Route*, Chemical Catalysis)**	Processos químicos de conversão da biomassa por meio de rota sintética baseada em reações químicas que frequentemente utilizam catalisadores de alta produtividade homogêneos ou heterogêneos para o aumento do rendimento do produto de interesse, aumento na velocidade de reação, diminuição dos tempos de reação e melhoria da seletividade (VAZ, 2013). A separação é uma etapa crítica dos processos químicos catalíticos aplicados à biomassa, devido a dois fatores: a presença de água no meio e o grande número de isômeros formados.
4) Processo Termoquímico (*Thermochemical Route*)	Processos de conversão da biomassa a altas temperaturas entre 200°C e 1.200°C para que ocorram as reações. Compreenda várias tecnologias tais como: Pirólise, Liquefação, Gaseificação, Combustão, Torrefação e Carbonização (VAZ, 2013; KAMM, 2006).
4.1) Pirólise (pyrolysis)	Processo termoquímico conhecido como pirólise rápida devido ao curto tempo de residência, 2 a 3 s para a biomassa se transformar em bio-óleo. Processo realizado a temperaturas moderadas 450-550°C. O Bio-óleo é um combustível liquido que se beneficia da estrutura física atual para os combustíveis líquidos, com vantagens sobre a biomassa sólida em termos de transporte, bombeamento, estocagem e manuseio. O Bio-óleo pode ser utilizado para a produção de gás de síntese de alta pureza.
4.2) Liquefação hidrotérmnica (hydrothermal liquefaction)	Processo termoquímico pouco utilizado pela indústria, realizado em batelada, meio líquido, em ambiente redutor sob altas pressões, com uso de reatores pouco convencionais produzindo bio-óleo, que é um combustível líquido.
4.3) Gaseificação (gasification)	Processo termoquímico muito usado para geração de gás de síntese (CO e H_2), também conhecido como *syngas* (*synthetic gas*). Processo realizado a altas temperaturas (900°C) e alto tempo de residência dos vapores. O gás de síntese é uma mistura gasosa que pode ser usada para a síntese de muitas moléculas orgânicas com o uso de catalisadores específicos.

TECNOLOGIAS	Aspectos relevantes
4.4) Combustão	Processo termoquímico ocorre em presença de oxigênio, gerando gás carbônico, vapor de água e energia/calor para uso em caldeira e na co-geração.
4.5) Torrefação	Processo termoquímico conhecido como pirólise branda, pois o processo é realizado a 250 °C e 280°C e produz a biomassa torrefada ou torrada, que é um combustível sólido intermediário entre a biomassa *in natura* e o carvão vegetal produzido pela carbonização que é denominado de pirólise lenta. Este combustível sólido intermediário é usado para caldeira / co-geração.
4.6) Carbonização (carbonization)	Processo termoquímico conhecido como pirólise lenta, pois o processo é realizado a baixas temperaturas (400-450°C) por longos períodos de residência (horas a dias). Produz o carvão vegetal.
5) Processo termocatílico (BTL)	Processo termocatalítico de uso da biomassa para a produção de combustíveis líquidos, também conhecido como BTL (*Biomass to liquid*).
6) Processo *Fischer-Tropsch*	Processo de síntese catalítica utilizando catalisadores de ferro, cobalto ou rutênio.
7)Fermentação (Fermentation)	Fermentação Aeróbia usando microorganismos modificados, Fermentação Anaeróbia, Fermentação ABE, Biometanação para resíduos orgânicos
7.1) Fermentação do gás de síntese (Syngas Fermentation)	Processo híbrido que combina a produção de gas de síntese (syngas) por rotas termoquímicas (gaseificação) e a sua fermentação por rotas bioquímicas que utiliza microorganismos anaeróbios para a produção, por exemplo, de etanol e outros produtos químicos.
8) Procesos de separação (*Separation process*)	Processos de separação e purificação de produtos e sub-produtos.
9) Bioreatores	Fotobioreatores abertos e fechados

Fonte: Autoria própria

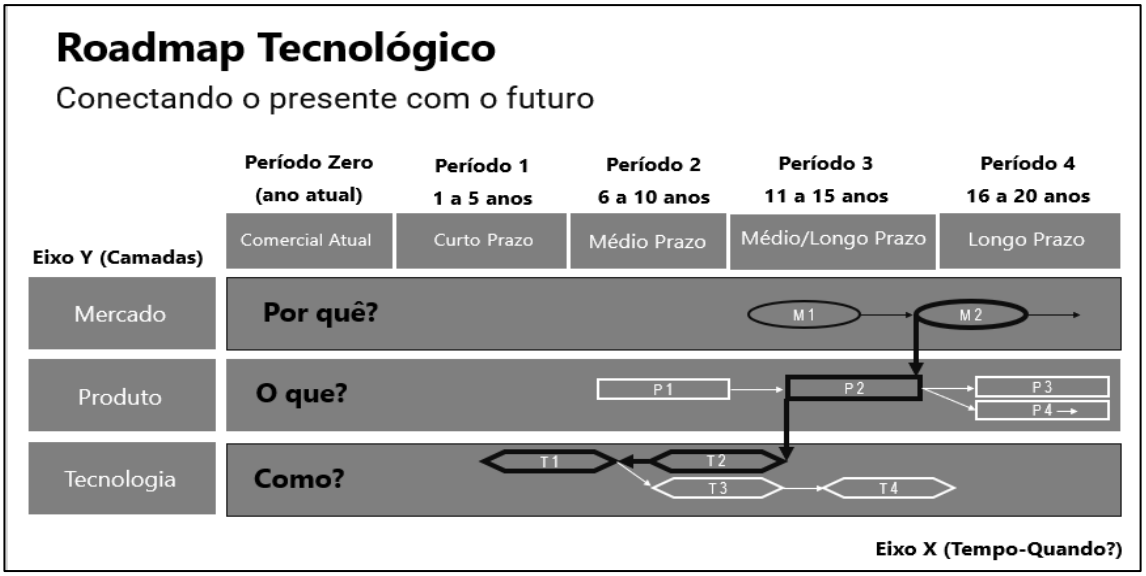
3.3 NÍVEL 3- Roadmap Tecnológico (TRM)

O TRM construído nesta tese de doutorado para a área de renováveis visa apresentar as perspectivas comerciais e tecnológicas na dimensão do tempo, para os produtos obtidos a partir de matéria-prima renovável, colaborando para a visualização do futuro, identificação de tendências, oportunidades e ameaças no negócio de renováveis. O TRM nesta forma interativa visa: a) permitir o acesso ao conhecimento atualizado e estruturado sobre as tendências na área de renováveis; b) permitir a rápida recuperação, revisitação e visualização dos dados prospectados; c) permitir a rastreabilidade das informações alimentadas no banco de dados relacional vinculado a um único repositório; d) disseminar o conhecimento, criando um ambiente favorável para análises sobre a área de renováveis, incluindo discussões e colaborações simultâneas.

O TRM proposto foi resultante do conjunto de informações coletadas e estruturadas no banco de dados relacional e constantemente atualizado. A representação gráfica foi construída diretamente a partir deste banco de dados, ou seja, com o uso de ferramentas de softwares de suporte à geração do roadmapping, a partir de dados constantes no banco de dados. A vantagem operacional desta proposta foi a criação e existência de apenas um repositório de dados a ser controlado e alimentado de forma a manter o TRM constantemente atualizado e correto, sem incorrer em falhas humanas na alimentação e na correlação de dados, com consequente redução do descompasso entre a prospecção tecnológica sistemática atualizada e o TRM como um documento "Vivo". A navegação em ferramentas de software usados para a representação gráfica do TRM permitiu a possibilidade de se acessar todas as dimensões, como direcionadores (*drivers*), produtos, empresas e tecnologias e ser direcionado para o banco de dados relacional contendo informações, análises específicas e complementares.

O formato adotado para o TRM compreendia várias dimensões (camadas, níveis ou *layers*) representadas no eixo das ordenadas (eixo y - Dimensões) em função do tempo (eixo das abscissas - eixo x- tempo). Na Figura 3.4 foi apresentada a representação gráfica genérica do Roadmap Tecnológico adotado nesta tese de doutorado. Foram consideradas especificamente três dimensões principais: mercado (*drivers* - Por quê?), produto (O que?) e tecnologia (Como?). A dimensão atores foi considerada no relacionamento com as três dimensões principais.

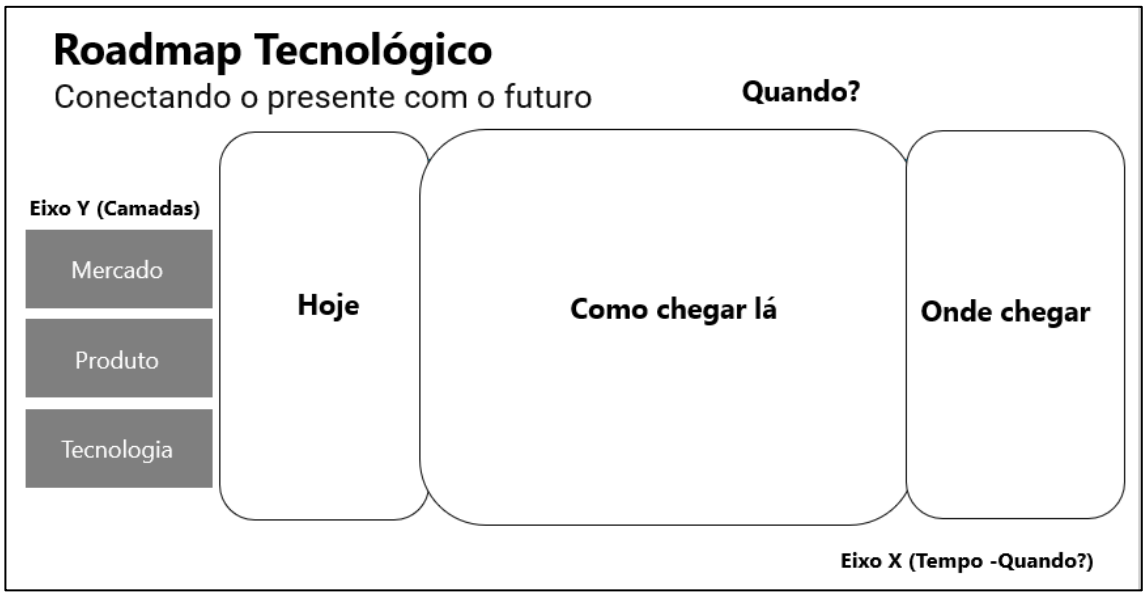
Figura 3.4- Representação gráfica genérica do Roadmap Tecnológico.



Fonte: Autoria própria e Adaptado de PHAAL (2001).

A conexão entre todas as dimensões facilitava a visualização da integração entre as propostas e os desafios dos três níveis estruturados no delineamento do cenário de renováveis. Assim, a representação visual permitiu a correlação entre as questões relevantes envolvidas no âmbito de mercado e negócio, demandando por produtos capazes de competir com seus equivalentes petroquímicos e atuando sobre o direcionamento e viabilização de novas alternativas tecnológicas. Na Figura 3.5, foi representada a forma como o TRM pode interligar as ações no presente (HOJE) com o futuro (ONDE CHEGAR), visando abranger o cenário atual, as possíveis estratégias e ações que possam ser empregadas (COMO CHEGAR LÁ) para atingir os objetivos almejados a longo prazo.

Figura 3.5- Representação gráfica genérica do Roadmap Tecnológico, incluindo a interligação entre as ações no presente e no futuro.

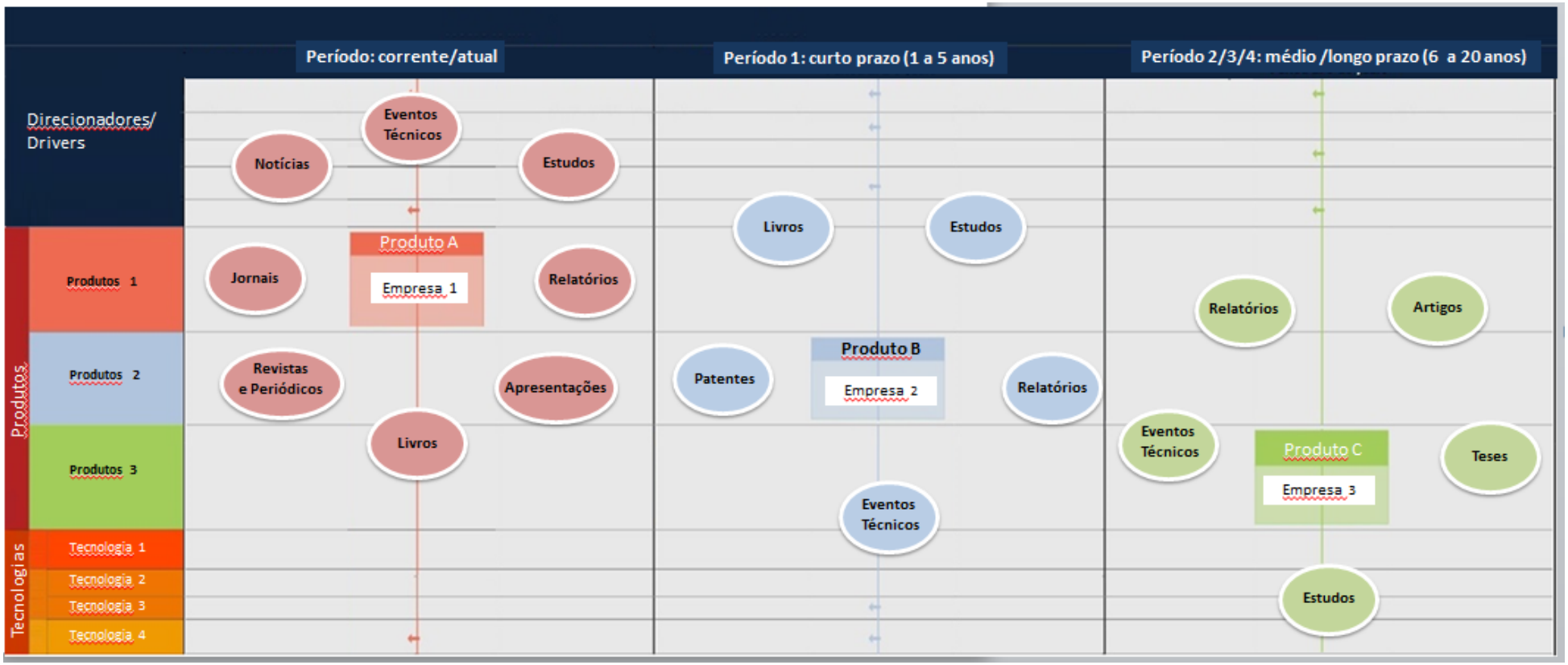


Fonte: Autoria própria e Adaptado de PHAAL (2001).

O TRM foi construído de forma a posicionar os produtos na dimensão do tempo em diferentes períodos de acordo com a previsão de sua produção em escala industrial, representando as ações que foram realizadas no curto, médio e longo prazo pelos atores envolvidos. Na representação gráfica, o eixo das abscissas do TRM correspondia ao horizonte do tempo (eixo X - Quando? em inglês *know-when*) e foi dividido em cinco períodos: 1) Período zero - corrente (ano atual); 2) Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos; 3) Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos; 4) Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos e 5) Período 4 – longo prazo: espaço de tempo de 16 a 20 anos (ver Figura 3.4 acima).

No período corrente foram consideradas as ações no momento atual. Foi adotado que a representação do produto e dos atores neste período zero estaria atrelada necessariamente à sua produção em escala comercial nos dias atuais. No período 1, entre 1 a 5 anos, foram considerados os anúncios de construção de plantas em escala comercial, a avalição de patentes que indicam que as tecnologias já estariam em fase de licenciamento, bem como, produtos posicionados intencionalmente a partir da análise de sua situação atual com base em informações prospectadas. No período 2 (6 a 10 anos) foram também considerados os anúncios de construção de plantas em escala industrial, incluindo a análise das patentes que possam vir a ser licenciadas neste período por atores. Nos dois últimos períodos (períodos 3 e 4) foram considerados os produtos cuja rota produtiva ainda se encontra em prova de conceito, em escala laboratorial, escala piloto, bem como produtos que necessitem vencer grandes desafios tecnológicos significativos como o caso de produtos renováveis obtidos a partir do cultivo de algas e, ainda, informações provenientes de novas linhas de pesquisas prospectadas em artigos técnico-científicos, incluindo novas rotas a partir de fontes renováveis. A representação do posicionamento de produtos de acordo com o período de tempo e sua relação com as fontes de prospecção tecnológica consideradas por período para o TRM foram apresentadas na Figura 3.6.

Figura 3.6 - Posicionamento de produtos de acordo com o período de tempo e sua relação com as fontes de prospecção tecnológica consideradas por período para o TRM.



Fonte: Autoria própria.

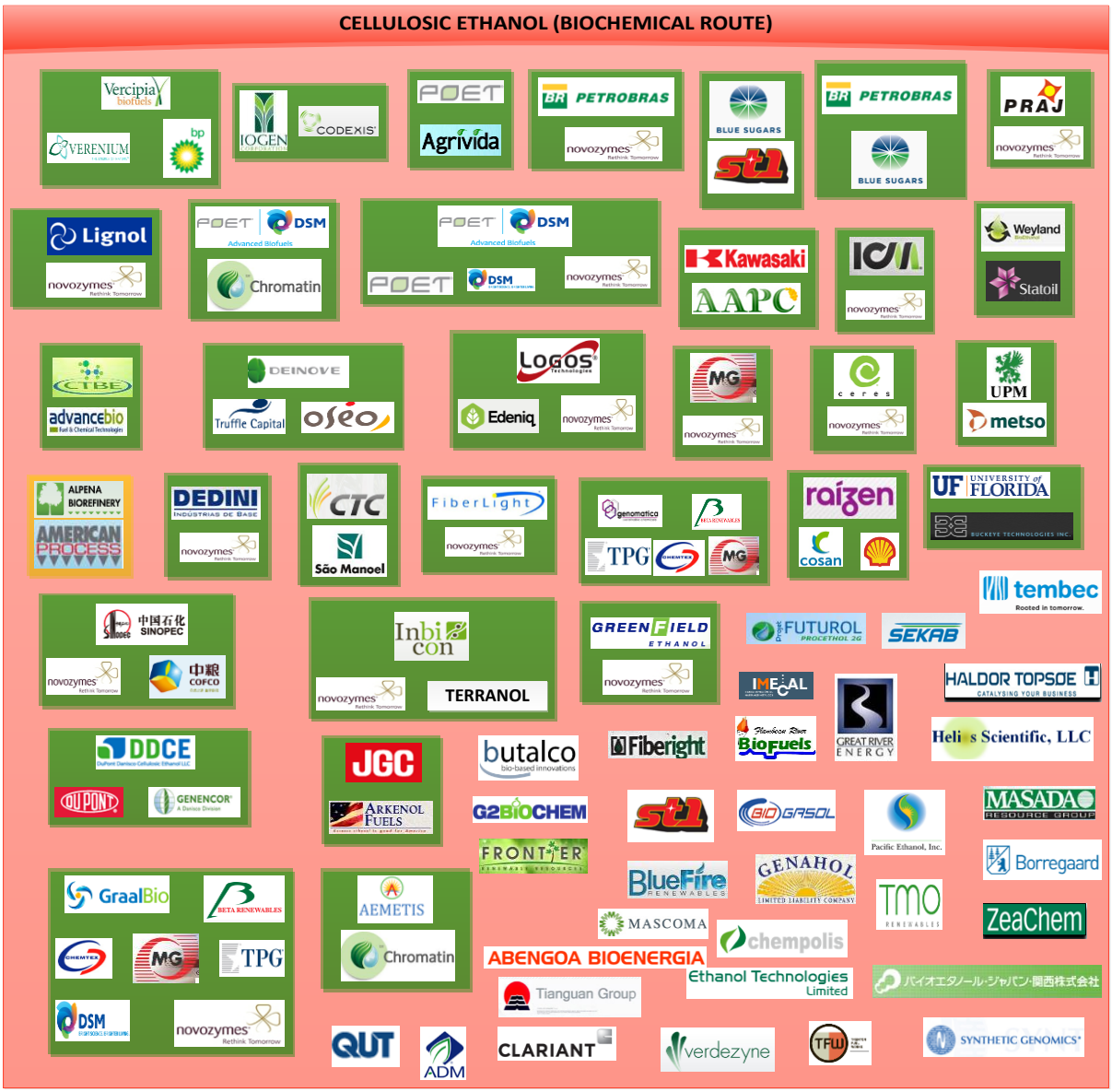
O eixo das ordenadas (vertical-eixo y) foi dividido em três e/ou quatro dimensões ou camadas de acordo com a ferramenta de construção do Roadmap utilizada: a) motivadores/direcionadores relacionados com o mercado motivador (*driver*); b) produtos; c) tecnologias; d) a dimensão atores representada diretamente como uma camada no eixo das ordendas ou posicionados dentro da camada de produtos, de forma a considerar o relacionamento com estas três dimensões principais.

Na dimensão ou camada 1, a ideia era responder à pergunta: por quê? (em inglês *purposes-know-why).* Nesta dimensão/camada foram apontados os motivadores e/ou direcionadores (em inglês: *drivers*) que representam os fatores de mercado e da sociedade que devem impulsionar e orientar o processo de desenvolvimento e comercialização dos produtos substitutos diretos ou novos produtos na área de renováveis. Esta dimensão/camada aponta as tendências e os fatores que motivam o desenvolvimento de determinado produto, conforme discutido no capítulo 2.2. A análise destes fatores envolve avaliação do macro cenário em que os atores estão envolvidos, os anseios da sociedade e dos consumidores, análise da posição relativa das empresas frente aos seus competidores e clientes, estratégias de posicionamento de mercado entre outras questões.

A dimensão ou camada 2 se referia à questão o que? (em inglês *delivery-know-what*). Para efeito desta proposta de tese os produtos foram divididos em três categorias conforme proposto pela OECD (OECD, 2011) e representados por retângulos em cores específicas para cada categoria: biocombustíveis, na cor vermelha; bioderivados químicos, na cor azul; biopolímeros, na cor verde e dentro dos retângulos estão contidas as logomarcas dos atores envolvidos com o produto, quando representado em MS Dynamics CRM e MS Visio. No caso do TRM construído no programa SharpCloud, a representação foi realizada como uma dimensão ou camada no eixo das ordendas e correlacionado com as outras dimensões. As parcerias entre os atores foram representadas por retângulos na cor verde escura quando usado em MS Dynamics CRM e MS Visio e por setas indicando os relacionamentos no TRM construído no programa SharpCloud. As logomarcas dos atores parceiros foram destacadas na mesma caixa verde e caso não tinha relação entre as parcerias foram introduzidas caixas para cada ator principal. A Figura 3.7 apresenta a representação esquemática para os atores e suas parcerias para o produto etanol celulósico com a rota tecnológica bioquímica. Quanto à ferramenta de software SharpCloud ela permitia o uso de setas para relacionar todos os dados entre dimensões e dentro da própria dimensão e será demonstrada no capítulo 4.

A ordem de posicionamento das três categorias foi estabelecida como: biocombustíveis, bioprodutos químicos e por último biopolímeros. Esta ordem estava relacionada com o que foi considerado precursor para o processo de obtenção do produto final, por exemplo: etanol (biocombustível) para a produção de eteno (bioderivado químico) e por sua vez se trata do monômero precursor do biopolietileno (biopolímero). A ordem alfabética foi adotada para o posicionamento dos produtos monitorados dentro do mesmo período.

Figura 3.7 – Representação esquemática das caixas verdes que indicavam as parcerias entre os atores para o TRM nos programas MS Dynamics CRM e MS Visio.



Fonte: Autoria própria.

Uma premissa importante do processo de prospecção adotado neste método era de que todos os atores e produtos prospectados, em seus diversos estágios de maturidade, eram considerados no TRM e inseridos no local adequado no banco de dados relacional. Não havia julgamento prévio, pois dessa forma, a ideia era garantir que o processo de vigilância tecnológica fosse o mais abrangente possível e capaz de indetificar todas as iniciativas globais e dos mais diversos atores que poderiam ser os mais comuns no setor ou novos entrantes. Consequentemente, quando era detectado um novo ator ou um novo produto que poderia ser feito a partir de biomassa, este era acrescentado no Roadmap e passava a ser monitorado juntamente com os já analisados no TRM. A qualidade da fonte e a veracidade da informação eram avaliadas frente ao tempo e novas notícias sobre estes últimos adicionados.

A última dimensão/camada 3 ou dimensão/camada inferior compreendia os recursos tais como: alternativas tecnológicas, conhecimento tecnológico, recursos financeiros necessários, projetos na área de pesquisa e desenvolvimento entre outros recursos que foram desenvolvidos em função da demanda proveniente das dimensões/camadas superiores do *roadmap* (resources-know-how). No caso do TRM para a área de renováveis foram apresentadas as tecnologias necessárias para o desenvolvimento de cada produto e são conectadas aos produtos por meio de setas representadas nesta dimensão.

Devido a necessidade de se ter sistemas de construção de Roadmaps flexíveis e visualmente capazes de expressar as informações identificadas no processo prospectivo, realizou-se no período de desenvolvimento da metodologia estruturada desta tese de doutorado, a identificação, análise e qualificação de 18 sistemas (ferramentas de software) identificados na internet para a construção de roadmaps. Os sistemas identificados foram avaliados de acordo com os seguintes critérios: a) quanto ao sistema e sua aderência aos aspectos teóricos adotados nesta tese, ou seja, a possibilidade de se ter dimensões no eixo das ordenadas e a dimensão temporal no eixo das abscissas, bem como, o relacionamento entre as dimensões; b) quanto ao sistema e suas funcionalidades, bem como a possibilidade de inserção de novas funcionalidades, c) quanto ao sistema e a facilidade de inserção de dados, d) quanto ao sistema e a possiblidade de navegação, e) quanto ao sistema e a sua interação com os usuários. O sistema selecionado foi o do programa SharpCloud, pois o TRM desenvolvido nesta ferramenta permitia a navegação on line com recursos visuais interessantes para a comunicação das análises provenientes do processo de prospecção e a relação entre atores e produtos. Os 18 sistemas identificados e avaliados foram listados a seguir: 1) SharpCloud - Disponível em: <https://my.sharpcloud.com>; 2) HELLO FOCUS - Disponível em: <http://hellofocus.com/roadmap-software> 3) Wizeline - Disponível

em: http://www.wizeline.com/SoftwareRoadmap 4) ProductPlan - Disponível em: <http://www.productplan.com/> 5) OneDesk - Disponível em: <http://www.onedesk.com/> 6) Asana - Disponível em: <http://www.asana.com/> 7) AHA - Disponível em: https://www.aha.io 8) Roadmunk - Disponível em: <http://roadmunk.com/> 9) Prodpad - Disponível em: <http://www.prodpad.com/> 10) Roadmap - Disponível em: <http://www.ppmroadmap.com/> 11) Pivotal Tracker - Disponível em: <https://www.pivotaltracker.com/> 12) Trello - Disponível em: <https://trello.com/> 13) Creately - Disponível em: <http://creately.com/> 14) 10000ft - Disponível em: <http://www.10000ft.com/> 15) Lucidchart - Disponível em: <https://www.lucidchart.com/> 16) Interstate - Disponível em: <http://interstateapp.com/> 17) Featuremap - Disponível em: http://featuremap.co/ 18) Casual - Disponível em: <http://Casual.PM/>.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método desenvolvido nesta tese de doutorado propôs-se a atuar na identificação e o acompanhamento sistemático das ações realizadas no passado, da força das ações atuantes no presente (coordenadas, não-coordenadas, sinérgicas e antagônicas) e dos elementos em destaque e atuantes para a construção do futuro do tema renováveis.

Conforme apresentado no capítulo 3, o processo de prospecção tecnológica em três níveis possibilitou a organização de grande volume de informações técnicas disponíveis em diversas fontes primárias e secundárias. A avaliação destas informações e a associação de seus conhecimentos críticos geraram valor para a análise do cenário de renováveis apresentado neste capítulo. Ademais, a metodologia desenvolvida apresentou potencial e aplicabilidade para suportar análises complementares, aprofundamentos posteriores em temas específicos prospectados e avaliações subsequentes de tendências associadas ao cenário de renováveis.

As análises foram realizadas em diferentes horizontes de tempo para posicionar os produtos no Roadmap Tecnológico. Assim, as tendências e as motivações, tanto do mercado como da tecnologia, foram consideradas para alocar os produtos de acordo com sua maior importância e chances de serem comercializados. Na análise do TRM gerado nesta tese, também foram identificados e representados os relacionamentos dos produtos monitorados com fatores críticos referentes a mercado (direcionadores/motivadores) e tecnologia. Além disso, o método foi capaz de promover e facilitar a identificação da forma de atuação das empresas que buscaram ingressar e progredir na área de renováveis.

Como resultado do trabalho, foram realizadas análises das informações prospectadas em várias dimensões, a exemplo de produtos e atores e suas relações, visando compreender o cenário de renováveis, conhecer o seu comportamento, reconhecer estratégias promissoras, identificar tendências que possam ter impacto nos negócios, identificar fatores de risco, sinalizar fraquezas e novas oportunidades, avaliar o desempenho do setor da bioeconomia nos últimos anos (período avaliado nesta tese de doutorado de 2012 a 2018) e, ambiciosamente, inferir sobre possíveis fatores que poderão atuar como tendências do setor nos próximos 20 anos.

4.1 Fatores de risco no cenário de renováveis

A partir do método proposto em três níveis, foi possível identificar fatores de risco, sinalizar fraquezas e novas oportunidades no cenário de renováveis. Existiam questões críticas em diferentes fases para o sucesso da comercialização de produtos no cenário de renováveis,

assim a sua identificação, abordagem e endereçamento são fundamentais para o tema para os próximos anos.

Dessa forma, para exemplificar a avaliação de fatores de risco relacionados com desafios tecnológicos e aspectos regulatórios foi selecionado o caso do etanol celulósico para análise, conforme será apresentado no item 4.1.1, deste capítulo.

Os desafios técnicos e o histórico sobre os investimentos na etapa de escalonamento da produção industrial serão discutidos no item 4.1.2.

Desafios tecnológicos, no longo prazo, serão discutidos no item 4.1.3, para o caso dos produtos químicos bioderivados e biocombustíveis obtidos a partir de algas.

Os ácidos orgânicos serão discutidos no item 4.1.4, como exemplo de classe química de bioproduto produzidos a partir de matérias-primas renováveis, por rotas químicas ou de biotransformação, no período atual, curto, médio e longo prazo.

4.1.1 Impactos da corrida prematura para a comercialização – o caso do etanol celulósico – período atual

Neste capítulo serão apresentados os resultados da metodologia adotada em três níveis para o caso do etanol celulósico, visando exemplificar a avaliação de fatores de risco relacionados com desafios tecnológicos e aspectos regulatórios no cenário de renováveis.

Assim, devido à frenética corrida tecnológica que se instaurou claramente no período entre os anos de 2008 a 2018, observou-se um movimento relacionado a uma corrida prematura para a comercialização que acabou resultando em consequências graves para algumas empresas atuantes em vários bioprodutos, conforme apresentado a seguir:

a) algumas empresas acumularam prejuízos. Exemplo: Beta Renewables e GranBio em etanol celulósico, conforme discutido adiante neste capítulo;

b) algumas empresas enfrentaram dificuldades operacionais em escala industrial, sendo compelidas a mudarem de estratégia. Exemplos:

b.1) a empresa QTEROS que em 2012 fechou sua planta em escala de demonstração e, logo em seguida, em 2013 anunciou uma importante mudança de estratégia, ou seja, decidiu deixar de investir em projetos para a construção de plantas em escala industrial e voltou-se para o licenciamento de sua tecnologia prioritária de fermentação;

b.2) a empresa DuPont que vendeu sua planta em IOWA em etanol celulósico em novembro de 2018; alegando que a planta de etanol celulósico não se adequava à

estratégia da empresa após o movimento de fusão com a Dow Chemical, concluído em 2017, formando a DowDuPont.

c) algumas empresas decidiram por encerrar suas atividades. Exemplos:

c.1) as empresas Range Fuels e BlueSugars que encerraram suas atividades em etanol celulósico, respectivamente, em 2011 e 2013. Especificamente sobre a RangeFuels, a Lanzatech arrendou as suas instalações em Soperton, na Georgia e, especificamente sobre a Blue Sugars, a Petrobras investiu 11 milhões de dólares em 2011 para parceria de desenvolvimento de etanol 2G a partir de bagaço-de-cana;

c.2) a empresa Abengoa em etanol celulósico que encerrou suas atividades no Kansas em 2015;

c.3) a empresa Rennovia, empresa constituída em 2009 e que encerrou suas atividades em ácido adípico e ácido glucárico, em 2018;

c.4) a empresa Verdezyne que encerrou suas atividades em 2018 em ácido dodecanóico.

d) empresas que venderam seus ativos para outros atores melhor estabelecidos, com tecnologias mais competitivas e/ou melhor posicionados na cadeia de valor. Exemplo: Segetis em ácido levulínico e sua aquisição pela GFBiochemicals em 2016;

e) empresas que decidiram por alterar seus planos de negócio, como exemplos: e.1) a Solozyme que passou a se dedicar apenas à produção de alimentos e e.2) a empresa Amyris que anunciou em 2018 seus planos de saída da produção de biocombustíveis e passou a fabricar produtos para cosméticos, fragrâncias e medicamentos contra a malária (MARQUES, 2018).

Como exemplo desta corrida tecnológica e seus fatores de risco foram destacados alguns casos referentes aos esforços no desenvolvimento de tecnologias de segunda geração voltados para a conversão de biomassa celulósica em bioprodutos: o caso do etanol celulósico, o caso das algas e o caso dos ácidos orgânicos.

De acordo com a metodologia desenvolvida nesta tese foi possível identificar como os principais esforços para o etanol celulósico caminharam em relação aos seguintes aspectos:

a) localização geográfica, pois se observou que os principais esforços se concentraram em empresas localizadas nos Estados Unidos, Europa e Brasil;

b) existem uma diversidade de matérias-primas lignocelulósicas que não competem com alimentos:

b.1) resíduos da agricultura (restos do processamento da produção agrícola) tais como: talos e palha de milho (POET/DSM, IOGEN, DuPont), bagaço de cana (Abengoa, Petrobras, BP, Vercipia Biofuels), palha de cana-de-açúcar (GranBio), palha de trigo (ADM, Beta Renewables), palha de arroz (MASCOMA, Beta Renewables);

b.2) culturas florestais de curta duração: álamo (em inglês: *poplar*- ZEACHEM) e salgueiro (em inglês: *willow*- IOGEN);

b.3) aparas de madeira (Lignol);

b.4) gramíneas perenes;

b.5) resíduos sólidos orgânicos (FiberRight, Terrabon, BlueFire Renewables);

b.6) resíduos sólidos municipais (INEOS Bio);

c) tecnologias disponíveis e sua maturidade;

d) os principais desafios na corrida tecnológica para a produção comercial ao longo do tempo;

e) os desafios dos Estados Unidos em cumprir as metas estabelecidas pela EPA, desde 2005, por meio da Lei RFS, que será discutida neste capítulo.

Assim, no ano de 2011, em plena euforia pela consolidação de empresas e tecnologias renováveis e com o preço do petróleo em torno de 120 dólares o barril, foi criada a empresa Beta Renewables resultante de um acordo (JV) entre as empresas Biochemtex do grupo M&G e da TPG (Texas Pacific Group). Em final de 2012, esta empresa inaugurou a primeira usina de etanol celulósico comercial do mundo, em Crescentino, na Itália. A usina foi orçada em 250 milhões de euros, com área instalada de 150 mil m^2, capacidade para produzir 40 mil toneladas anuais de etanol de segunda geração e capaz de processar 270 milhões de toneladas de biomassa (NOVA CANA, 2018).

A empresa declarava que utilizaria uma tecnologia de baixo custo para biocombustíveis celulósicos denominada PROESA, com forte posicionamento em termos de propriedade intelectual e que posteriormente poderia ser licenciada para outras empresas do setor, tendo como exemplo, a GranBio, empresa também prospectada, monitorada e discutida a seguir.

Interessante destacar que o grupo M&G anunciava em suas comunicações para a mídia, na ocasião de sua divulgação, entre os anos de 2012 a 2014, que a tecnologia PROESA, não era

um projeto de ciência e sim uma tecnologia provada e disponível comercialmente, como se pretendesse apresentar este argumento como uma forma de se posicionar de maneira mais efetiva e diferente frente aos casos ocorridos como da Blue Sugars que se especulava nunca ter saído da escala demonstração, conforme será discutido adiante neste capítulo. Os estágios de escalonamento desta tecnologia iniciaram-se em 2007 em escala laboratorial, 2009 em escala piloto, 2011 e 2012 em escala demonstração e comercial.

A empresa Beta Renewables cercou-se da avaliação de diversos desafios em relação à sustentabilidade de seu projeto e endereçou importantes questões, a título de exemplo, o uso de biomassa cultivada na própria região de Crescentino, ou seja, a biomassa era fornecida a partir de um raio máximo de 70 km, permitindo conter tanto os custos de transporte quanto o impacto ambiental, ou seja, viabilizaram o uso dos resíduos lignocelulósicos disponíveis na região de cultivo e que necessitavam de uma destinação nobre. A empresa utilizava derivados da palha de arroz, palha de trigo e do Arundo Donax, que era cultivado na região em quantidades satisfatórias. Entretanto, a empresa enfrentou sérias dificuldades com uma das principais etapas do processo de produção de etanol celulósico relacionada com a liberação de celulose e hemicelulose para posterior hidrólise enzimática e fermentação.

Nesta fase de produção, denominada pré-tratamento, conforme discutido no capítulo 2 desta tese, ocorre a formação de inibidores da fermentação no processo entre outras dificuldades técnicas e operacionais, entre elas a preservação das pentoses para aumentar os rendimentos de etanol, corrosão dos equipamentos, degradação da biomassa e outras. Associado a isto, a empresa faz parte do Grupo Mossi Ghisolfi, que passava por sérios problemas de reestruturação financeira culminando na sua desativação em final de 2017 (NOVACANA, 2017).

Caso semelhante foi o da empresa GranBio, criada em 2011 pelo empresário Bernardo Gradin, e que desde setembro de 2014, operava a primeira planta de etanol celulósico, em escala comercial do hemisfério sul, usando como matéria-prima renovável a palha da cana-de-açúcar, com capacidade para produzir 82 milhões de litros/ano. A empresa recebeu recursos financeiros na forma de financiamento e participação acionária do BNDES, como acionista minoritário com 15% do capital total, para a construção de suas usinas de segunda geração. Em 2013, a empresa começou o seu processo de internacionalização, adquirindo 25% da empresa American Process Inc. (API), nos Estados Unidos e no mesmo mês, abriu escritório na Califórnia (GRANBIO, 2013).

A GranBio também realizou importantes movimentos como a associação com a multinacional francesa Rhodia (grupo Solvay), quando anunciaram no fim de 2013, que juntas

pretendiam instalar em 2015 na região Sudeste do Brasil a primeira fábrica de biobutanol do mundo, produzido a partir de palha e bagaço de cana e com capacidade produtiva prevista para 100 mil toneladas por ano, contudo, estas ações ainda não se concretizaram até 2018. A JV entre o grupo Solvay e a GranBio, denominada SGBio, adquiriu em 2015 os ativos da Cobalt, que se tratava de uma empresa norte-americana de biotecnologia, líder no desenvolvimento de tecnologia para a produção de n-butanol, acetona, etanol e buteno, a partir de biomassa. A operação compreendia a estratégia da GranBio e da Rhodia para a aquisição do banco de micro-organismos e ativos de propriedade intelectual como patentes, marcas, processos e métodos.

Contudo, na corrida para a comercialização de etanol 2 G, a GranBio, também, enfrentou os problemas relacionados na fase de produção do pré-tratamento, tais como: elevado nível de corrosão dos equipamentos e paradas de produção contínuas.

Segundo a análise de especialistas, a empresa Granbio cometeu o erro de transferir tecnologias de plantas-piloto para usinas sem testá-las em um nível intermediário. O gargalo era esperado nas etapas biotecnológicas, relacionadas às enzimas e às leveduras, entretanto, o problema maior foi na parte mecânica do processo, nos equipamentos de pré-tratamento, porque diferentemente da madeira, que repele a água e amolece no pré-tratamento, o bagaço de cana absorveu água, formando uma massa contendo fibras e sílica que resultou na dificuldade de ser transportado, provocou erosão nos equipamentos, entupimento de canalizações, válvulas e até o travamento de roscas (MARQUES, 2018). Assim, nos últimos anos a empresa GranBio tem apresentado declínio em seus resultados financeiros, dificuldade de estabilidade operacional da unidade em escala comercial, principalmente na fase do pré-tratamento e, portanto, dificuldade em gerar receita (NOVA CANA, 2018).

Assim sendo, o pré-tratamento, têm se mostrado como um dos principais desafios tecnológicos e a mais urgente prioridade para a produção de etanol de segunda geração, pois ocorre com todas as seis plantas em escala comercial atualmente: Raízen, Granbio, Poet-DSM, Beta Renewables, Abengoa Bioenergy Biomass (em 2016 esta usina foi comprada pela Synata Bio, que adquiriu a tecnologia da Coskata) e DuPont Industrial Biosciences (usina comprada pela Verbio Vereinigte BioEnergie AG em novembro de 2018) (NOVACANA, 2018; VOEGELE, 2018).

A empresa Raízen declarou que, no processo de escalonamento, também foram surpreendidos por problemas de engenharia devido ao elevado nível de sujeira da biomassa (palha recolhida no campo), sendo necessária a introdução de mais uma etapa de pré-limpeza, além da necessidade de redesenhar o processo de separação de açúcar e de lignina com a

introdução de mais filtros e centrífugas. Além disso, declarou que o maior problema era a corrosão dos equipamentos no pré-tratamento, levando a uma operação intermitente, devido à agressividade da palha da cana com maior teor de sílica do que a palha de trigo (MARQUES, 2018).

Em 2017, a empresa DuPont Industrial Biosciences decidiu vender suas instalações de etanol celulósico localizada em Nevada, Iowa, em operação desde 2015, alegando que a empresa estava realizando uma mudança na forma como participaria do mercado de combustíveis celulósicos. Em novembro de 2018, a DuPont Industrial Biosciences e a empresa Verbio North America Corp. (VNA-subsidiária americana do produtor alemão de bioenergia Verbio Vereinigte BioEnergie AG) entraram em acordo para a venda. A empresa VNA, uma das principais fabricantes de biocombustível na Alemanha, divulgou que em 2020 pretende produzir gás natural renovável de palha de milho e outros resíduos de culturas celulósicas no local onde há uma base sólida de agricultores locais de quem adquirir as matérias-primas (VOEGELE, 2018).

Isto posto, é possível inferir que o caso do etanol celulósico perpassa por aspectos relacionados à desafios tecnológicos e, também, sobre políticas públicas governamentais. Dessa forma, foi possível concluir neste processo de prospecção tecnológica proposto por esta tese, que ao contrário do que muitos acreditam como sendo a chave para o sucesso da área de renováveis, nem sempre e apenas políticas industriais ativas serão os responsáveis pela mudança do eixo de produção de petróleo para fontes renováveis.

Por exemplo, analisando-se a política industrial do etanol nos Estados Unidos e sua correlação com o desenvolvimento do etanol celulósico, identificou-se importante análise realizada por Robert Rapier para a revista Forbes em fevereiro de 2018 (RAPIER,2018), onde foi relatado que mesmo com expressivas regulamentações e estando no décimo terceiro ano do mandato para o uso de etanol celulósico nos Estados Unidos da América (Lei RFS1 de 2005- em inglês *Renewable Fuel Standard*), a produção de etanol celulósico enfrentava sérias dificuldades e competição econômica com a produção convencional de etanol de milho ou de açúcares ou com os combustíveis fósseis. Segundo ele, o processo de decompor celulose em açúcares foi descoberto na França em 1800 e a produção de etanol celulósico foi comercializada pela primeira vez na Alemanha em 1898. A comercialização nos EUA ocorreu em 1910, mas o processo foi abandonado em quase toda parte por razões econômicas. Portanto, não se trata de uma tecnologia recente, de forma que é notório que os desafios tecnológicos e a questão econômica perduram por muitas décadas sobre o tema, ou seja, foi constatado que o caminho para o desenvolvimento

do etanol celulósico foi mais longo e mais dispendioso do que havia sido antecipado pelos especialistas e proposto pelas empresas do setor (MARQUES, 2018).

Em 2005 foi criada a Lei RSF1 (em inglês *Renewable Fuel Standard*) que definia incentivos à produção de etanol, porém de forma menos audaciosa, pois estabelecia a mistura de 28 bilhões de litros de etanol à gasolina, até 2012. Assim, este ato criou mandatos exigindo que volumes crescentes de biocombustível fossem misturados ao suprimento de combustível dos EUA.

Em 2007 a Lei de Independência e Segurança Energética (EISA) aumentou e acelerou o cronograma dos mandatos e passou considerar a mistura de biocombustível celulósico (que era visto principalmente como etanol) no suprimento de combustível do país.

Em 2010, entrou em vigor a Lei RFS2 que definia uma nova meta de produção de 136 bilhões de litros para o ano de 2022. Além disso, esta nova lei trouxe inovações, aumentando o volume adicionado à gasolina para atingir as metas de 2022 e determinando a adição de biocombustível ao óleo diesel. Assim, Biocombustíveis Avançados foram definidos como os combustíveis de transporte, líquidos de alta energia derivados de culturas energéticas não alimentares, resíduos agrícolas ou florestais ou outras biomassas sustentáveis.

Entretanto, quando os mandatos foram estabelecidos, nenhum litro de etanol celulósico havia sido produzido entre 2010 e 2011, mas todas as empresas participantes da corrida tecnológica do etanol de segunda geração juntamente com os proponentes das tecnologias para a sua produção estavam certos de que a comercialização viria em resposta aos mandatos, entre elas, as empresas Range Fuels, Blue Sugars, Mascoma, Gevo, Abengoa, DuPont, Ineos Bio, POET e outras.

Deste modo, ao final de 2011, as empresas de produção de biocombustível avançados nos USA deveriam estar produzindo 250 milhões de litros de biocombustíveis a partir de aparas de madeira, grama e outras biomassas para atender ao referido mandato federal americano.

No entanto, o EPA (US Environmental Protection Agency) teve que renunciar ao mandato, diminuindo o objetivo para 6,6 milhões de litros apenas, pois não ocorreram grandes avanços na produção comercial das plantas de biocombustíveis.

As empresas não estavam conseguindo alavancar a produção de biocombustíveis celulósicos a preços competitivos em relação a qualquer outro combustível como etanol de milho e gasolina. As principais razões foram relacionadas com as tecnologias que ainda não estavam provadas em plantas em grande escala comercial, devido as cadeias de fornecimento de materiais celulósicos ainda não estarem bem desenvolvidas e confiáveis e porque não havia mercado

garantido para os biocombustíveis celulósicos ainda, ou seja, os mandatos do governo que foram criadas para ajudar a criar um mercado para os biocombustíveis celulósicos não estavam sendo eficazes, porque na ocasião era mais barato, para os fornecedores de combustível afetados pelo mandato, comprar créditos em vez de biocombustíveis.

Como exemplo de empresas que atuavam naquele período de tempo, destacava-se o caso da empresa Range Fuels, que era uma das mais avançadas e foi forçada a fechar suas operações e a leiloar seus ativos. A planta foi projetada para processar lascas de madeira e produzir 37,8 milhões de litros de biocombustível com capacidade de expansão de até 10 vezes chegando a produzir 378 milhões de litros de biocombustível. Esta planta da Range Fuels, localizada em Soperton, Georgia, foi concluída em 2010 e fechado em janeiro de 2011 sem nunca produzir etanol. O DOE suspendeu seu contrato com a Range Fuels em agosto de 2011.

Apenas em abril de 2012, o primeiro lote qualificado de etanol celulósico foi produzido pela empresa Blue Sugars (anteriormente KL Energy Corp.), ou seja, cerca de 20.069 galões de biocombustível celulósico como o primeiro lote qualificado pela Agência de Proteção Ambiental para receber créditos fiscais de biocombustível celulósico de acordo com a Lei do RFS2. A empresa Blue Sugars Corporation, fundada em 2003, possuía uma planta em escala demonstração em Uton Wyoming, com capacidade de 1,5 milhões de galões por ano e produzia etanol celulósico desde 2009, utilizando resíduos de madeira como matéria-prima, tecnologia por hidrólise enzimática e pré-tratamento termomecânico. Em 2010, a Petrobras investiu 11 milhões de dólares para modificar esta planta afim de torná-la capaz de processar bagaço de cana-de-açúcar e outras biomassas. Assim em 2012 a empresa Blue Sugars Corporation foi a primeira empresa a produzir etanol em escala comercial a partir de bagaço de cana. Depois disso, nenhuma outra empresa produziu o etanol celulósico entre 2012 e 2013 e a Blue Sugars declarou falência um ano depois e especulou-se que nunca atingiram a sua capacidade de produção teórica e projetada para a usina.

Segundo a EPA, foi apenas em 2014 que as empresas DuPont, Abengoa, Ineos Bio e POET conseguiram contribuir com a produção de aproximadamente 2.758 metros cúbicos de etanol celulósico. Entretanto, a produção de biocombustível celulósico disparou em 2014, principalmente porque a EPA reclassificou o biogás de aterros sanitários, digestores de instalações de tratamento de efluentes municipais, digestores agrícolas como biocombustível celulósico, assim, como resultado, os produtores de biogás também se tornaram elegíveis para créditos fiscais generosos (RAPIER,2018).

A produção de etanol celulósico veio crescendo exponencialmente nos Estados Unidos: em 2015 foram produzidos 2,2 milhões de galões de etanol celulósico, em 2016 foram produzidos 3,8 milhões de galões e em 2017 ocorreu o maior salto na produção de etanol celulósico, com a produção atingindo 10 milhões de galões. Entretanto, a produção acumulada das usinas foi de 11% de sua capacidade nominal anunciada, o que indicava que algumas empresas não obtinham o etanol celulósico economicamente viável apesar de todos os investimentos e incentivos financeiros recebidos no período. Dessa forma, a EPA anunciou a nova proposta de metas de biocombustíveis para 2019 que se encontrava em consulta pública em agosto de 2018.

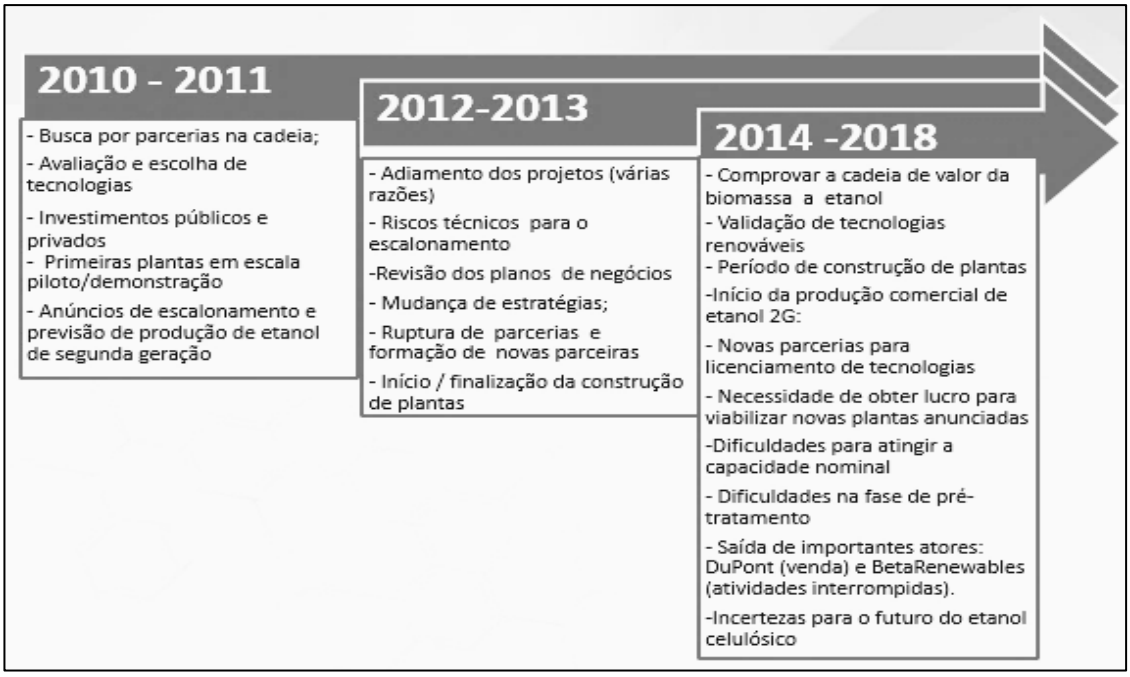
A única usina ainda em operação nos Estados Unidos era a da empresa POET em Emmestsbug em Iowa, com sua produção iniciada em 2014 e com capacidade de 25 milhões de galões por ano. Considerada como uma das plantas industriais mais próxima da eficiência tecnológica e da viabilidade econômica, a empresa Poet, associada à DSM, vem convertendo restos da produção de milho em etanol celulósico, mas também declarou dificuldades para remover sujeira e areia da biomassa.

De maneira geral, no caso do etanol celulósico foram identificados diversos tipos de movimentos ao longo dos últimos 10 a 15 anos, realmente buscando endereçar seus principais desafios, mas que ainda não surtiram efeito para subsidiar a sua produção em larga escala projetada pelos principais atores.

A Figura 4.1 mostra uma compilação dos principais movimentos prospectados de 2010 a 2018. Assim, conforme descrito acima alguns destes movimentos identificados foram: a) efetivo envolvimento de grandes empresas como DuPont, M&G, DSM, e outras participando com recursos financeiros, tecnológicos e mercadológicos no seu desenvolvimento; b) os governos atuando em projetos de lei e mandatos importantes para incentivar a produção de etanol celulósico e seu uso como forma de mitigar os problemas ambientais, c) academia em busca de desenvolver biomassas mais competitivas e processos de produção viáveis; d) empresas buscando endereçar o problema do suprimento da biomassa, instalando suas usinas próximas aos centros produtores visando reduzir custos de transporte e impacto ambiental; e) os atores em etanol de segunda geração estabeleceram fortes parcerias e receberam incentivos e fontes de financiamento a montante e a jusante na cadeia de valor.

O etanol celulósico certamente continuará a fazer parte da política energética de muitos países, mas para os próximos anos deve ser esperado que os desafios que ainda perduram no seu desenvolvimento sejam superados para que o etanol celulósico seja uma opção energética competitiva em custos com o etanol da primeira geração e com os combustíveis fósseis.

Figura 4.1 – Representação esquemática dos principais movimentos prospectados para o etanol celulósico de 2010 a 2018.



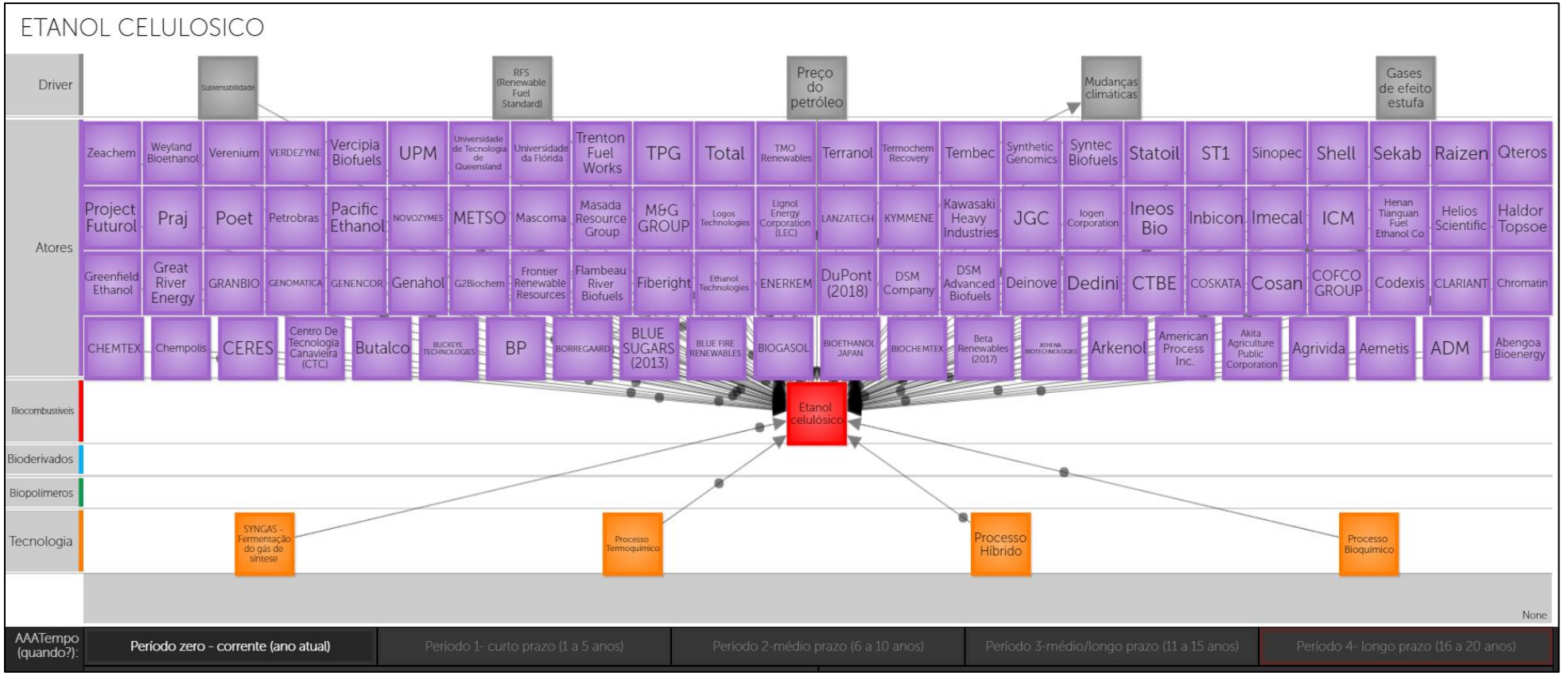
Fonte: Autoria própria.

No TRM desenvolvido nesta tese o Etanol Celulósico foi classificado como biocombustível na dimensão ou camada 2 – Produto. Por se tratar de produto já comercializado, em novembro de 2018, foi posicionado no Período zero - corrente (ano atual), conforme premissa adotada neste trabralho e descrita no capítulo 3. Assim, de acordo com a premissa adotada no processo de construção do TRM "VIVO", o produto é posicionado em função de sua produção em escala comercial, mesmo que nem todos os atores envolvidos estivessem em escala comercial nesta data. Além disso, todos os atores prospectados foram representados no TRM, independentemente de seu estágio de maturidade e da continuidade de sua atuação. Esta decisão na metodologia adotada neste trabalho visava justamente ter representada a construção do caminho crítico que possibilitaria a análise do cenário de renováveis. As ações da academia e projetos conjuntos para o tema também foram incluídas. A ideia era mostrar o real número de iniciativas para com o etanol celulósico no cenário de renováveis ao longo do tempo e com isso entender a dinâmica do seu desenvolvimento. Como o processo era suportado por banco de dados que permita a realização de consultas detalhadas e análises complementares, as informações sobre os atores, produtos e tecnologias poderiam ser encontradas e revisitadas neste banco.

Foram prospectados 95 atores envolvidos na busca por rotas tecnológicas competitivas para o etano celulósico no período de 2012 a 2018, mas apenas 8 atores principais chegaram à escala industrial neste período de tempo avaliado nesta tese: 1) Blue Sugars, 2) GranBio, 3) Raízen (Shell e Cosan) , 4) POET (DSM), 5) INEOS BIO, 6) Beta Renewables (Biochemtex, Grupo M&G, TPG -Texas Pacific Group, Novozymes, 7) DuPont Industrial Biosciences (usina comprada pela Verbio Vereinigte BioEnergie AG), 8) ABENGOA (usina comprada pela Synata Bio).

Na Figura 4.2 pode-se visualizar um recorte do TRM estruturado no programa SharpCloud, para o produto Etanol Celulósico, na qual foram representados os atores prospectados. A relação de atores prospectados não tinha a intenção de ser exaustiva dada a dinâmica do cenário de renováveis, conforme discutido nesta tese. Entretanto, incluiu todas as iniciativas prospectadas e suas formas de atuação na cadeia de valor do etanol celulósico em qualquer estágio de maturidade e de evolução. Os principais drivers identificados para o seu desenvolvimento (sustentabilidade, legislação (RFS), preço do petróleo, mudanças climáticas e gases de efeito estufa) e as alternativas tecnologias para a produção do etanol de segunda geração consideradas no TRM também foram destacadas nas camadas *driver* e tecnologia (respectivamente).

Figura 4.2 - Representação gráfica simplificada para o produto Etanol Celulósico no Período zero – corrente (ano atual) no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.



Fonte: Autoria própria.

Na tabela 4.1 são apresentados a lista dos atores prospectados com suas respectivas rotas e parcerias prospectadas (informação também não exaustiva).

Tabela 4.1 – Atores, rotas e parcerias prospectadas para o etanol celulósico.

Número	ATORES	ROTAS E PARCERIAS
1	Abengoa Bioenergy (2016)	Rota Bioquímica
2	ADM	Rota Bioquímica
3	Aemetis	Rota Bioquímica
4	Agrivida	Rota Bioquímica - Parceria com Poet
5	Akita Agriculture Public Corporation	Rota Bioquímica - Parceria com Kawasaki Heavy Industries
6	American Process Inc.	Rota Bioquímica
7	Arkenol	Rota Bioquímica
8	Athena Biotechnologies	Rota Bioquímica
9	ATHENA BIOTECHNOLOGIES	Rota Bioquímica
10	Beta Renewables	Rota Bioquímica (2017-fora de operação) – Parcerias com GEVO, GENOMATICA e CODEXIS
11	BIOCHEMTEX	Rota Bioquímica - Parceria com M&G, Beta Renewables e TPG
12	BIOETHANOL JAPAN	Rota Bioquímica
13	BIOGASOL	Rota Bioquímica
14	BLUE FIRE RENEWABLES	Rota Bioquímica – pré-tratamento ácido
15	BLUE SUGARS (2013)	Rota Bioquímica (2013-encerrada, anterior KL Energy Corp.)
16	BORREGAARD	Rota Bioquímica
17	BP	Rota Bioquímica
18	BUCKEYE TECHNOLOGIES	Rota Bioquímica - Parceria com a Universidade da Florida
19	Butalco	Rota Bioquímica
20	Centro De Tecnologia Canavieira (CTC)	Rota Bioquímica
21	CERES	Rota Bioquímica
22	Chempolis	Rota Bioquímica
23	CHEMTEX	Rota Bioquímica - Parceria com BETA RENEWABLES
24	Chromatin	Rota Bioquímica - parceria com AEMETIS e Poet /DSM
25	CLARIANT	Rota Bioquímica
26	Codexis	Rota Bioquímica - Parceria com Iogen
27	COFCO GROUP	Rota Bioquímica
28	Cosan	Rota Bioquímica - Parceria com Raizen e Shell
29	COSKATA	Rota Híbrida
30	CTBE	Rota Bioquímica
31	Dedini	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
32	Deinove	Rota Bioquímica
33	DSM Advanced Biofuels	Rota Bioquímica - Parceria com Poet
34	DuPont (2018)	Rota Bioquímica
35	ENERKEM	Rota Termoquímica (Syngas)
36	Ethanol Technologies	Rota Bioquímica
37	Fiberight	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
38	Flambeau River Biofuels	Rota Bioquímica

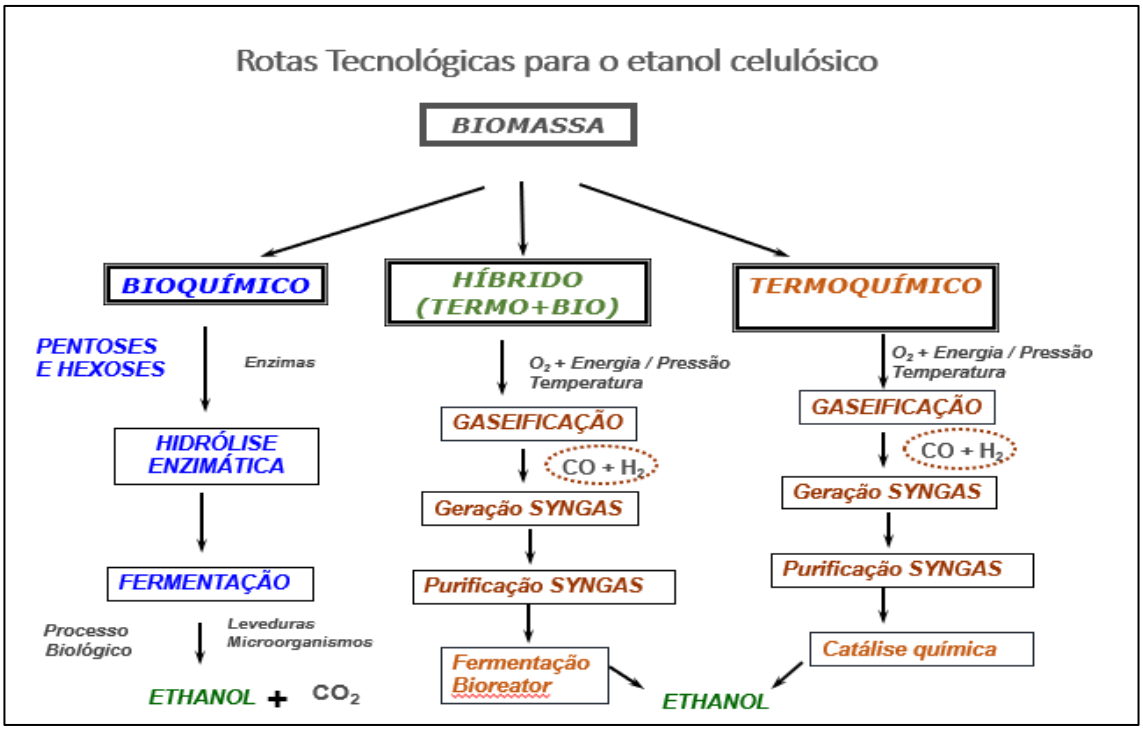
Número	ATORES	ROTAS E PARCERIAS
39	Frontier Renewable Resources	Rota Bioquímica
40	G2Biochem	Rota Bioquímica
41	Genahol	Rota Bioquímica
42	GENENCOR	Rota Bioquímica - Parceria com DuPont
43	GENOMATICA	Rota Bioquímica - Parceria com BETA RENEWABLES
44	GRANBIO	Rota Bioquímica- Parceria com Beta Renewables
45	Great River Energy	Rota Bioquímica
46	Greenfield Ethanol	Rota Termoquímica (Syngas) - Parceria com Enerkem
47	Haldor Topsoe	Rota Bioquímica
48	Helios Scientific	Rota Bioquímica
49	Henan Tianguan Fuel Ethanol Co	Rota Bioquímica
50	ICM	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
51	Imecal	Rota Bioquímica
52	Inbicon	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes e Terranol
53	Ineos Bio	Rota Híbrida
54	Iogen Corporation	Rota Bioquímica - Parceria com Codexis
55	JGC	Rota Bioquímica
56	Kawasaki Heavy Industries	Rota Bioquímica - Parceria com Akita
57	KYMMENE	Rota Bioquímica - Parceria com UPM e KYMMENE
58	LANZATECH	Rota Híbrida e Syngas - a Lanzatech arrendou as instalações da RangeFuels em Soperton, na Georgia
59	Lignol Energy Corporation (LEC)	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
60	Logos Technologies	Rota Bioquímica - Parceria com Edeniq e Novozymes
61	M&G GROUP	Rota Bioquímica - Parceria com BETA RENEWABLES
62	Masada Resource Group	Rota Bioquímica
63	Mascoma	Rota Bioquímica – (vendida em 2014 e não conseguiu viabilizar a meta de converter biomassa não comestível em etanol)
64	METSO	Rota Bioquímica- Parceria com UPM e KYMMENE
65	NOVOZYMES	Rota Bioquímica - Várias parcerias
66	Pacific Ethanol	Rota Bioquímica
67	Petrobras	Rota Bioquímica
68	Poet	Rota Bioquímica - Parceria com DSM, Agrivida, Chromatim, Novozymes
69	Praj	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
70	Project Futurol	Rota Bioquímica
71	Qteros	Rota Bioquímica
72	Raizen	Rota Bioquímica - Parceria com Shell e Cosan
73	RangeFuels	Rota Termoquímica - Syngas
74	Sekab	Rota Bioquímica
75	Shell	Rota Bioquímica - Parceria com Raizen e Cosan
76	Sinopec	Rota Bioquímica - Parceria com COFCO e Novozymes
77	ST1	Rota Bioquímica - Parceria com a Blue Sugars
78	Statoil	Rota Bioquímica - Parceria com Weyland Bioethanol
79	Syntec Biofuels	Rota Termoquímica - Syngas
80	Synthetic Genomics	Rota Bioquímica
81	Tembec	Rota Bioquímica

Número	ATORES	ROTAS E PARCERIAS
82	Termochem Recovery	Rota Termoquímica - Syngas
83	Terranol	Rota Bioquímica - Parceria com Novozymes
84	TMO Renewables	Rota Bioquímica
85	Total	Rota Bioquímica - Parceria com BETA RENEWABLES
86	TPG	Rota Bioquímica - Parceria com Biochemtex, M&G e Beta Renewables
87	Trenton Fuel Works	Rota Bioquímica
88	Universidade da Flórida	Rota Bioquímica - Buckeye Technologies
89	Universidade de Tecnologia de Queensland	Rota Bioquímica
90	UPM	Rota Bioquímica- Parceria com Metso e KYMMENE
91	Vercipia Biofuels	Rota Bioquímica - Parceria com BP e Verenium
92	VERDEZYNE	Rota Bioquímica
93	Verenium	Rota Bioquímica - Parceria com BP e Vercipia
94	Weyland Bioethanol	Rota Bioquímica
95	Zeachem	Rota Bioquímica

Fonte: Autoria própria

Em termos de rotas tecnológicas três rotas principais ou processos se destacaram: processo bioquímico, processo termoquímico e processo híbrido (fermentação do gás de síntese-Syngas). A Figura 4.3 apresenta a representação esquemática das rotas tecnológicas para o etanol de segunda geração.

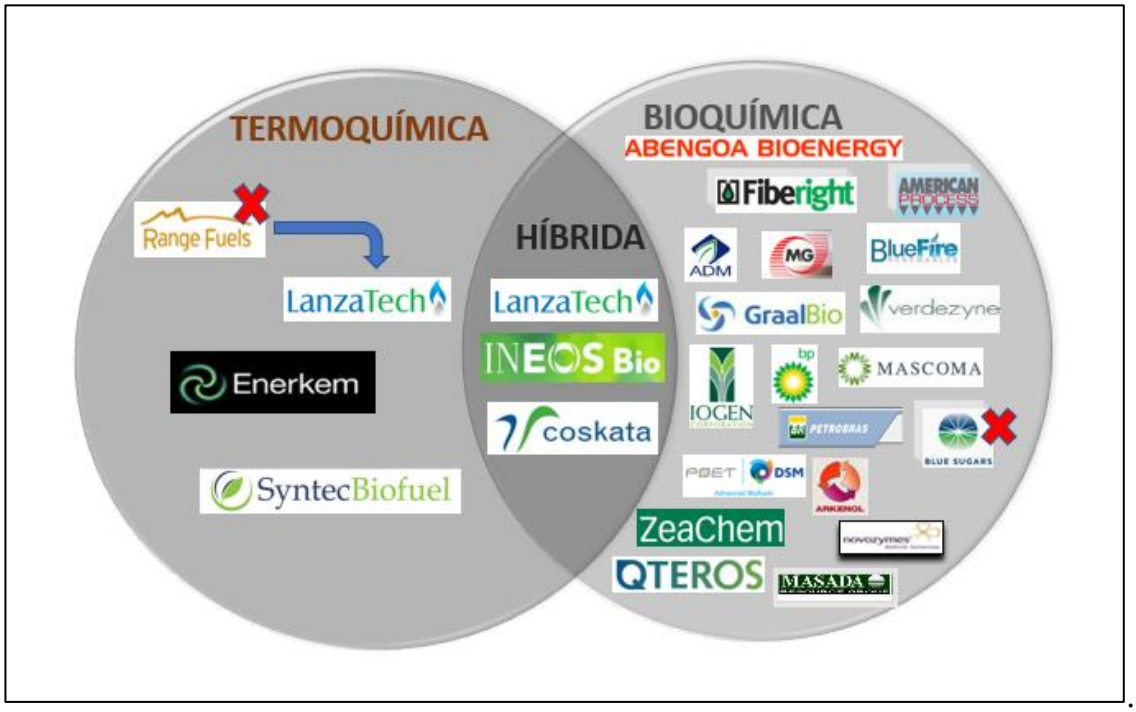
Figura 4.3 - Representação esquemática para as rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.



Fonte: Autoria própria.

A rota termoquímica apresentava a vantagem do uso de todo o material orgânico não se limitando aos materiais lignocelulósicos necessários na rota bioquímica. O aproveitamento da biomassa na rota termoquímica era integral quando comparado com a rota bioquímica, na qual devia-se considerar que a maioria dos materiais lignocelulósicos contém apenas 75% de polissacarídeos para conversão à açúcares fermentáveis. Entretanto, na corrida tecnológica, a rota bioquímica por hidrólise enzimática na produção de etanol celulósico aparentava ser a tecnologia dominante, com 93 % dos atores prospectados envolvidos com o processo bioquímico. Assim, como pode ser observado na Figura 4.4, na qual foram mostradas as rotas tecnológicas adotadas pelos principais atores no cenário de renováveis, existem maior densidade de atores em processos bioquímicos.

Figura 4.4 - Representação esquemática para os atores e suas rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.



Fonte: Autoria própria.

Os principais desafios das tecnologias bioquímicas prospectados foram os identificados a seguir:

a) alto custo das enzimas;

b) a necessidade da etapa de pré-tratamento para redução física do tamanho da biomassa e desorganização do complexo lignocelulósico, redução da cristalinidade da celulose e aumento

da acessibilidade das enzimas às moléculas de hemicelulose e celulose para liberação e obtenção de açúcares monoméricos fermentáveis (C5 e C6);

c) otimização da etapa de pré-tratamento de acordo com a biomassa de entrada;

d) para a rota bioquímica deve haver alinhamento perfeito entre o tipo de biomassa de entrada, o pré-tratamento para hidrólise e o processo de fermentação;

e) a escala de produção e os desafios do escalonamento;

f) redução do consumo de energia na etapa de pré-tratamento;

g) redução do custo da etapa de hidrólise para conversão à açúcares fermentáveis;

h) fermentação simultânea de glicose e xilose/arabinose;

i) conversão de lignina a produtos de maior valor agregado;

j) eficiente processo de separação do etanol;

k) maior produtividade específica com cogeração de sub-produtos reduzida;

l) problemas de inativação das enzimas em combinação com a lignina;

m) processo de reuso da enzima ainda não desenvolvido;

n) produção de celulase na planta dedicada a etapa de hidrólise enzimática;

o) atuar na atividade da celulase e/ou na redução do custo de produção da celulase;

p) métodos de desintoxicação do hidrolisado contendo ácidos fracos, derivados furânicos e substâncias fenólicas que agem como inibidores da fermentação;

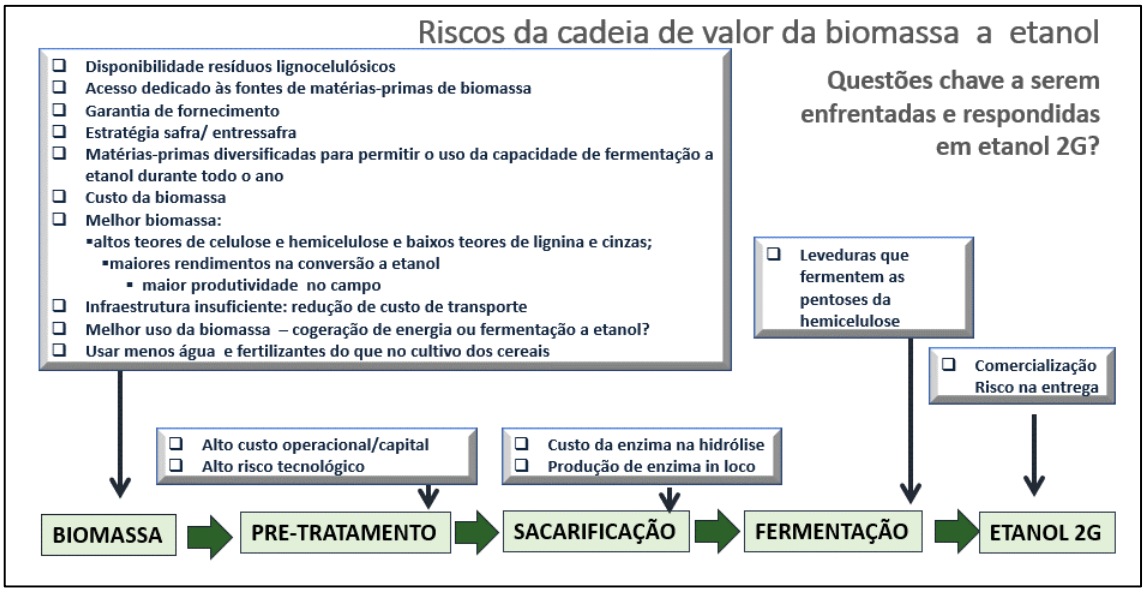
q) o aumento da tolerância aos inibidores produzidos na polpa hidrolisada e subprodutos da reação de hidrólise: furfural, HMF-hidroximetilfurfural, ácidos orgânicos, compostos fenólicos solúveis.

Os principais riscos da cadeia de valor da biomassa a etanol e as questões chave a serem endereçadas e respondidas em etanol 2G, prospectados no período de análise desta tese (2012 a 2108) também foram compilados na Figura 4.5, principalmente para a rota predominante- rota bioquímica, mas comuns para as outras rotas para o começo (biomassa) e para o final (comercialização) da cadeia de valor.

No período avaliado, neste processo de prospecção tecnológica (2012 a 2018), constatou-se o avanço da maturidade das tecnologias em etanol celulósico nas diferentes escalas: laboratorial (Lab.), planta piloto, demonstração (Demo.) e escala industrial (Ind.), para alguns dos principais atores, conforme representado na Figura 4.6. Esta Figura mostra o avanço tecnológico para cada rota tecnológica e os movimentos para alguns dos principais atores. A seta verde representava a postergação de planos de escalonamento dos atores. A título de exemplo foi sinalizado, na Figura 4.6, o caso da empresa Enerkem, que em 2012 viu-se obrigada a anunciar

a prorrogação para o início das operações de sua planta em Edmont, Alberta no Canadá, com capacidade de 38 milhões de litros de etanol celulósico a partir de resíduos sólidos urbanos.

Figura 4.5 - Representação esquemática sobre os riscos da cadeia de valor da biomassa a etanol e as questões chave a serem endereçadas e respondidas para o produto Etanol Celulósico.

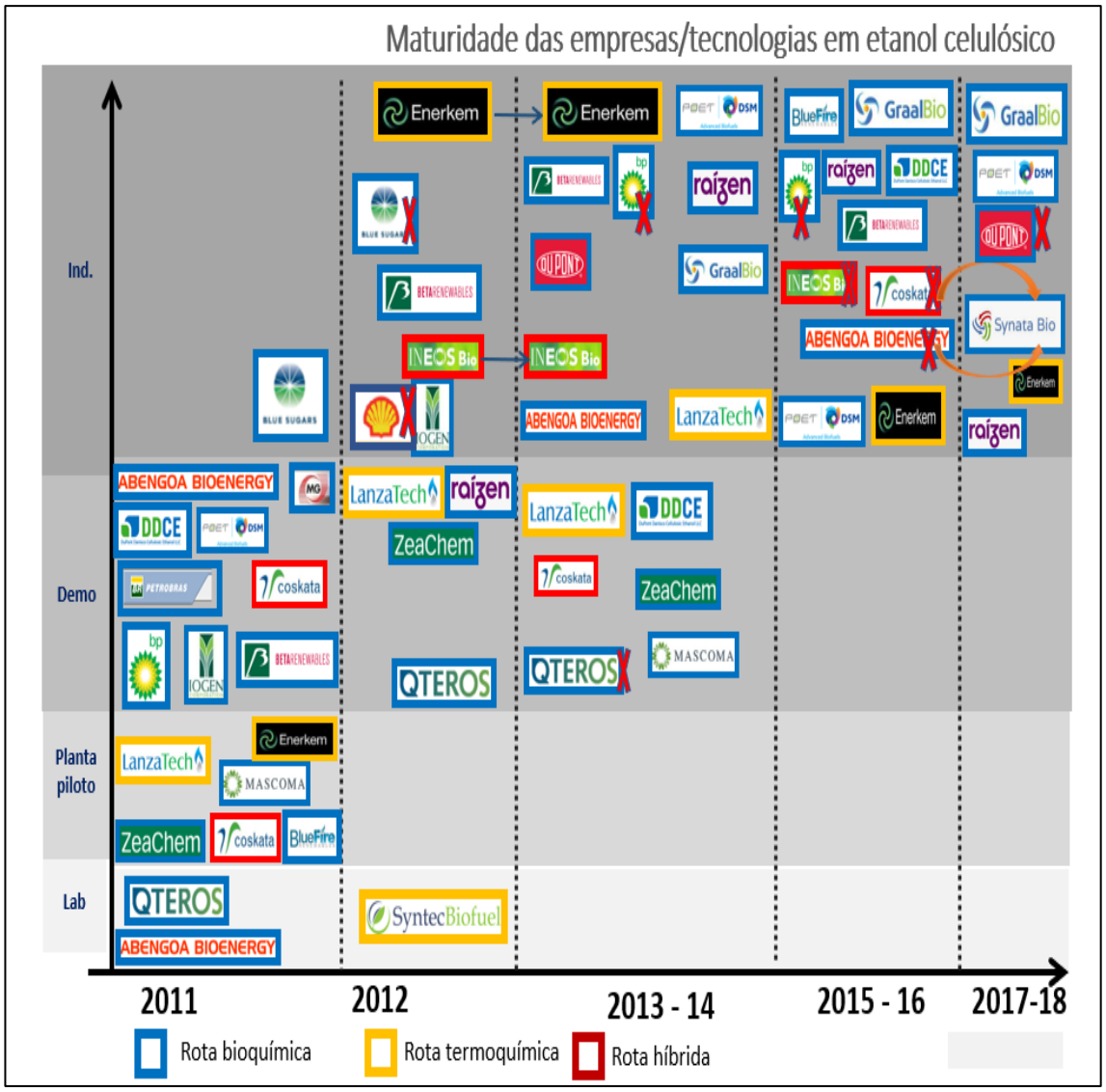


Fonte: Autoria própria.

No processo de monitoramento sistemático desta tese, constatou-se que as empresas que caminhavam para a escala comercial entre 2012 e 2013 reportavam suas constantes incertezas sobre os custos de produção e de capitais, como: M&G, BP, POET-DESM, DuPont e Abengoa. A seta vermelha na Figura 4.6 representava a saída dos atores do processo de desenvolvimento e comercialização do etanol celulósico, por diversas razões específicas para cada um, conforme apresentado a seguir para alguns atores com o objetivo de se compreender os principais desafios no cenário de renováveis, proposta da discussão desta tese. A empresa QTEROS anunciou o fechamento de sua planta em escala de demonstração localizada em Chicopee, Massachusetts em virtude de problemas financeiros e alterou sua estratégia para uma empresa licenciadora de sua tecnologia proprietária de fermentação ao invés de investir na construção de plantas em escala comercial. Em final de abril de 2012 a Shell decidiu não avançar com a planta comercial anunciada em parceria com a IOGEN alegando altos custos do investimento. Entretanto, vale a pena citar que neste caso que em 2014, a empresa Raízen (joint venture da brasileira Cosan e da multinacional Shell) reavaliou a viabilidade da tecnologia da IOGEN e montou uma planta em Piracicaba que produz ao mesmo tempo as duas gerações de combustíveis (MARQUES, 2018).

Dando continuidade à análise tem-se que em outubro de 2012, a BP também anunciou o cancelamento da construção da planta em escala comercial localizada em Highlands Country na Florida, com capacidade para a produção de 36 milhões de galões de etanol celulósico, alegando que estava encerrando sua busca pela produção de etanol celulósico. A própria agência americana (EPA) passou a ser mais rigorosa nas suas projeções e estimativas para o potencial em escala comercial para o etanol celulósico e em 2012 já passou a não considerar as capacidades anunciadas e projetadas pelas empresas American Process, Zeachem e a própria BlueSugars. Estes movimentos indicavam as profundas incertezas para o escalonamento e a comercialização do etanol celulósico naquele período de tempo.

Figura 4.6 - Representação gráfica da maturidade para alguns atores, seus movimentos e suas rotas tecnológicas para o produto Etanol Celulósico.



Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Desafios técnicos e investimentos na etapa de escalonamento da produção

Os desafios técnicos e a necessidade de investimentos que as empresas enfrentaram em todas as etapas de escalonamento da produção de produtos renováveis, mas principalmente na etapa de escalonamento para a produção industrial serão discutidos neste capítulo. Assim, relatos e declarações foram colhidas durante todo o desenvolvimento do processo de prospecção proposto nesta tese.

A etapa inicial, voltada para suportar as investigações em bancada, visando à validação de tecnologias promissoras, compreendia valores de investimentos menos significativos quando comparado aos elevados investimentos para a escala industrial, como em todo processo de evolução tecnológica. Este aporte de capital inicial teve sua maior incidência por volta dos anos de 2000 até 2014 (com o preço do petróleo em plena ascensão), em uma fase em que não se observou escassez de capital de risco, pelo contrário, e o mesmo foi oriundo basicamente de recursos próprios de constituição da empresa, programas de governos, investimentos por parte de grandes empresas motivadas pelos desafios da sustentabilidade, preocupações ambientais, recursos de investidores com expectativas de rápido crescimento e elevada rentabilidade (*venture capital*), entre outros. Entretanto, a medida que o processo de maturidade da tecnologia evoluía para a escala de demonstração e para a escala industrial, o investimento basicamente triplicava para ambas etapas (LANE, 2018) e, foi neste momento que ocorreram movimentos importantes observados neste processo de prospecção proposto nesta tese:

1) muitas empresas reavaliavam seus projetos, seu posicionamento no mercado e tomaram a decisão de prosseguir ou interromper o projeto. Nesta situação foi possível diferenciar as empresas mais interessantes e transformadoras, das empresas que apresentaram dificuldades legítimas para atingir escala e acabaram ficando sem recursos e viabilidade técnica e financeira para prosseguirem em suas operações, a título de exemplo, a METABOLIX que após o fracasso de sua JV com a ADM, buscava reposicionar seu PHA, desenvolvendo grades para aplicação no mercado de plastificantes especiais;
2) por outro lado, empresas que efetivamente apresentaram as maiores viabilidades tecnológicas e mercadológicas tiveram acesso a novos aportes de capital, tendo como exemplo: a Bioamber que firmou importantes parcerias à montante e à jusante na cadeia de valor em todo o período, fortalecendo-se e articulando-se nesta cadeia de valor.
3) o capital, que por sua vez já tinha sido abundante e inovador, encontrava-se cada vez mais difícil de ser encontrado.

A observação destes movimentos, no período de análise, permitiu inferir sobre o cenário de renováveis para os próximos 5 a 10 anos, ou seja, aquela fase inicial de corrida tecnológica encontra-se em processo de desaceleração, quando comparado com o processo frenético observado entre os anos de 2000 a 2014. Embora, observam- se que novas plataformas estejam surgindo concomitantemente com a consolidação de plataformas estabelecidas naquele período. Ademais, as tecnologias mais promissoras encontram-se em pleno processo de sobrevivência para serem competitivas com o preço do petróleo se mantendo em patamares em torno de 40 a 70 dólares o barril e com a ausência da força de aspectos regulatórios bem definidos e impostos às companhias com consequências sérias pelo seu não cumprimento (como exemplo a taxação de carbono, discutida neste capítulo mais adiante).

Assim, os evidentes tempos de crescimento e de corrida tecnológica, observados entre os anos 2000 até 2015, onde algumas tecnologias não apresentaram resultados suficientes na escala de bancada para progredir para pilotos, demonstrações e escala comercial, contribuíram efetivamente para o cenário de renováveis e seu delineamento futuro. As ações naquela ocasião, basicamente, foram impostas pelo crescimento da preocupação com o meio ambiente, como um fato real, e o cenário de flutuações do preço do petróleo com súbito aumento do petróleo, seguido de nova queda e estabilização a preços menores, da ordem de 40 a 70 dólares o barril.

Neste período, ainda, os novos empreendimentos em biotecnologia enfrentaram sérias dificuldades operacionais. Em alguns casos foram relatadas situações nas quais não foi possível produzir dentro da especificação, reduzir o número de paradas de produção e atingir suas capacidades produtivas máximas projetadas. De forma geral, os empreendimentos em sua fase inicial passam pela fase de queima de dinheiro, no chamado Vale da Morte (fase de cash-burn) que se trata de um dos períodos mais difíceis nas partidas de operação de plantas industriais. No caso atual do etanol celulósico, a título de exemplo, o problema mais sério para algumas empresas estava no tempo em funcionamento para produção das fábricas, ou seja, o desafio era reduzir o número de paradas técnicas e produzir continuamente.

Para mitigar desafios técnicos e para buscar investimentos, também foi identificada nesta tese de doutorado que a estratégia mais promissora adotada pelos atores envolvidos foi a busca por complementaridades, visando redução de custos de investimento e reduzindo tempo na corrida tecnológica instaurada. As empresas, de todos os portes envolvidas na área de renováveis, compreenderam a dimensão do desafio e se mobilizaram para entender seus papeis e responsabilidades no processo, buscaram valorizar suas competências principais (em inglês, *core competences*), ou seja, aquelas relacionadas com sua vocação, missão, visão, estratégia e foram

em busca de parcerias para desenvolvimento conjunto, fusões e aquisições, acordos à montante e à jusante como compra de produtos produzidos bioderivados e acordos de fornecimento de matéria-prima.

4.1.3 Desafios tecnológicos no horizonte temporal - longo prazo - o caso das algas

Para alguns especialistas, as algas possuíam um grande potencial para a energia do futuro pois poderiam ser usadas como matéria-prima para a produção de biocombustíveis neutros em carbono e de produtos químicos bioderivados. Segundo eles, as algas poderiam fornecer soluções para os grandes desafios globais do século 21: mudanças climáticas, segurança alimentar, saúde e valor nutricional dos produtos, entre outros. As algas crescem dez vezes mais rápido do que as plantas terrestres, crescem em terras não produtivas e não aráveis, por isso não compete com outras culturas para produção de alimentos, não necessita de água doce e de fertilizantes, entre outras características.

Entretanto, os óleos obtidos a partir de algas pelo processo de fotossíntese ainda apresentaram altos custos. O maior desafio desta rota foi diretamente relacionado com o fato de que se houver melhoria na produtividade média por hectare, o custo da produção de biocombustível não seria bastante reduzido.

As algas heterotróficas pareceram ser as mais promissoras (processo adotado pela empresa Solazyme que utiliza sistemas heterotróficos para a produção de óleos de algas). O processo autotrófico foi identificado como um processo que resulta em baixas produtividades. Foi prospectado que a empresa Sapphire Energy possui projeto em parceria com o NREL, iniciado em 2017, para a produção de óleos de algas, ainda em escala laboratorial e com três grandes desafios: melhorar a produtividade, melhorar as tecnologias de pré-processamento (visando aumentar a qualidade do óleo, especificamente na redução de quantidade de metais) e o custo de produção da unidade de biomassa de algas.

Fotobiorreatores em sistema fechado para a produção de óleos de algas foram prospectados, como os utilizados pela empresa Solix Biofuels, incluindo a injeção de CO_2 por meio de tubulações para otimizar o crescimento. A empresa Solix atuou em parceria com a Universidade Estadual do Colorado. A empresa Algenol também utilizava fotobiorreatores em sistema fechado para a produção de etanol. A empresa Bioalgene Inc. focou-se no desenvolvimento de ambos tipos de biorreatores em parceria com a Universidade de Seattle. Existem prós e contras para cada um dos dois tipos de bioreatores: aberto e fechado. (AUSTIN, 2018).

O custo elevado de fotobioreatores foi considerado na análise das algas como o tema de maior desafio tecnológico e não existia um consenso sobre a melhor configuração (fechado ou aberto) porque o problema se manteve na escalabilidade. Bioreatores fechados apresentavam alto custo, porém ofereceram um cultivo eficiente em grandes volumes. Biorreatores abertos apresentavam problemas de contaminação, necessidade de grandes áreas para seu funcionamento e possibilidades limitadas de localização devido ao clima (AUSTIN,2018).

De qualquer forma, a maioria das empresas envolvidas possuíam bons resultados em laboratório, mas quando buscaram as maiores escalas enfrentaram muitos problemas. Para este produto algas foi evidenciada uma maior cooperação com o meio acadêmico, ou seja, fortes parcerias por se tratar de produto renovável com significativos desafios tecnológicos e necessidade de conhecimento teórico.

Alguns aspectos foram listados como fruto da análise do processo de prospecção realizado nesta tese de doutorado e da opinião de profissionais que analisaram o tema (MORITA, 2014, AUSTIN,2018), ou seja, foram identificadas grandes barreiras tecnológicas para as algas:

a) Os fotobiorreatores apresentaram CAPEX elevado;

b) Os fotobiorreatores apresentaram problemas de escalabilidade;

c) Dificuldades com o acúmulo de oxigênio, ou seja, existia a produção de O_2 e este precisava ser retirado, pois de forma muito rápida atingia-se o limite de saturação prejudicando o processo. O método de de-oxigenação da solução necessitava ser eficiente;

d) No caso de ocorrer o processo de infecção das microalgas a reversão era um processo difícil;

e) Em fotobiorreatores as zonas inferiores receberam menos luz e a produtividade foi menor; o acesso de luz ao meio diminuiu a eficiência dentro do reator; a camada superior limita a entrada de luz;

f) O processo necessitava que a temperatura fosse mantida sob controle e como era difícil controlar a temperatura, existia um alto consumo de energia (e de água também) para resfriar os fotobiorreatores;

g) Dificuldade associada ao processo de coleta da biomassa;

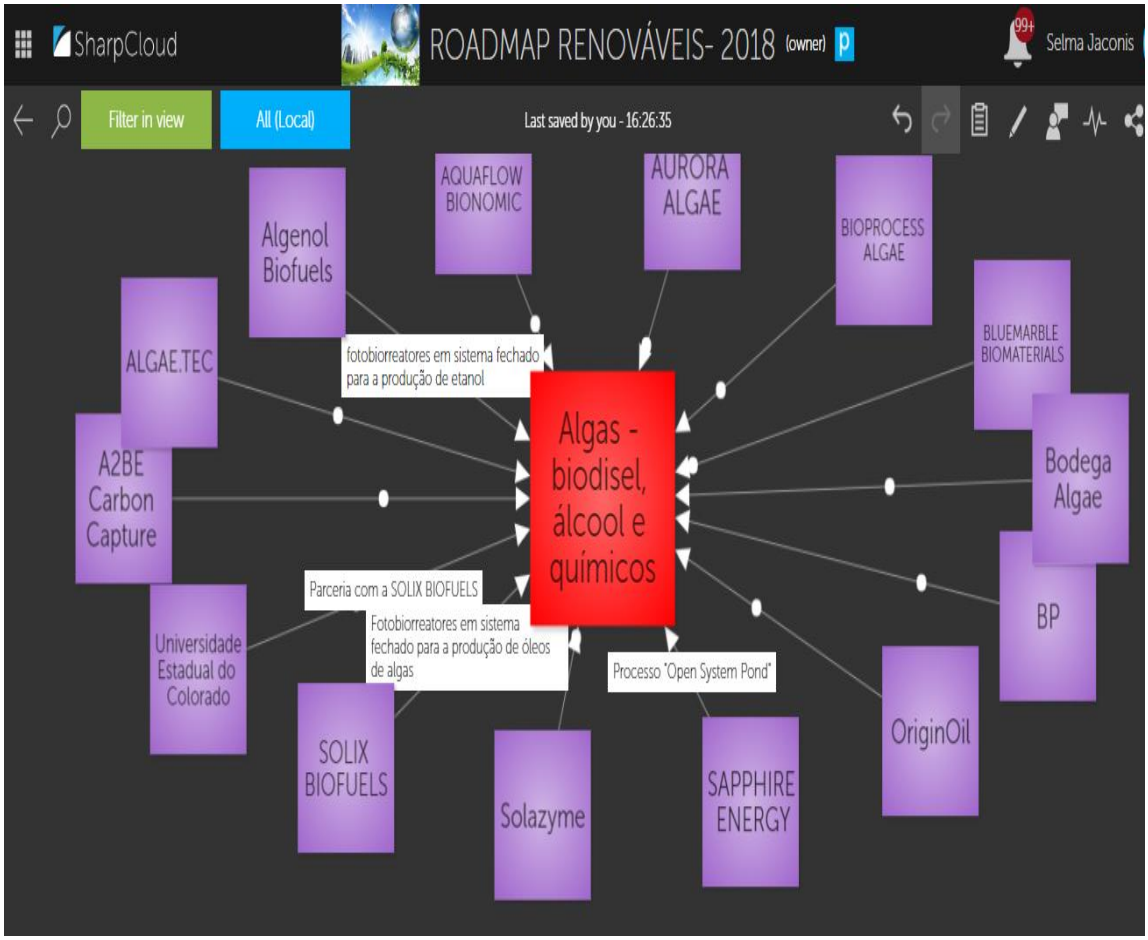
h) Dificuldade associada ao processo de extração do óleo;

i) Os denominados reatores *openpond* necessitavam de muito espaço, grande quantidade de água, vulnerabilidade a infecções, grande quantidade de nutrientes, entrada de CO_2 implicando custo de compressão, tubulação, etc.;

j) Pelo menos para biocombustíveis (biodiesel principalmente), os fotobioreatores só faziam sentido para lugares frios. Seja em cinco, dez ou vinte anos, a chave para a produção econômica de biocombustível baseada em algas é desenvolver o modelo de crescimento mais econômico possível (AUSTIN,2018).

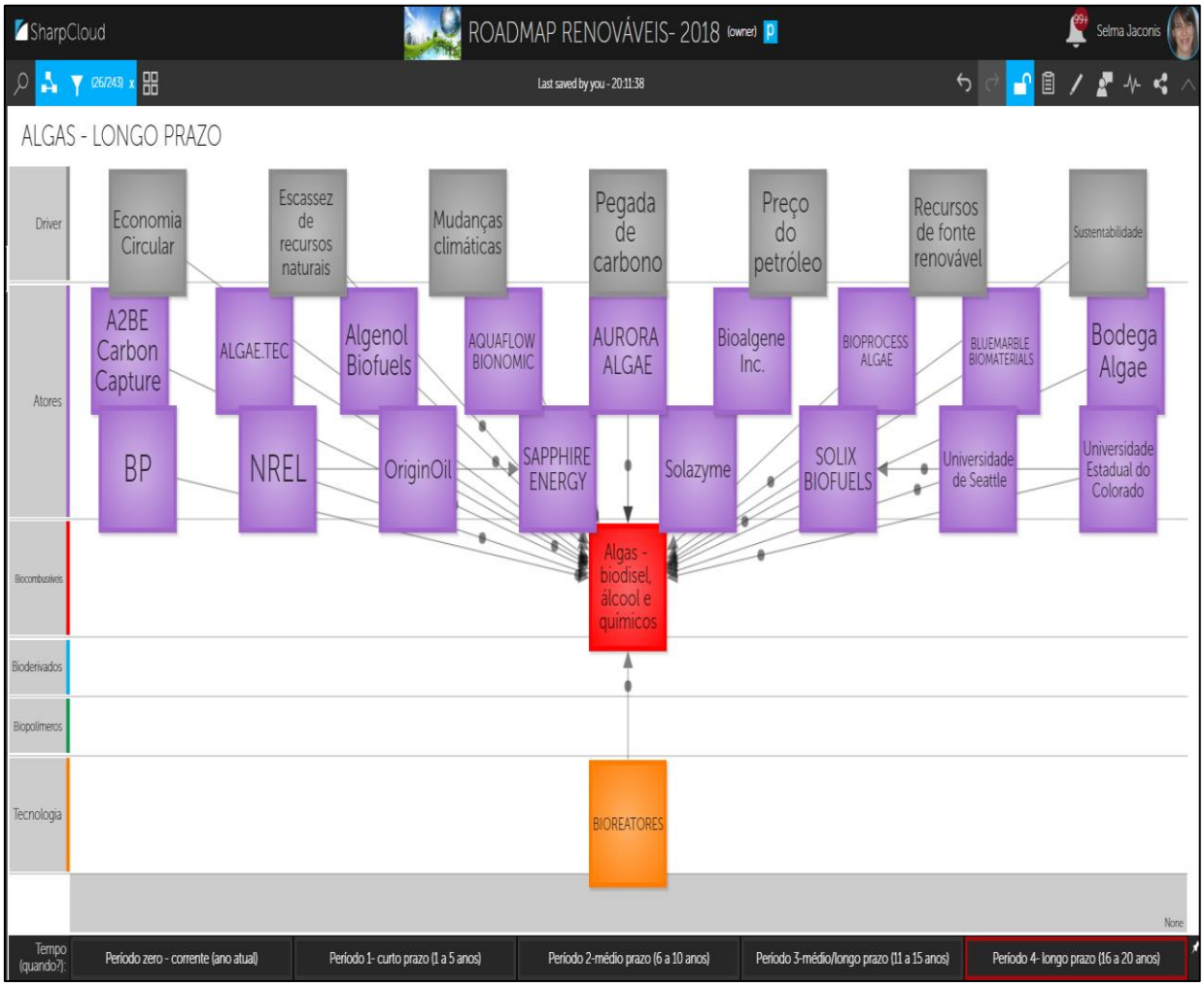
Dessa forma, biocombustíveis e produtos químicos bioderivados provenientes de algas em larga escala (*commodities*) foram posicionados no horizonte de tempo de longo prazo, ou seja, no Período 4 – longo prazo: espaço de tempo de 16 a 20 anos, pois observou-se a existência de muitos questionamentos sobre o que as empresas envolvidas no desenvolvimento desta tecnologia declaravam em mídia especializada e na análise do que parecia ser tecnicamente viável por especialistas da área para a produção em escala comercial. Os atores prospectados para o produto alga e suas parcerias com o meio acadêmico estão representados na Figura 4.7, para o Roadmap Tecnológico obtido no programa SharpCloud. A representação gráfica simplificada do TRM construído em programa SharpCloud, é apresentada na Figura 4.8.

Figura 4.7 - Representação gráfica dos atores prospectados para o produto algas, no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.8 - Representação gráfica simplificada para o produto algas no Período 4 – longo prazo (16 a 20 anos) no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.



Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Desafios tecnológicos em todos os horizontes temporais - o caso dos ácidos orgânicos

Alguns bioprodutos já fazem parte da realidade industrial e já estão sendo produzidos em escala comercial, entre eles produtos como: o ácido succínico, ácido láctico, propanodiol-1,2, epicloridrina, etanol de segunda geração, entre outros. Estes produtos oferecem ainda possibilidades de aumento de escala e de novas rotas de produção a partir de biomassa renovável. Para outros produtos observa-se que já existem tecnologias de produção a partir de biomassas, mas ainda em fase de validação e sobreposição de obstáculos para o escalonamento de sua produção, conforme discutido nos capítulos 4.1.1 e 4.1.2.

Os doze principais blocos de construção identificados pelo estudo de NREL & PNNL, em 2014, ligados a açúcares foram: 1,4 diácidos (succínico, fumárico e málico); ácido furan-2,5-dicarboxílico; 3-ácido hidroxipropiônico; ácido aspártico; ácido glucárico; ácido glutâmico; ácido itacônico; ácido levulínico; 3-hidroxibutirolactone; glicerol; sorbitol e xilitol/arabinitol (BOZELL, 2004). Assim dos doze blocos de construção apontados pelo NREL, 8 produtos são ácidos orgânicos. Em dezembro de 2017, o governo do reino unido por meio do LBNET e do E4TECH (E4TECH, 2017) publicaram um documento que aborda os produtos renováveis na visão da União Europeia, sendo que, os ácidos orgânicos também foram contemplados.

Os produtos químicos mais competitivos são aqueles que apresentam um maior rendimento em relação à biomassa. Neste caso são aqueles que mais preservam a estrutura original da mesma, ou seja, os que têm rendimento máximo em todos os elementos: carbono, hidrogênio e oxigênio. Pode-se afirmar, assim, que os ácidos orgânicos, que possuem maior teor de oxigênio na molécula, são aquelas substâncias químicas com maior potencial para virem a ser produzidas em larga escala a partir de matérias primas renováveis no futuro. A existência de sítios hidroxila primários e secundários de diferentes reatividades na estrutura molecular dos carbohidratos é uma grande vantagem para o uso dos mesmos como precursores de ácidos carboxílicos e de seus derivados via rotas químicas (reduções, oxidações, desidratações, hidrólises e polimerizações) e de biotransformação (processos enzimáticos, fermentação aeróbia e anaeróbia), com conversão elevada e baixa geração de subprodutos.

As hexoses são mais comumente usadas como matéria-prima para a produção de ácidos carboxílicos por apresentarem maiores rendimentos de processo frente as pentoses. Por questões históricas e de mercado, grande parte das rotas comerciais modernas foram fundamentadas na glicose. Com a disparada do preço da glicose nos últimos dez anos, muitas destas rotas estão sofrendo risco de se tornarem economicamente inviáveis, o que vem desencadeando uma série de esforços de pesquisa em busca de matérias-primas renováveis e abundantes para substituição da mesma, como o amido, a celulose ou outros mono e dissacarídeos, como a sacarose e o açúcar invertido.

O interesse na cana-de-açúcar como matéria-prima renovável para produção de ácidos carboxílicos vem crescendo com muita rapidez. Além de ser uma espécie abundante e comercialmente explorada em quase todos os continentes (com exceção da Europa), e hoje a que oferece maior rendimento na produção de sacarose por hectare plantado. Sendo um solido cristalino, a sacarose pode ser facilmente transportada, estocada e processada, independentemente de sua quantidade. Sacaroses de diferentes graus de refino e de pureza podem

ser dirigidas para produção de ácidos carboxílicos mais ou menos nobres. Outra vantagem reside na possibilidade do uso de suas frações (melaços, correntes intermediárias da produção de sacarose, resíduos de colheita e bagaço pós-moagem) para produção direta dos ácidos, devido ao elevado teor de hexoses presentes nas mesmas. Este procedimento permite ganhos econômicos, de imagem e ambientais, já que a sacarose seria destinada para fins alimentícios ou mercados mais nobres em função da demanda e do preço de mercado, além de reduzir os custos com descarte e tratamento destas frações, normalmente consideradas como rejeitos ou efluentes pela indústria sucro-alcooleira.

Nesta tese de doutorado foram monitorados 24 ácidos orgânicos que podem ser produzidos a partir de matérias-primas renováveis, por rotas químicas ou de biotransformação. Foram considerados 22 ácidos carboxílicos de cadeias curtas (C4 a C8) e 2 ácidos graxos (C8 a C12). A seleção dos ácidos, que compõem a lista de produtos monitorados nesta tese de doutorado, foi realizada com base nos seguintes critérios adotados:

a) Ácidos atualmente produzidos em larga escala a partir de matérias-primas petroquímicas, com aplicações já consolidadas e amplo mercado comercial, como por exemplo, o ácido tereftálico com elevado faturamento da ordem de 80 bilhões de dólares, preço de USD 1,4/kg e volume de produção de aproximadamente 47 milhões de toneladas métricas (2012) (SMITH, 2013);

b) Ácidos atualmente produzidos com pequena escala de produção a partir de matérias-primas petroquímicas, onde a sua substituição por renováveis seja possível e cujas rotas via carboidratos e biomassa sejam operacionalmente mais simples e economicamente mais viáveis, trazendo economias de escala e vantagens ambientais, como por exemplo, o ácido succínico que pode ser considerado um produto com elevado potencial para crescimento rápido de mercado devido a presença de grandes empresas que trabalharam e outras que continuam trabalhando no desenvolvimento destas aplicações tais como: Reverdia- empresa formada pelas empresas DSM e Roquette, Myriant , Basf, BioAmber em parceria com grandes empresas como Mitsui, Evonik, Lanxess, Mitsubishi Chemical e outras;

c) Ácidos atualmente produzidos em baixo volume a partir de matérias-primas petroquímicas, cuja produção via carboidratos ou biomassa poderá implicar em desempenho ou funcionalidades diferenciadas, novas propriedades, novas aplicações comerciais ou novos nichos de mercado para o ácido ou para seus derivados. Exemplo: ácido itacônico;

d) Ácidos atualmente não-produzidos a partir de matérias-primas petroquímicas, cuja produção via carbohidratos ou biomassa poderá dar origem a diversos intermediários químicos

para especialidades, entretanto, estas possibilidades de sucesso podem ser retardadas pela necessidade de uma maior evolução no desenvolvimento de suas aplicações potenciais e, ainda, por constituírem moléculas novas a sua penetração deverá ser mais lenta. Exemplo: ácido levulínico que pode ser obtido diretamente da biomassa lignocelulósica, a baixo custo, e tem potencial para dar origem a diversos intermediários para a produção de adesivos, solventes, plastificantes, polímeros. No entanto, ele ainda não deslanchou por não se visualizar como a cadeia evoluirá até os produtos finais que servirão aos fabricantes dos produtos citados. Se ele for direcionado para o mercado de *commodities*, ele precisará ser competitivo em preço com os produtos que ele pretenderá substituir. Este tópico será discutido no capítulo 4.2 desta tese.

e) Ácidos que são precursores ou intermediários para a produção de uma família de produtos, polímeros ou outros bens finais estratégicos. Exemplos: ácido acrílico e o ácido glucárico pode ser um possível intermediário na produção do ácido adípico verde (processo da empresa Rennovia que encerrou suas atividades em 2018).

Na tabela 4.2 estão listados os ácidos monitorados, sua fórmula molecular e seus estágios de avanço tecnológico a partir de matérias primas renováveis até a comercialização de acordo com o período adotado para sua representação no Roadmap Tecnológico construído neste trabalho. Na Figura 4.9 estão representados os 24 ácidos orgânicos em função da sua cadeia carbônica e do horizonte temporal no TRM construído no programa SharpCloud.

Tabela 4.2: Ácidos orgânicos produzidos a partir de matérias-primas renováveis monitorados

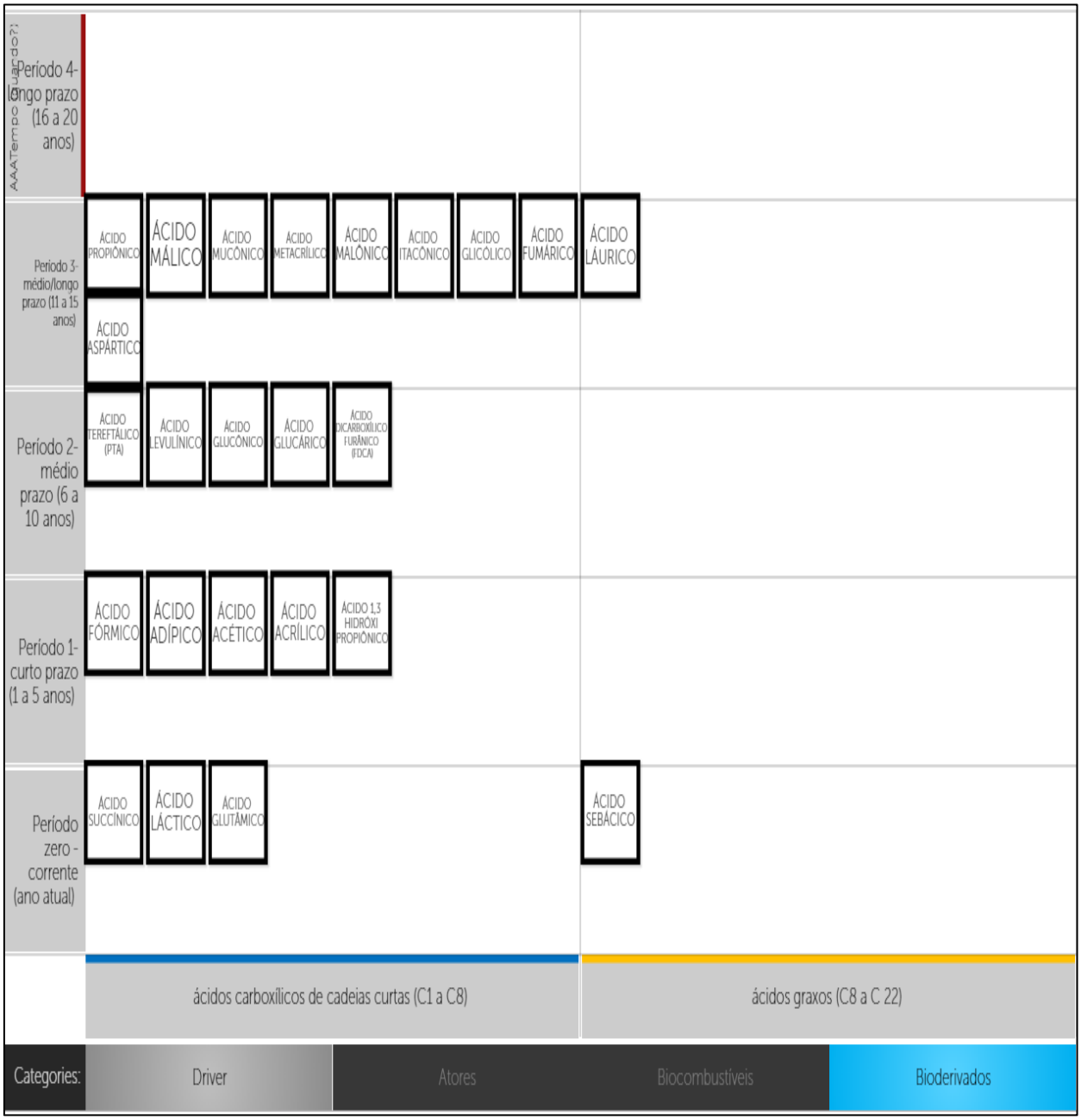
	Produto **Função química:** **ácidos orgânicos**	**Fórmula Molecular**	**Período adotado no Roadmap Tecnológico**
1	**ÁCIDO LÁCTICO**	**$C_3H_6O_3$**	**Período zero - corrente**
2	**ÁCIDO SUCCÍNICO**	**$C_4H_6O_4$**	**Período zero - corrente**
3	**ÁCIDO 1,3 HIDRÓXI PROPIÔNICO**	**$C_3H_6O_3$**	**Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos**
4	**ÁCIDO ADÍPICO**	**$C_6H_{10}O_4$**	**Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos**

	Produto Função química: ácidos orgânicos	Fórmula Molecular	Período adotado no Roadmap Tecnológico
5	ÁCIDO ACRÍLICO	$C_3H_4O_2$	Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos
6	ÁCIDO FÓRMICO	CH_2O_2	Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos
7	ÁCIDO GLUCÁRICO	$C_6H_{10}O_8$	Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos
8	ÁCIDO ACÉTICO	$C_2H_4O_2$	Período 1- curto prazo: espaço de tempo de 1 a 5 anos
9	ÁCIDO DICARBOXÍLICO FURÂNICO (FDCA)	$C_6H_4O_5$	Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos
10	ÁCIDO LEVULÍNICO	$C_5H_8O_3$	Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos
11	ÁCIDO GLUCÔNICO	$C_6H_{12}O_7$	Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos
12	ÁCIDO TEREFTÁLICO (PTA)	$C_8H_6O_4$	Período 2 - médio prazo: espaço de tempo de 6 a 10 anos
13	ÁCIDO PROPIÔNICO	$C_3H_6O_2$	Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos
14	ÁCIDO METACRÍLICO	$C_4H_6O_2$	Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos
15	ÁCIDO MALÔNICO	$C_3H_4O_4$	Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos
16	ÁCIDO LÁURICO (ÁCIDO DODECANODIÓICO)	$C_{12}H_{24}O_2$	Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos
17	ÁCIDO SEBÁCICO	$C_{10}H_{18}O_4$	Período zero - corrente

	Produto Função química: ácidos orgânicos	Cadeia carbônica	Período adotado no Roadmap Tecnológico
18	**ÁCIDO FUMÁRICO**	**$C_4H_4O_4$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**
19	**ÁCIDO MÁLICO**	**$C_4H_6O_5$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**
20	**ÁCIDO GLICÓLICO (GLYCOLIC ACID)**	**$C_2H_4O_3$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**
21	**ÁCIDO MUCÔNICO**	**$C_6H_6O_4$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**
22	**ÁCIDO GLUTÂMICO**	**$C_5H_9NO_4$**	**Período zero - corrente**
23	**ÁCIDO ITACÔNICO**	**$C_5H_6O_4$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**
24	**ÁCIDO ASPÁRTICO**	**$C_4H_7NO_4$**	**Período 3 – médio/longo prazo: espaço de tempo de 11 a 15 anos**

Fonte: Autoria própria

Figura 4.9: Representação gráfica simplificada para os 24 ácidos orgânicos monitorados em função do número de átomos de carbono e do horizonte temporal no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.

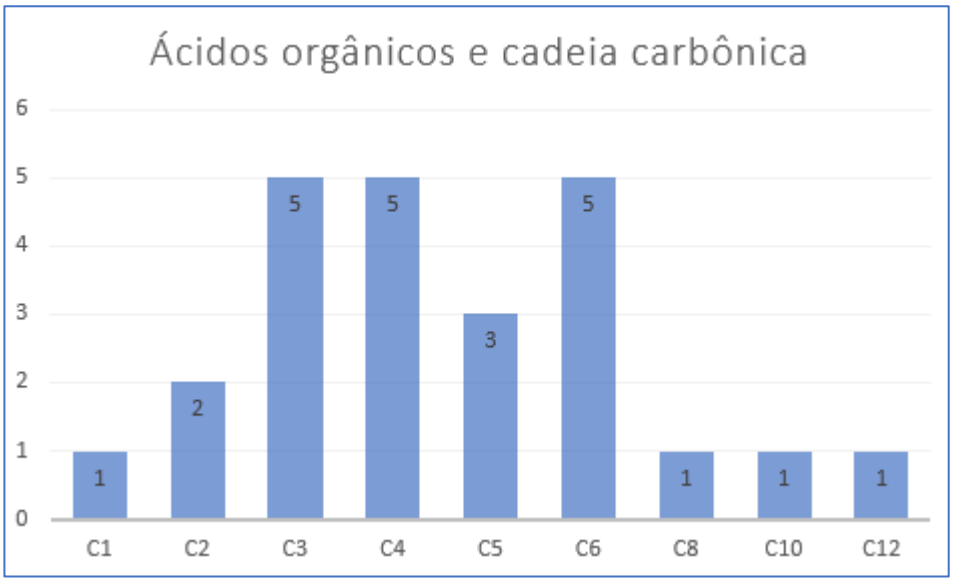


Fonte: Autoria própria.

Como também pode ser observado na Figura 4.10, a seguir, a maioria dos ácidos orgânicos, que estão sendo estudados por empresas, universidade e instituições científicas, para serem produzidos a partir de matérias-primas renováveis e que estão sendo monitorados no Roadmap Tecnológico proposto nesta tese de doutorado, pertencem ao grupo dos ácidos

carboxílicos de cadeia carbônica curta com 3 a 6 átomos de carbono, sendo que, do total de 24 ácidos orgânicos, 5 ácidos pertencem à cadeia carbônica com três átomos de carbono (C3), 5 ácidos pertencem à cadeia carbônica com seis átomos de carbono (C6) e 5 ácidos orgânicos com quatro átomos de carbono como: ácido succínico, ácido málico, ácido fumárico e ácido aspártico e 3 ácidos com 5 carbonos.

Figura 4.10: Distribuição dos 24 ácidos orgânicos monitorados em função do número de átomos de carbono.



Fonte: Autoria própria.

Dentre os ácidos orgânicos monitorados, grande destaque tem sido observado ao ácido succínico, sendo atualmente considerado uma plataforma química. Os principais direcionadores que motivaram e motivam o seu desenvolvimento estruturado tem sido sem dúvida a sustentabilidade, as parcerias estratégicas estabelecidas ao longo dos últimos anos, a possibilidade de substituir produtos químicos derivados do petróleo, diminuição de seu custo de produção, a maturidade atual da tecnologia para a produção do produto e a consolidação do seu mercado potencial, além da versatilidade e aumento da possibilidade de diferentes aplicações: plásticos de engenharia como por exemplo o poli (succinato de butileno) (PBS), alimentícia (aditivo e aromatizante em formulação de bebidas e alimentos, microencapsulamento de óleos aromatizantes), farmacêutica (intermediários farmacêuticos, succinato de cálcio como anticarcinogênico, tabletes efervescentes), revestimentos, plastificantes livres de ftalatos, solventes, lubrificantes, herbicidas, fungicidas, agentes de limpeza de superfícies, produtos para

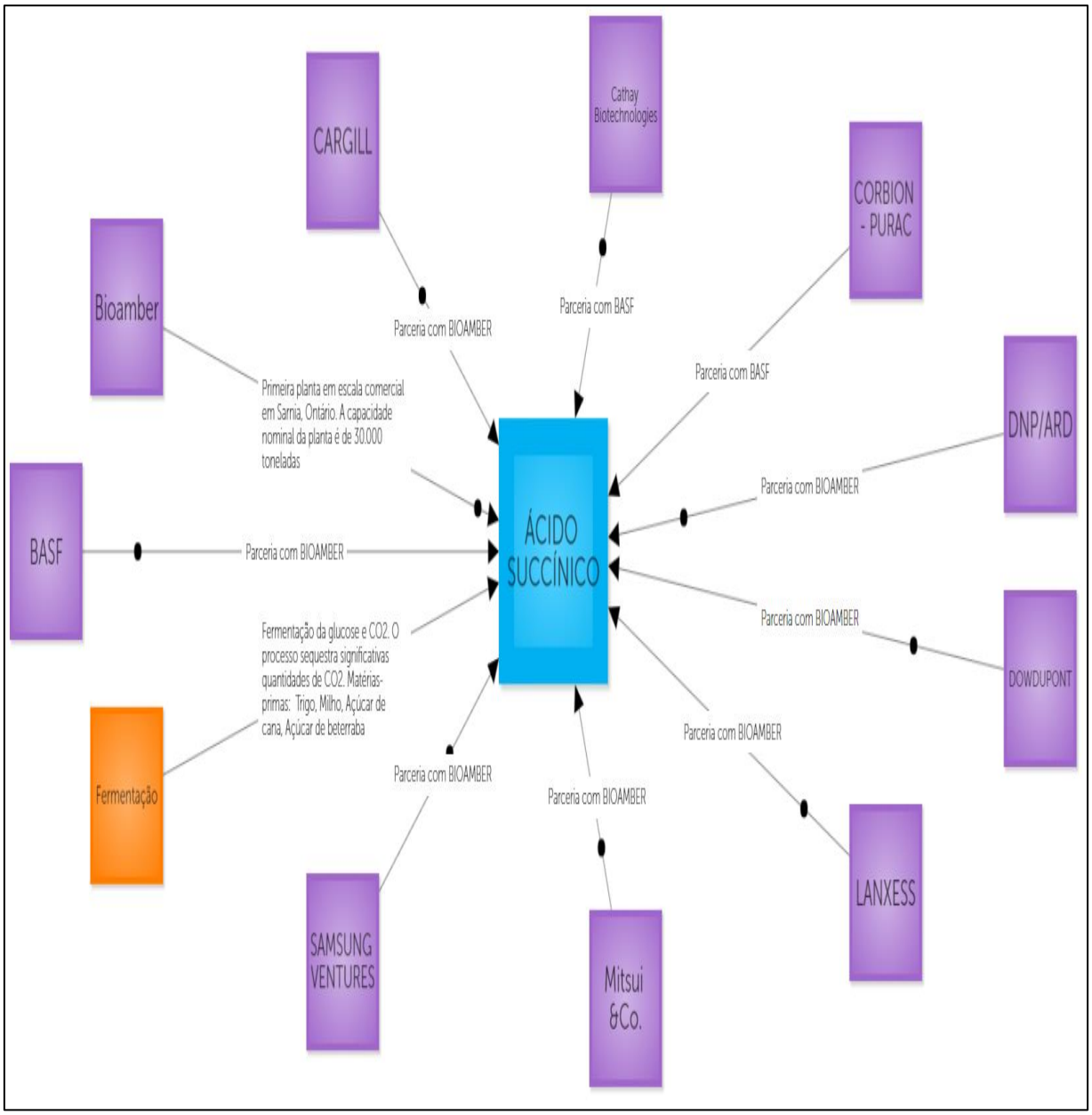
cuidados pessoais (ingrediente de pastas de dentes para clareamento, intermediário para perfumes, removedor de odores de peixes, usado na preparação da vitamina A), aplicações industriais entre outras.

A Bioamber, uma joint venture entre a norte-americana DNP Green Technology e a Francesa ARD (Agro-industrie Recherches et Développements), produz ácido succínico renovável a partir de glicose derivada do trigo, desde dezembro de 2009. O processo da Reverdia utilizava leveduras e o processo da Myriant utilizava bactérias. A Purac e a Corbion Purac estabeleceram uma JV e criaram a empresa Succinity para a produção de ácido succínico.

O ácido succínico possui vantagens de custo, pois a sua tecnologia poderá trazer uma vantagem competitiva sobre todas as tecnologias existentes e criar a base para a sua diferenciação quando produzido a partir de matérias primas renováveis. Quanto à complexidade da tecnologia apenas uma etapa a ser desenvolvida para a obtenção do produto.

Deste modo, a depender da rota biotecnológica avaliada para o produto em questão pode-se ter a formação de muitos produtos intermediários, que pode acarretar em muitas etapas de processo, relacionados com conversão, separação, purificação, afetando diretamente a projeção do CAPEX para a referida tecnologia. O ácido succínico Renovável da Bioamber oferece maior pureza do que o ácido succínico derivado do petróleo, com a vantagem de consumir gás CO_2 no processo de produção, dando-lhe uma vantagem distinta sobre a rota petroquímica tradicional. Uma das melhores características desta tecnologia é de que o dióxido de carbono (CO_2), é necessário como um segundo substrato pelos microrganismos para a produção de ácido succínico. Consequentemente, além de produzir ácido succínico, este processo utiliza CO_2 para evitar os perigos de emissões excessivas de dióxido de carbono. Na Figura 4.11 estão representados os atores prospectados nesta tese para o ácido succínico, comentários sobre suas parcerias conforme pode ser representado no TRM obtido em programa SharpCloud.

Figura 4.11 - Representação gráfica dos atores prospectados para o produto ácido succínico, no Roadmap Tecnológico obtido em programa SharpCloud.



Fonte: Autoria própria.

O ácido fumárico, também é apontado como um dos bioprodutos promissores tanto pelo NREL (BOZELL, 2004) como pelo estudo do E4TECH (2018). Este ácido é comumente usado como conservante e acidulante em alimentos e bebidas, na produção de tintas de impressão e revestimentos, bem como na produção de papel, medicamentos, ração animal (5% do consumo mundial), agentes de limpeza, poliéster insaturado (19% do consumo mundial) e resinas alquídicas (11% do consumo mundial). Trata-se do equivalente químico do anidrido maleico e

pode ser usado como seu substituto. O segmento de alimentos e bebidas foi o maior usuário final de ácido fumárico em 2016, respondendo por 35% do consumo mundial. Pela rota petroquímica é produzido a partir do de benzeno ou de uma corrente do anidrido maleico derivada de n-butano. Pela rota bioquímica pode ser produzido por fermentação de açúcares C6. Os principais desenvolvedores de ácido fumárico de base biológica são DSM e Myriant.

O ácido glucárico tem aplicação direta como complexante de íons metálicos, inibidor de corrosão, acelerador da cura de concreto, agente anti-queratinizante (cosméticos), liberação controlada de agroquímicos e na substituição de fosfatos em detergentes. Este ácido não tem uma rota comercial de produção a partir de matérias-primas petroquímicas. A rota mais utilizada é a oxidação catalítica de carboidratos, produzindo produto de alto grau de pureza, sem necessidade de passar por processos de separação e purificação. Entretanto, rotas de produção do ácido glucárico diretamente a partir da biomassa ainda não apresentam um rendimento satisfatório, pois as diferentes composições e impurezas da matéria-prima favorecem a formação de subprodutos indesejáveis, geralmente outros ácidos do grupo dos aldáricos. Assim, existe a necessidade de desenvolvimento de catalisadores mais seletivos para aumento da conversão das hexoses em ácido glucárico sem formação destes ácidos aldáricos como subprodutos.

As empresas que estavam atuando em rotas biológicas para sua produção comercial eram: Rennovia (que encerrou suas atividades em 2018) e Rivertop Renewables (que está com suas atividades paralisadas em 2018). Ambos processos das duas empresas partiam de dextrose de milho, porém eram flexíveis quanto a outras hexoses como fontes de matéria prima e estavam sendo otimizados para uso direto de biomassa. O processo proposto pela Rennovia era em dois passos: conversão química por oxidação da glucose para ácido glucárico e depois para ácido adípico, permitindo esta versatilidade do processo para produzir o ácido desejado de acordo com a demanda e os preços do mercado. A Rennovia foi fundada em 2009 e seu time era destacado como diferenciado pois era composto por profissionais com larga experiência em química, pesquisa e desenvolvimento e como executivos. Entretanto, a empresa teve dificuldades em seu processo de escalonamento para produção comercial. A Rivertop Renewables (Missoula, Montana, USA) possuia um processo para produção de ácidos aldáricos puramente químico, não envolvendo qualquer etapa de fermentação ou biotransformação. A tecnologia podia ser aplicada para qualquer tipo de carbohidrato e consistia em uma oxidação controlada da pentose ou hexose na presença de ácido nítrico, realizada em um reator fechado.

Embora um dos ácidos orgânicos elencados pelo NREL e pelo E4TECH, o ácido málico renovável tem despertado menos interesse do que o ácido succínico. O ácido málico é usado

como intensificador de sabor na indústria alimentícia. O ácido málico de base biológica pode ser sintetizado a partir de espécies de fungos em vinhaça ou pode ser um co-produto da produção de etanol à base de milho. A empresa Microbes está desenvolvendo uma rota a partir de CO2 e gás natural.

O consumo de ácido itacônico abrange vários setores, incluindo joias artificiais, lentes especiais, pesticidas, aditivos de plástico, aglutinador dental, removedor de ferrugem de caldeira, plásticos (polímeros derivados do ácido itacônico), borracha sintética e fibras químicas, entre outros. Oportunidades de mercado para este ácido sob a forma de novas áreas de aplicação estão sendo desenvolvidas, principalmente para aplicações biomédicas, tais como, liberação controlada de drogas, odontologia, oftalmologia etc (GLOBAL, 2011). Entretanto, embora o ácido itacônico seja reconhecido como uma importante matéria-prima na Indústria Química, ainda é um nicho de mercado em muitas economias. A produção de ácido itacônico é limitada a apenas alguns países, devido ao elevado custo da sua produção a partir do petróleo. O custo do ácido itacônico é significativamente influenciado pelos preços do petróleo em vigor. Dessa forma, apesar do enorme potencial para o ácido itacônico como uma plataforma química, o seu uso é limitado justamente devido ao fato de seu preço ser significativamente maior em comparação com outros produtos químicos à base de petróleo.

Atualmente, a produção deste ácido orgânico é restrita principalmente a um número limitado países como a China, Estados Unidos, Japão e Rússia, resultando na produção global é muito menor do que a demanda real (GLOBAL, 2011). Nesta perspectiva, a produção de ácido itacônico a partir de matéria-prima de base biológica vem gerando grande interesse na indústria de produtos químicos. O mercado recebeu um grande impulso após o Departamento de Energia (DOE) ter publicado um documento, que identificou 12 substâncias químicas, incluindo ácido itacônico e seus derivados, que podem ser fabricados a partir de açúcares, principalmente por meio da fermentação microbiana. A produção de ácido itacônico bioderivado envolve o uso de matérias-primas renováveis e bio-refinarias. A produção de ácido itacônico a partir de fonte renovável deve substituir 5% do mercado total do produto obtido a partir de petróleo nos Estados Unidos até 2025, conforme estudo publicado pela Global Industry Analysts, Inc. em 2011 (GLOBAL, 2011). Segundo este estudo ainda a China e a região da Ásia-Pacífico deverão emergir como o mercado que mais cresce para o ácido itacônico com taxa de crescimento anual projetada de 9% para 2017. A China era anteriormente um grande importador de ácido itacônico, mas atualmente é um dos principais produtores do mundo, ficando atrás de perto da Rússia, do Japão e dos EUA. Participantes do mercado chave para o ácido itacônico incluem empresas tais

como: Chengdu Sorte Biologia Engenharia Industry Co., Ltd, Itaconix LLC, Nanjing Huajin Biologicals Co., Ltd., Qingdao Langyatai Group Co., Ltd., Ronas Chemicals Ind. Co., Ltd, Shandong Kaison Biochemical Co., Ltd, Shandong Zhongshun Science & Technology Development Co., Ltd, Spectrum Química e Laboratório de produtos, Inc e Zhejiang Guoguang Bioquímica Co., Ltd.

Devido ao dilema de produtos de substituição direta ou novos produtos, a situação atual dos ácidos orgânicos é de estagnação em busca de aumentar a capacidade produtiva a partir do aumento de demanda para justificar aumento de capacidade produtiva.

4.2 Estratégias promissoras e elementos relevantes no cenário de renováveis

4.2.1 Elementos relevantes para academia, empresas, governos e sociedade no cenário de renováveis

O processo de prospecção permitiu o reconhecimento de elementos relevantes e estratégias promissoras no cenário de renováveis envolvendo as principais dimensões em seu entorno e com foco nas ações dos atores envolvidos: academia, empresas, governos e sociedade e temas relevantes: matéria-prima, tecnologias. Ficou evidente que o apoio coordenado de todos estes atores representou um importante movimento para a evolução do cenário de renováveis no período avaliado de 2012 a 2018. Assim, neste capítulo serão destacados e analisados os elementos relevantes relacionados com os diferentes atores e temas envolvidos na área de renováveis:

a) Academia

Em relação à análise do cenário de renováveis para a área da ciência, observou-se que grandes esforços foram e continuam sendo desenvolvidos por parte da academia no sentido de viabilizar a produção de energia, na identificação de rotas tecnicamente viáveis e no desenvolvimento de rotas competitivas para a produção de produtos bioderivados a partir de tecnologias limpas, com reduzidos impactos ambientais, aumentando a produtividade de biomassas e a adaptação de culturas a condições de terra e clima específico. A academia seguiu firmemente lado a lado das empresas nesta corrida tecnológica e importantes parcerias foram estabelecidas entre estes atores. Existiam esforços no uso da biotecnologia, da biologia sintética,

da engenharia genética, novas rotas metabólicas, novas rotas para transformações químicas catalíticas e de engenharia de processos.

Uma oportunidade de melhoria sinalizada em recém estudo conduzido pelo DOE seria conectar pesquisadores em áreas relevantes globalmente visando maximizar a comunicação e minimizar esforços redundantes. Assim, um movimento recente de cooperação foi realizado pelo Escritório de Tecnologias de Bioenergia do DOE (Bioenergy Technologies Office (BETO) at DOE) que publicou em junho de 2017 os resultados de um workshop sobre produtos químicos de base biológica de alto desempenho realizado em Denver no Colorado em junho de 2017. O estudo apontou estratégias para direcionar pesquisas futuras nesta área com a participação de 90 profissionais divididos entre: academia (17%), governo (18%), indústria (43%), instituições de pesquisa (17%) e outros (5%).

Este trabalho veio em resposta à solicitação da comunidade para a atualização do estudo publicado em 2004 sobre os doze blocos de construção apontados como mais promissores (BOZELL, 2004). Além disso, como resultado importantes temas da cooperação acadêmica visando maximizar a comunicação e minimizar esforços redundantes, bem como, novos elementos de financiamento de pesquisas foram apontados tais como: financiar pesquisas em estágio inicial para identificar o desempenho desejado de produtos de base biológica vantajosos, novas rotas, avaliações de mercado, modelos computacionais, avaliação de propriedades físicas e químicas para diferentes aplicações finais, entre outros aspectos (DOE-EERE, 2018).

Importante ressaltar que pesquisadores renomados, com produção científica (artigos e patentes) na utilização de biomassa para a produção de energia e de químicos e outros importantes estudos em biotecnologia e biologia sintética, aventuraram-se na criação de empresas start-ups e spin offs a partir de suas linhas de pesquisas básicas em renomadas Universidades. Estes profissionais traziam consigo profundos conhecimentos teóricos e essenciais para o momento da validação de tecnologias de conversão da biomassa.

Especificamente em relação às *startups e spin-offs*, observa-se este fato bem interessante relacionado ao surgimento destas novas empresas provenientes de grupos de pesquisa de universidades, que ousam de forma eficiente, alinhar as suas competências tecnológicas e a execução de negócios dentro do cenário destas tecnologias emergentes (KERSH, 2013). Este importante movimento foi inclusive muito valorizado na corrida tecnológica porque uma das forças destas empresas era justamente seu time de especialistas e as empresas anunciavam este fato como uma vantagem competitiva.

Nesta linha, a título de exemplo, destacam-se as empresas startups americanas Solazyme, Amyris, Mascoma, Segetis, Genomatica Midori Renewables, Reluceo, entre outras. O caso da empresa Amyris, fundada em 2003, retratava sobre as empresas startuos, pois a empresa teve todo o seu processos tecnológico iniciado com pesquisa básica no Departamento de Engenharia Química e Bioengenharia da Universidade da Califórnia, em Berkeley, pelo professor Jay Keasling, sócio-fundador da empresa com outros três pesquisadores de pós-doutorado da mesma universidade, Neil Renninger, atual diretor de tecnologia, e Kinkead Reiling e Jack Newman, vice-presidentes (OLIVEIRA, 2008).

Assim, as empresas nascentes de base tecnológica foram muito atuantes no cenário de renováveis e sem dúvida essenciais para o desenvolvimento desta nova rota de produção a partir de matérias-primas renováveis.

Do lado interação da academia com as empresas ligadas ao agronegócio, o foco estava relacionado com a tecnologia agrícola buscando o aproveitamento cada vez melhor das áreas plantadas e o aprimoramento genético levando a aumentos significativos no conteúdo relevante que se desejava extrair. O caso da Granbio com a cana-energia (cana-Vertiz ®) exemplificaria adequadamente este movimento observado no cenário de renováveis. A cana-energia é uma cana-de-açúcar geneticamente modificada mais robusta, com maior teor de fibra e potencial produtivo para a fabricação de biocombustível e bioquímicos de segunda geração e para geração e/ou cogeração de energia renovável; além de aumentar a produtividade por hectare e da possibilidade de ser cultivada em áreas com baixa aptidão agrícola, como as áreas de pastagens degradadas (GRANBIO, 2018).

b) Governo

Do lado do governo, a resposta foi dada por meio de aumento da legislação, criação de normas ambientais, programas e diretrizes no horizonte temporal, incentivo ao desenvolvimento de tecnologias limpas e do uso de matérias-primas renováveis. Observou-se importantes ações coordenadas de governos de forma a estabelecer políticas públicas em sintonia com as estratégias empresariais.

Inegavelmente, os governos dos USA e da EU foram os que mais investiram em programas para a área de renováveis.

Entretanto, nos últimos anos programas governamentais diminuíram significativamente em número e em volume de recursos financeiros aportados para o cenário de renováveis.

Destacou-se a importância da atuação do governo em requisitos regulatórios como a taxação de carbono no desenvolvimento de produtos de base renovável, em busca de uma sociedade neutra em carbono.

Como biomassa para energia e biomassa para químicos são temas que caminham juntos deve continuar o processo de transição para energia renovável.

A quota de energias renováveis deve aumentar de forma constante, bem como, os projetos de energias alternativas e estratégias de economia verde apoiados por governos e sociedade.

c) Matéria-prima

Sobre a dimensão relacionada à matéria-prima, pareceu ser elemento de consenso mundial que o uso de matérias primas renováveis na produção de energia e produtos vai ao encontro das preocupações com o meio ambiente. Assim, questões chave identificadas passaram intrinsecamente pela competição com alimentos, fatores logísticos, disponibilidade da biomassa vegetal e, principalmente, da concorrência entre os preços da biomassa e do petróleo, neste caso a pergunta central seria quando a biomassa se tornará competitiva com o óleo cru. Para esta dimensão destacou-se a busca pela integração das instalações industriais com as áreas de cultivo, visando reduzir custos de transporte e impacto ambiental, conforme comentado no capítulo 4.1.1, sobre o etanol celulósico, a título de exemplo.

d) Tecnologias

Para a dimensão relacionada às tecnologias de conversão destacaram-se os desafios atrelados à diversificação tecnológica e às fases de validação, comprovação e escalonamento até produção comercial, conforme discutido no item 4.1, exemplificando-se com o caso do etanol celulósico. As empresas químicas buscaram contornar e enfrentar os desafios de adaptação de novas tecnologias de conversão de biomassa vegetal às suas tecnologias químicas tradicionais. Focaram no aproveitamento dos ativos existentes como forma de reduzir os custos de produção (OPEX e CAPEX) e tornar o processo competitivo. O compartilhamento das utilidades também foi um importante movimento estratégico adotado no intuito de reduzir os custos de produção. Como exemplo, o caso Bioamber e a Lanxess com a produção de ácido succínico em Sarnia.

A busca por processos específicos para a conversão de biomassa em biocombustíveis e produtos químicos acabou levando à existência de uma enorme diversidade e quantidade de tecnologias alternativas propostas. Esta diversidade sugeriu que não foram definidos os processos e produtos mais promissores a serem adotados. Além disso, estas diversas tecnologias permaneceram em processo contínuo de validação e comprovação de suas viabilidades técnicas, econômicas e da possibilidade de escalonamento para produção comercial. A partir da análise do cenário de renováveis realizada foi possível inferir-se que esta validação das tecnologias ainda deve perdurar para os próximos anos.

O rendimento dos produtos químicos renováveis é um fator muito significativo para a sua competitividade quando comparado com os pares petroquímicos. O custo por tonelada dos produtos químicos renováveis é o maior problema para os novos empreendimentos em biotecnologia.

Em termos de custos de produção, a grande vantagem da biomassa ainda poderia ser a vasta quantidade de moléculas de oxigênio em sua estrutura, que reduziria o número de etapas para a produção de produtos químicos com funções oxigenadas, como: aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, éteres, os fenóis e os álcoois. Isto devido ao fato de que o petróleo não tem a molécula de oxigênio em sua estrutura e qualquer esforço para produzir produtos oxigenados, envolveria pelo menos os custos de uma etapa adicional no processo necessária para a adição de oxigênio. Entretanto, os custos variáveis dos processos baseados em biotecnologia ainda são mais elevados.

Como resultado da análise do cenário de renováveis, realizada nesta tese, pode-se inferir que embora muitas alternativas tecnológicas tenham falhado no passado, tanto por aspectos efetivamente técnicos como por competitividade frente aos preços do petróleo, acredita-se que isto pode ser mudado a medida que alterações nas atuais tecnologias em competição, o desenvolvimento de novos catalisadores bifuncionais e até mesmo novas plataformas tecnológicas baseadas em biologia sintética aplicada a plantas e na conversão de biomassa sejam capazes de tornar tais rotas mais competitivas. Além disso, o aumento da competitividade das tecnologias também depende de rotas que possam garantir maiores rendimentos, que permitam baratear os processos, diminuir o número de etapas de produção, reduzir os custos de produção, diminuir o consumo de energia, consumo de água, que permitam uma maior remoção de CO_2, entre outros pontos.

e) Produto

A dimensão relacionada a produtos, incluindo mercado, apresenta questões atreladas com diversos aspectos, entre eles:

e.1) necessidade de desenvolvimento de produtos e mercados com atributos sustentáveis;

e.2) risco do investimento na produção de produtos de alto custo que não fossem reconhecidos pelos consumidores como intrinsecamente verdes;

e.3) problemas de rentabilidade;

e.4) escolha pela produção de produtos 100% bioderivados e/ou produtos parcialmente bioderivados;

e.5) escolha pela produção de produtos substitutos diretos sem necessidade de qualquer adaptação para seu uso pela cadeia de valor a jusante (produtos *drop-in*) ou a escolha por produtos com características funcionais específicas (produtos *non drop-in*) e que necessitam de desenvolvimento de mercado e de aplicações (CEFIC, 2013) (DOE-EERE, 2018);

e.6) posicionamento de preços para os produtos verdes;

e.7) acesso a dados de mercado confiáveis (nova Institut-GmbH, 2013);

e.8) produção de especialidades, química fina ou *commodities*;

e.9) produção de produtos intermediários químicos até produtos finais, ou produção até intermediários químicos com contratos de garantia de venda das futuras produções a fim de garantir um mercado (*offtake agreement*);

e.10) o constante dilema entre mercado desenvolvido ou disponibilidade de produto em plantas com alta capacidade produtiva e custos fixos reduzidos, ou seja, o que vem primeiro mercado ou a disponibilidade do produto.

Para esta dimensão produto e por meio do processo de prospecção desenvolvido, acredita-se que para chegar na real transição da matéria-prima fóssil para a matéria-prima renovável, a competitividade deve ser do produto bioderivado final. Dessa forma, produtos de origem renovável precisariam necessariamente ser competitivos, pois do contrário não entrarão no eixo de produção paralelo ao petroquímico, visando sua substituição parcial ou completa.

Assim, produtos de base renovável de substituição direta (*drop-in*) terão mais chance de se tornarem *commodities*, serem competitivos e, portanto, maior sucesso na transição do uso de fontes fósseis para fontes renováveis. A produção de *commodities* deve ser o foco para garantir escalabilidade dos produtos bioderivados, visando redução do custo variável com o aumento do volume de produção e visando atingir mercados de maior volume e que possuem a sua demanda de mercado em crescimento. Uma vez que os produtos *commodities* compreendem aqueles de grande volume, de menor valor adicionado, adquiridos por uma especificação definida, a

competição é baseada apenas no custo do produto para o usuário, ou seja, seu preço final. Este preço pode até ser reduzido à medida que o mercado aumenta e que aumenta a capacidade produtiva da planta, devido à redução de OPEX e do custo variável CAPEX. Esta transição pode levar algum tempo como exemplo o caso do Polipropileno e do Polietileno petroquímicos que desde sua descoberta levaram de 60 a 70 anos para atingirem de 90 a 100 milhões de toneladas métricas de produção global.

As especialidades químicas, por sua vez envolvem normalmente volumes menores, possuem maior valor adicionado e sua competição passa a ser definida em um balanço custo benefício para o usuário final. Atualmente, os produtos renováveis enfrentam o problema de ficarem presos em nichos de mercado, ou seja, pequenos mercados com altas margens, muito motivadas pelos nichos de mercado de segmentação comportamental, ou seja, mercados que se valem dos hábitos de consumo, comportamentos e uso ou resposta a um produto devido ao apelo de sustentabilidade e a maior conscientização do consumidor.

Os produtos ditos *drop in*, que são aqueles que encontram correspondência direta com o similar já consolidado no mercado de origem petroquímica, tem uma vantagem inerente, pois eles não requerem qualquer trabalho adicional na cadeia produtiva já existente e sua difusão segue as mesmas bases de competição, independentemente de serem produtos intermediários ou finais, *commodities*, química fina ou especialidades. Estes terão maior garantia de sucesso, pois não necessitam de desenvolvimento de mercado comparados aos produtos ditos não *drop in* que constituem produtos novos que, por sua vez, exigirão algum tipo de alteração no processo de utilização por parte do usuário final (desenvolvimento de aplicação). Entretanto, se ambos produtos não apresentarem preços competitivos nunca chegarão a ser uma commoditie e serão direcionados para mercados específicos (nichos de mercado).

A título de exemplo pode-se citar o polietileno verde da empresa Braskem, hoje um biopolímero *drop in*, que foi direcionado para aplicações como especialidades onde pode ser vendido com prêmio e não impacta o produto final naquele segmento. A BRASKEM desenvolveu uma estratégia baseada no fato de que adquire um produto commoditie no mercado –o etanol, e por meio de processo de desidratação produz um produto intermediário (em inglês *building block*), o eteno (grau polímero), sendo assim, a empresa hoje comercializa tanto o eteno verde (usado como exemplo na produção de EPDM, um terpolímero da Arlanxeo) como o polietileno 100% verde. Entretanto, o polímero de base renovável não apresenta competitividade em relação ao polietileno petroquímico e por esta razão foi direcionado para aplicações em nichos de mercado. O mesmo fato ocorreu para o eteno verde e outros derivados.

Os produtos não *drop in* enfrentaram e ainda enfrentarão desafios ainda maiores devido ao alto esforço para sua introdução no mercado que, por sua vez, deveriam viabilizar ou não novos projetos de aumento de capacidades e de redução de seu preço final. Quanto maior a capacidade da planta, o custo do produto final vai diminuindo, entretanto, este paradigma da redução do preço em função do mercado é uma questão de difícil endereçamento para produtos novos derivados da biomassa.

Deste modo, para os produtos não *drop in*, como intermediários químicos, deve ser realizada uma análise mais cuidadosa para entender como a cadeia evoluirá até o produto final correspondente, como exemplo o caso do ácido levulínico, este produto enfrenta o dilema de levar um tempo maior para chegar a níveis de demanda de mercados mais satisfatórios. Também, esta análise explica porque o biopolímeros PLA e PHA não conseguem uma penetração maior no mercado, além de propriedades inferiores. Com custo de produção elevado, sua penetração inicial baseou-se na biodegradabilidade. Hoje a sociedade começa a reduzir a importância desta propriedade o que deve levar a uma maior dificuldade na continuidade de sua difusão pelo mercado.

Dessa forma, do ponto de vista do consumidor final observou-se certa sensibilização na adoção de hábitos de consumo mais sustentáveis, embora ainda ocorra de forma lenta e com maior ênfase em países desenvolvidos, como na UE principalmente nos segmentos de embalagem (frascos) e em aplicações técnicas incluindo automobilística, bens de consumo, agricultura. Os consumidores estão se tornando mais exigentes e buscam cada vez mais por uma estratégia de comunicação clara sobre a proposição de valor dos produtos de base renovável, a sua relação com os aspectos sobre sustentabilidade, seus atributos verdes, bem como, seu desempenho.

f) Modelos de negócios e parcerias

Para a dimensão relacionada aos modelos de negócio e estratégias tecnológicas dos atores, principalmente das empresas destacaram-se os desafios no que concerne à criação de uma nova cadeia de valor e todos os seus delineamentos. As empresas de grande porte tipicamente do ramo químico, com suas indústrias baseadas em recursos fósseis, observaram intensamente os movimentos na área de renováveis desde os anos 2000 e realizaram diversas ações no setor como:

f.1) desenvolvimento de produtos bioderivados aproveitando a infraestrutura existente, visando aumentar a velocidade de comercialização e, principalmente, reduzir os custos com despesas de capital e custos operacionais (DE JONG, 2012);

f.2) ações em pesquisa e desenvolvimento;

f.3) parcerias na cadeia de valor;

f.4) investimentos em novas plantas industriais.

Assim sendo, observou-se a efetiva atuação de um número crescente de grandes empresas com foco na produção de produtos renováveis como exemplos: DuPont, BASF, BP, Total, DSM, ADM, Mitsubishi Chemical, Mitsui, PTT PCL, Shell, Lanxess, Bunge, Roquette, UPM, Cargil, UOP, entre outras. Também foi identificada a intensa participação de empresas detentoras de grandes marcas com foco no uso de produtos com apelo para a sustentabilidade: Sephora, Unilever, Coca-Cola, Pepsi, Michelin, Nike, Natura, Pirelli, Evonik, Heinz, P&G, Ford, Toyota.

Ademais, surgiram atuantes empresas *startups e spin-offs*, tendo como fundadores pesquisadores com expressiva produção científica em renováveis e membros importantes da comunidade acadêmica (exemplos: Genomatica, Renmatix, Metabolic Explorer, Midori Renewables, Avantium, Rivertop, Segetis e outras).

Empresas do setor florestal por vocação já utilizam a biomassa em seus processos e produtos e por isso devem ser as empresas mais promissoras na área de renováveis. Assim, especificamente para empresas do setor florestal, principalmente as indústrias de papel e celulose, foi observado no processo de prospecção que elas caminham com constância e evolução em busca de produtos de base biológica diversificados, com maior valor agregado e alinhadas, principalmente, com segmentos que atendam a consumidores com maior consciência ambiental. Os atores do setor florestal seguem desenvolvendo novos produtos baseados em sua capacidade de inovação, tais como: Stora Enso, UPM, Billerudkornas, Borregard, Fibria, Domtar, International Paper, Klabin, Suzano Papel e Celulose, WestRock, entre outras.

Entretanto, nenhuma renovação estratégica ocorrerá neste âmbito se a indústria do setor florestal continuar sua trajetória de investimento incremental e visão de curto prazo, com foco estratégico na melhoria da eficiência de custos, principalmente, por se tratar de indústria intensiva em capital, madura e operando em mercados globais com alta volatilidade de preços. Assim neste sentido, existe a necessidade de se intensificar sua capacidade de gestão para identificar as oportunidades a longo prazo visando manter a competitividade global no futuro (TOPPINENA, 2017).

No Brasil, o setor florestal aparentemente tem muito mais condições de entrar na área de renováveis, produzindo químicos a partir de biomassa, quando comparado ao setor de cana de açúcar o qual também é considerado como biorrefinaria.

Foram identificadas uma grande diversidade de modelos de parcerias e cooperação e diversas formas de operação com estes modelos, incluindo forte interação no início e no final da

cadeia produtiva. Todas estas empresas buscavam estabelecer diferentes modelos de negócios/atuação, como parcerias estratégicas visando agregação de suas diferentes competências tecnológicas e habilidades na cadeia de valor, para dar suporte às novas oportunidades tecnológicas a que se propunham neste novo cenário. Assim, se estabeleceram parcerias por meio de fusões, aquisições, associação de diferentes vocações e experiências, alianças estratégicas, acordos de parcerias e outras formas de cooperação mútua na cadeia de valor à montante e à jusante.

Dessa forma, pretendiam buscar complementaridades, demanda para seus produtos, associação de diferentes vocações e experiências, agregação de suas diferentes competências tecnológicas e habilidades na cadeia de valor, para dar suporte às novas oportunidades tecnológicas a que se propunham no cenário de renováveis. Podem ser considerados fatores de diferenciação do negócio as vantagens relacionadas às tecnologias, aos modelos de gestão de negócios adotados, aos arranjos empresariais que se desenvolveram, às estratégias de posicionamento de produtos no mercado consumidor, à integração na cadeia, ao acesso à biomassa vegetal (grãos e culturas lignocelulósicas), às estratégias de entrada e de crescimento, entre outros fatores.

O sucesso comercial de alguns produtos bioderivados muitas vezes foi atribuído ao resultado do estabelecimento destas parcerias entre atores com diferentes vocações, para assim agregar suas diferentes competências tecnológicas e habilidades na cadeia de valor. Como exemplo, o ácido succínico para a dimensão produto e como exemplo para a dimensão atores, a empresa Novozymes. Assim, formaram-se grandes redes de cooperação em seu entorno por se tratar de uma empresa líder em tecnologia de enzimas para a etapa de hidrólise enzimática e posterior processo de fermentação.

A Novozymes estabeleceu parcerias com muitas empresas em etanol de segunda geração como: POET/DSM, FiberRight, BetaRenewables, Terranol, DuPont, Petrobras, NREL, entre outras. Da mesma forma, observou-se outra rede cooperação em torno de empresas que atuavam no desenvolvimento de leveduras modificadas geneticamente para o processo de fermentação de açúcares a etanol, tendo como exemplo: DSM, DYADIC, Clariant, Universidade de Purdue, entre outras.

A maioria das empresas depositantes de patentes em etanol de segunda geração, no período de 1991 a 2011, foram empresas como estas que atuavam em desenvolvimento de enzimas e leveduras. O desafio tecnológico neste campo estava relacionado com a sua eficiência, resistência e redução de preço. O custo das enzimas necessárias para gerar os açúcares das

hexoses (seis carbonos originários da celulose) como pentoses (açúcares de cinco carbonos provenientes da hidrólise da hemicelulose) ainda são considerados muito elevados e constituem um dos desafios apresentados na Figura 4.5 do capítulo 4.1.1.

O método estabelecido permitiu a análise de que a grande maioria das parcerias identificadas e monitoradas na área de renováveis, foram estabelecidas entre os anos de 2008 a 2012, exatamente no período de maior flutuação dos preços de petróleo, ou seja, claramente este fator foi um dos motivadores para a corrida tecnológica que se instaurou no período. A natureza das parcerias variava em torno de diferentes formas de cooperação tais como:

a) parcerias com foco em tecnologia:

   a.1) acordos para desenvolvimento conjunto (em inglês JDA- *Joint Development Agreement*);

   a.2) acordos de licenciamento de tecnologias com atores de ambos os lados - licenciado e licenciador (exemplo: a estratégia da American Process e da Beta Renewables com a GranBio como licenciado;

   a.3) acordos para o desenvolvimento de projetos de engenharia (exemplo: as empresas do setor florestal e de etanol de segunda geração com a empresa Metso, especializada em projetos de engenharia);

   a.4) acesso à propriedade intelectual;

   a.5) acordos com fornecedores de tecnologia de processamento da biomassa.

b) parcerias com foco em mercado

   b.1) cliente final chave, garantindo a demanda dos produtos com foco em sustentabilidade da marca.

   b.2) proprietários de grandes marcas.

   b.3) acesso a mercado por meio de canais de distribuição na cadeia de valor.

c) parcerias com foco em acesso a biomassa e para integração com a matéria-prima: agricultores, fornecedores de matérias-primas, produtores locais.

d) parcerias com foco em aspectos econômicos: investidor, distribuidor, aporte de recursos financeiros para viabilizar o escalonamento da produção (exemplo: Rivertop que recebeu aporte da Cargill em 2014)

Em geral, observou-se um nível de integração na cadeia de valor bastante elevado, a exemplo do que ocorria na estrutura industrial da petroquímica, devido à existência de economias de escala tanto ao nível da produção comercial como nos aspectos de mercado e demanda dos seus produtos renováveis. A necessidade de suprimento de matéria-prima renovável de maneira estável e com custos mais reduzidos favoreceu a integração na cadeia para trás.

A instalação das unidades fabris próximas aos locais de produção agrícola, visando redução de custos de transporte e reduzindo o impacto ambiental também foi um elemento comum na forma de atuação dos atores.

Da mesma forma, a estrutura industrial baseada em recursos obtidos a partir de fontes renováveis apresenta a necessidade de garantia a um acesso preferencial ao fornecimento e suprimento de matéria-prima de maneira estável e com custos mais reduzidos favorecendo a integração com as empresas que atuam no setor agrícola. Entretanto, a conquista por vantagens duradouras em cada uma das funções da cadeia se reforça e este cenário direciona a integração à jusante com os detentores das grandes marcas com o objetivo de garantir a demanda dos produtos com atributos verdes.

O período de 2008 a 2014 foi caracterizado por uma forte arrancada ao desenvolvimento e a comercialização de diversos produtos químicos bioderivados. Devido a alguns fatores como: fortes incentivos governamentais tanto europeu como americano, a grande flutuação dos preços de óleo cru, aos altos valores do petróleo em 2008 (USD130 até USD150 por barril) e a uma projeção de cenário com preços de petróleo elevados em níveis nunca vistos antes e que se prolongou por um período considerável.

Desde o final de 2014 o setor vem se reestruturando devido à baixa no preço do petróleo. A estratégia e os projetos para o desenvolvimento e a comercialização de produtos químicos bioderivados *commodities* foram reavaliados, cancelados ou postergados pelos principais atores do sistema. Como exemplo importante para o setor sucroenergético brasileiro cita-se o caso ocorrido em janeiro de 2013, quando a trading japonesa Mitsui & Co. Ltd., de Tóquio, abandonou o projeto de cerca de USD 1,5 bilhão para a construção de uma fábrica de plástico verde a partir da cana-de-açúcar no Brasil, na cidade de Santa Vitória (MG), após ter realizado uma *joint venture* com a petroquímica norte americana Dow Química no Brasil em 2011. Até julho de 2018 o projeto não foi reativado pelas empresas envolvidas. O foco era a produção de biopolímeros a partir de etanol de cana-de-açúcar voltado às indústrias de embalagens e produtos médicos e de higiene visando competir com a empresa Braskem com a planta de PE verde com capacidade de 200 kta no sul do Brasil.

Entretanto, com os preços do petróleo mantendo-se nos últimos anos em patamar abaixo de USD 70 (2015 a abril de 2018), o interesse por outros produtos químicos bioderivados, além dos *commodities*, se intensificou na busca por introduzir os novos blocos de construção em mercados especializados de maior valor agregado e menor volume. Evolução nos processos com a biologia sintética e o desenvolvimento de novas tecnologias com catalisadores estão sendo os fatores direcionadores para a evolução da entrada em escala comercial de novos blocos construtores com requisitos que os produtos de base petroquímica não conseguiram atingir com economia de custo e de forma mais sustentável.

4.2.2 A sustentabilidade e a Indústria Química no cenário de renováveis

Neste capítulo será apresentada a avaliação do cenário de renováveis por meio da análise da evolução do tema desenvolvimento sustentável de acordo com a flutuação dos preços do petróleo bruto na Europa e nos USA. Foram observadas importantes circunstâncias que direcionaram o cenário de renováveis e, assim, foi proposto neste estudo a compilação e análise dos dados em dois períodos de tempo: Período A – 1960 a 2006 e Período B – 2007 a 2018, com comportamentos distintos, conforme mostrado na Figura 4.12.

Os eventos relacionados com o tema sustentabilidade no cenário de renováveis foram classificados em quatro grupos e representados com código de cores conforme segue: a) Eventos relacionados à ações de empresas, na cor verde; b) Eventos técnicos globais, na cor cinza; c) Eventos relacionados aos aspectos econômicos, na cor laranja; d) Eventos relacionados às ações com repercussão global , como exemplo as reuniões ambientais com a participação de chefes de estados, na cor azul.

Analisando-se o período A (1960 a 2006), foi possível verificar que as ações coordenadas e não coordenadas realizadas foram pavimentando os caminhos críticos para a evolução do tema sustentabilidade no cenário de renováveis. A sustentabilidade e as preocupações com o meio ambiente surgiram com maior ênfase a partir do final dos anos 60. Em dezembro de 1970, um importante evento ocorreu com a criação da Agência de Proteção Ambiental dos USA (US EPA-*Environmental Protection Agency*), motivada pela elevada preocupação com a poluição ambiental e criada com a missão de consolidar atividades federais sobre pesquisa, monitoramento, normas e fiscalização para garantir a proteção ambiental (EPA, 2018).

Neste período, observou-se que o tema sustentabilidade percorreu seu processo inicial de consolidação e amadurecimento, em um momento no qual os preços do petróleo bruto

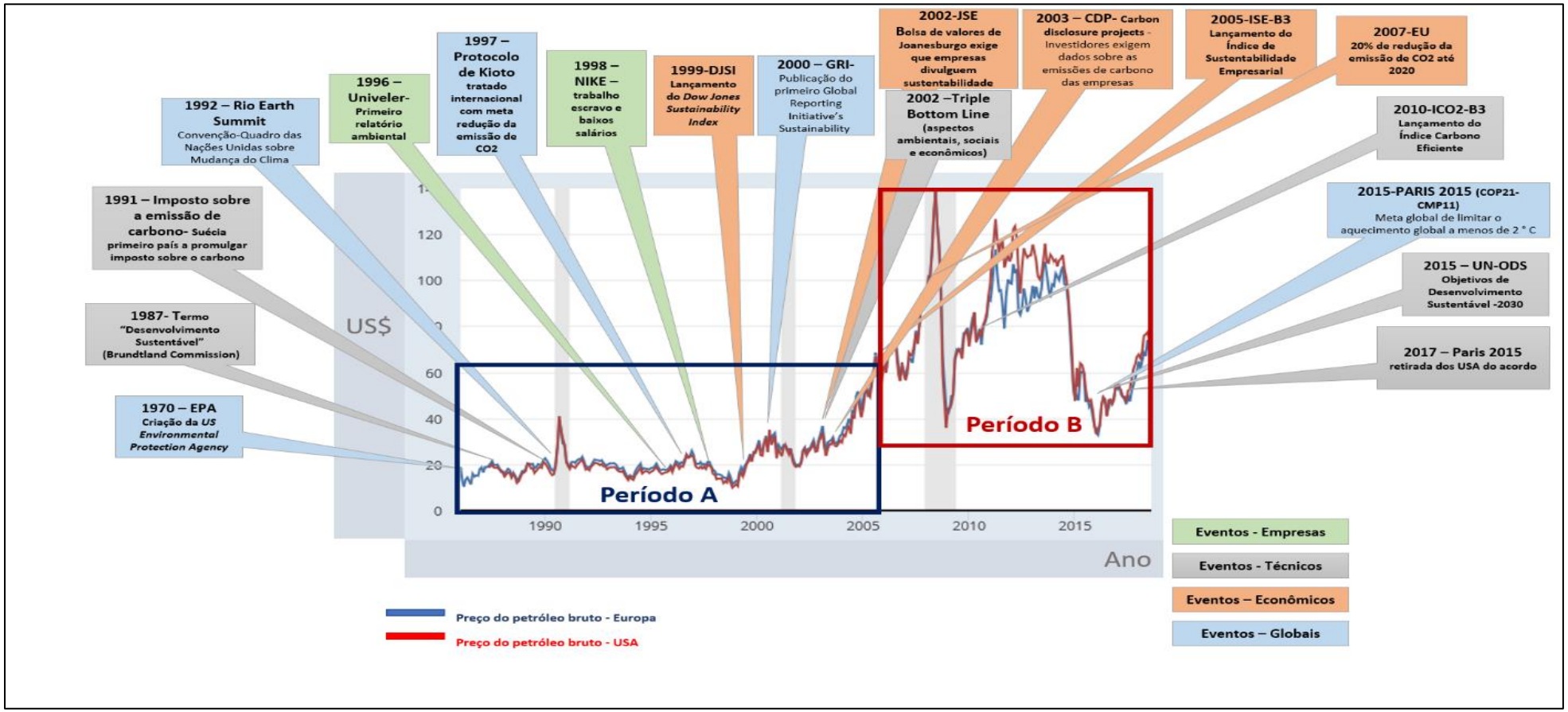
apresentavam menores flutuações, se mantendo em patamares mais baixos até 2004, na ordem de 15 a 40 dólares o barril, tanto na Europa como nos USA.

Conforme apresentado no capítulo 2.1, o termo desenvolvimento sustentável foi utilizado pela primeira vez em 1987 no relatório da Comissão de Brundtland (FEIL,2017; BRUNDTLAND, 1987). Em pouco tempo, o termo foi difundido, popularizou-se amplamente e alertou efetivamente a população mundial para o problema das mudanças climáticas. Algumas empresas como Unilever foram pioneiras na adoção de práticas de sustentabilidade. Outras empresas, como a Nike, sofreram sérias retaliações por atitudes contrárias ao tema, no momento em que se denunciaram práticas ilícitas referente ao trabalho escravo, longas jornadas e baixos salários.

Dessa forma, este período foi primordial para o aumento da consciência mundial frente a questões ambientais e sociais. Grande mobilização ocorreu em torno de importantes eventos globais, sobre o desenvolvimento sustentável, organizados pelas Nações Unidas, a partir de 1992.

O primeiro evento foi realizado neste ano no Rio de Janeiro e denominado: Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, mas também conhecido como Cúpula da Terra (em inglês, *Rio Earth Summit*). Este evento foi o marco inicial e motivou nova ação em 2012 (dez anos depois) com o novo evento com o objetivo de renovar o compromisso político com o desenvolvimento sustentável: a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), conhecida também como Rio+20.

Figura 4.12 – Correlação entre eventos durante a evolução do tema desenvolvimento sustentável e o histórico de preços do barril de óleo cru de 1986 a abril de 2018.



Fonte: Autoria própria a partir de ChemSystems (2012), BBC News Business (2018), B3 (2017) e Corporate Citizenship (2018).

Na linha do tempo, foi no ano de 1991 que ocorreu a primeira ação de um país, a Suécia, a promulgar o imposto sobre carbono. Este imposto sobre a emissão de carbono é cobrado sobre o teor de carbono liberado na forma de dióxido de carbono (CO_2), quando os combustíveis de hidrocarbonetos (carvão, petróleo e gás natural) são queimados. (CORPORATE CITIZENSHIP, 2018). Contudo, em 1997, mais de seis anos após esta pioneira iniciativa sueca, 121 países (incluindo o Brasil e o USA) assinaram um tratado internacional - o Protocolo de *Quioto* – que estabelecia metas globais para redução da emissão de CO_2 em 5,2%, na primeira fase do acordo, entre os anos de 2008 e 2012. Sobre este tema, sempre pairava uma dúvida se as metas modestas estabelecidas no Protocolo de Quioto seriam suficientes para conter o aquecimento global. De qualquer forma, esta meta inicial não foi nem atingida, pois em 2015 foi relatado que houve um aumento da emissão de gases em 16,2% entre os anos de 2005 e 2012.

Na COP18 (Catar, 2012) novas metas foram estabelecidas e planejadas para a implementação em 2020, em um novo tratado que substituiria totalmente o Protocolo de *Quioto.* Todavia apenas 23 países aderiram aos novos objetivos.

A COP 21 em Paris (2015) estabeleceu uma nova meta de limitar o aquecimento global a menos de 2°C (BRITANNICA ACADEMIC, 2018), sendo assinado por todos os 196 signatários da UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) que efetivamente substituiu o Protocolo de Quioto.

Os principais países emissores apontados sempre foram China, Índia e Estados Unidos. Entretanto, em 2017, o presidente Donald Trump anunciou a retirada dos USA do acordo de Paris contra a mudança climática, argumentando que: se ater a ele custaria à sua nação trilhões de dólares em empregos perdidos e que prejudicaria as indústrias norte-americanas, mas deixou a porta aberta para uma renegociação do pacto. O impacto desta atitude do segundo maior emissor global de gases de efeito estufa ainda não foi avaliada e a declaração da ONU era de que ela mantém esperanças de que o presidente dos Estados Unidos reconsidere (EXAME, 2018).

Por outro lado, empresas, como a Granbio, apostaram suas estratégias no fato de que na medida em que os países signatários do acordo climático de Paris se prepararem para cumprir suas metas de redução de emissão de Gases de Efeito Estufa, também deveriam avançar as regulamentações que favoreceriam os biocombustíveis, assim como programas que promoveriam a taxação sobre combustíveis fósseis. Em uma visão otimista, esta empresa acredita que estes fatores pareceriam estar criando um ambiente cada vez mais favorável para o desenvolvimento e superação dos problemas técnicos dos combustíveis verdes, visando alavancar seus negócios conforme discutido no capítulo 4.1.1 (GRANBIO, 2018).

Importante análise pode ser observada em relação aos eventos econômicos no período A, quando entrou no circuito benefícios econômicos para motivarem as empresas que se encontravam compelidas a mudar suas estratégias de negócios e padrões gerenciais para enfrentar os desafios decorrentes da sustentabilidade, conforme apresentado no capítulo 2.

Deste modo, em 1999, ocorreu movimento importante em relação ao retorno financeiro para as empresas sobre seus investimentos em desenvolvimento sustentável quando foi estabelecido o índice Dow Jones (DJSI). Este se tornou o primeiro índice de investimentos sustentáveis e uma importante ferramenta para investidores preocupados em alocar seus recursos de forma ética os apoiando na escolha de ações de empresas com responsabilidade social e ambiental (ZAGO, 2018).

Esta foi a primeira iniciativa de associação de benefícios econômicos para empresas com alta performance socioambiental, preocupadas com a preservação do planeta. A inclusão na lista do DJSI poderia trazer benefícios econômicos e estratégicos refletidos na valorização da empresa no mercado (ZAGO, 2018).

Na marcha para a evolução da sustentabilidade como meta para empresas, em 2002 a bolsa de valores de Joanesburgo passou a exigir que as empresas divulgassem seus resultados em sustentabilidade. Conjuntamente em 2002, foi estabelecido o conceito de *triple bottom line*, ou seja, o conceito da equidade dos aspectos ambientais, sociais e econômicos, como três pilares essenciais. Já em 2003, seguiram-se com as ações sobre a emissão global de gases de efeito estufa quando os investidores passaram a exigir dados sobre as emissões de carbono das empresas.

Assim sendo, cabe ressaltar que as ações realizadas no período A, criaram um caminho favorável incentivando movimentos efetivos no cenário de renováveis para o próximo período B (2006 a 2018) que, por sua vez, foi caracterizado como o de maior efervescência na área de renováveis, pois justamente ocorreu quando os preços do petróleo também apresentaram grandes flutuações e atingiram valores de 100 a 150 dólares o barril (2006 a 2014).

Neste segundo período, outro conjunto de importantes ações também foram realizadas como: novos índices como o ICO2 (Índice Carbono Eficiente, apresentado no capítulo 2), além do Acordo Climático de Paris em 2015 e o estabelecimento dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Assim, na análise proposta neste estudo sobre a avaliação dos movimentos com foco no tema sustentabilidade e sua correlação com a flutuação dos preços do petróleo, foi justamente em momento de queda dos preços do petróleo bruto (40 a 60 dólares o barril), em 2015, que as Nações Unidas novamente tomaram a liderança e em uma nova tentativa de reforçar o cenário de renováveis estabeleceram estes 17 Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável (ODS). O tema teve repercussão global e as empresas passaram a divulgar em seus relatórios de sustentabilidade suas ações relacionadas com cada um dos objetivos do ODS. Os relatórios anuais de sustentabilidade das empresas de capital aberto tomaram este modelo como uma forma de valorizar suas estratégias com foco em sustentabilidade e passaram a apresentar a correlação com estes objetivos e seus pilares estratégicos.

Foram nestes oito anos do período B, que surgiram diversas novas empresas de base biotecnológica. Conforme pode ser constado no processo de prospecção estabelecido e já comentado no item 4.2.1, foi importante ressaltar que as empresas nascentes de base biotecnológica, que surgiram na fase da corrida tecnológica e quando os preços do petróleo estavam em ascensão (2006 a 2014), apresentavam a composição do seu time como sua principal força e um atrativo para serem competitivas e vencedoras, dando espaço a um cenário de profunda interação academia e empresas.

O time destas empresas nascentes era composto, na maioria das vezes, por pesquisadores renomados das universidades que detinham conhecimento tecnológico em prova de conceito, escala laboratorial e até produção em escala piloto. Outra força prospectada continuamente e que entrava nas negociações eram seus robustos portfólios de patentes e a possibilidade de desenvolvimento de plataformas renováveis, ou seja, a obtenção de diversos produtos bioderivados em suas rotas tecnológicas.

Visando a consolidação das bioindústrias do futuro, especificamente, dentro do período B, os anos de 2008 a 2013 foram marcados pelos anúncios de significativos aportes de capital em renováveis, tanto por parte de governos como de empresas e de capital de risco, além de aquisições na busca pelo controle das melhores e novas tecnologias de processamento da biomassa vegetal como matéria-prima para diversos biocombustíveis e bioprodutos.

Estas empresas de grande porte tipicamente do ramo químico, com suas indústrias baseadas em recursos fósseis, estavam se movimentando em busca de:

a) direcionamento de seus esforços para os desafios do processamento da biomassa em grande escala (exemplo: Total);

b) adaptação aos processos biotecnológicos (exemplo: BASF);

c) complementaridades na cadeia de valor e acesso à tecnologia por meio de fusões/aquisições e outras formas de parcerias (exemplo: Total, BASF, DuPont, Braskem).

Além disso, foi observado que adquirir inovação por meio de fusões e aquisições tornou-se uma estratégia comum para que as empresas tivessem acesso às novas tecnologias que

pudessem trazer grandes transformações, competências complementares, melhorando sua atuação no cenário de renováveis. Contudo, embora parecesse ser uma boa estratégia para alcançar um crescimento firme e sucesso na inovação, vários estudos revelaram que a maioria das fusões e aquisições falharam devido a sinergia da cultura corporativa e a processos de integração malsucedidos destruindo valor do acionista no longo prazo (HAVEL, 2017) (DOE-EERE, 2018).

No caso do cenário de renováveis não foi diferente, pois houve relatos de dificuldades de interação entre as empresas nascentes de base biotecnológica, as chamadas startups, com as grandes corporações, sendo que, alguns elementos críticos desta relação puderam ser observados no processo de monitoramento sistemático desta tese, tais como:

a) conflito de interesses;

b) velocidade de atuação e de resposta frente aos estímulos de mercado;

c) dificuldades em mostrar claramente como a sua tecnologia se diferenciava dos competidores;

d) as incertezas do atingimento dos marcos técnicos nas diferentes fases dos processos de escalonamento (como exemplo os rendimentos teóricos nos processos de conversão da biomassa);

e) maturidade nos argumentos econômicos: análise financeira robusta, premissas, retorno do investimento;

f) financiar pesquisas em estágio inicial incluindo modelos computacionais, necessidade de avaliar as relações entre estrutura e função das moléculas de base biológica e outros pontos de conflito.

O período de 2014 a 2016 foi de concretização dos planos anunciados, nova postergação por parte das empresas envolvidas na produção de biocombustíveis, bioprodutos químicos e biopolímeros, bem como, novas fusões e aquisições de uma forma mais evoluída devido ao aumento da maturidade de todos os atores envolvidos no processamento da biomassa. A partir de 2014, o preço do petróleo caiu e veio mantendo-se entre 40 a 70 dólares o barril. Assim, a diminuição do preço de petróleo afetou diretamente as ações em renováveis e ficou evidente a estreita relação e forte expectativa sobre os preços do petróleo diretamente influentes na competitividade dos projetos do cenário de renováveis.

Da mesma forma, frente à uma nova realidade econômica neste período B, devido a falta de recursos financeiros e viabilidade econômica de seus planos de negócios com o preço do petróleo em níveis baixos, algumas das empresas de base tecnológica, outras empresas

envolvidas com as diversas fases de escalonamento desde laboratorial, planta piloto, planta demonstração até escala industrial, empresas em fase de validação de seus processos tecnológicos atingindo ou não as metas de produção e os rendimentos almejados, viram-se obrigada a recuar, vender seus ativos, desistir de seus projeto porque os recursos ficaram muito escassos. Algumas empresas de grande porte que estavam observando o cenário de renováveis, basicamente recuaram e reduziram significativamente os investimentos no setor.

Para o período de 2017 e 2018, foi observado que o cenário de renováveis apresentou uma maior característica de real amadurecimento, com menor número de atores. As empresas que se mantiveram firmes em suas propostas iniciais reforçaram suas ações e participação no mercado de renováveis, em busca de escalonamento e competitividade. Concomitantemente, continuam sendo observados movimentos de novas desistências de participação de importantes empresas na corrida tecnológica, alegando razões diversas, mas com indicação clara de suas dificuldades financeiras e de competitividade com os pares petroquímicos consolidados.

Algumas inferências podem ser apresentadas sobre o futuro do cenário de renováveis como resultado do intenso processo de prospecção e observação do tema estabelecido nesta tese.

Dessa forma, acredita-se que nos próximos anos o cenário de renováveis deverá ser ainda mais motivado pelas novas tendências globais e suas implicações. As lições aprendidas, por todos os atores envolvidos nos períodos A e B, sobre os principais desafios em torno da produção de produtos a partir da biomassa deverão efetivamente atuar como elemento relevante para as próximas estratégias a serem adotadas.

Elementos direcionadores como a indústria 4.0, miniaturização de processos e a automação industrial, como exemplo, deverão apoiar na redução do tempo de escalonamento das principais tecnologias vencedoras e competitivas com as consolidadas da área petroquímica. Outra tendência global relacionada a disseminação do conceito de saúde para todos e a redução do consumo de açúcar na alimentação da população mundial, podem ofertar ao mercado um excedente desta matéria-prima, sua consequente redução de custo e, portanto, ela poderá ser deslocada para a produção de intermediários químicos a custo competitivo com os consolidados produtos da petroquímica. A segurança alimentar e a escassez de recursos naturais devem ser debatidas para garantia de que a biomassa possa ser usada como matéria-prima para a Indústria Química e até contribuir para um suprimento confiável de alimentos.

A direção do mercado e do comportamento do consumidor é clara e realmente voltada para a produção de produtos sustentáveis.

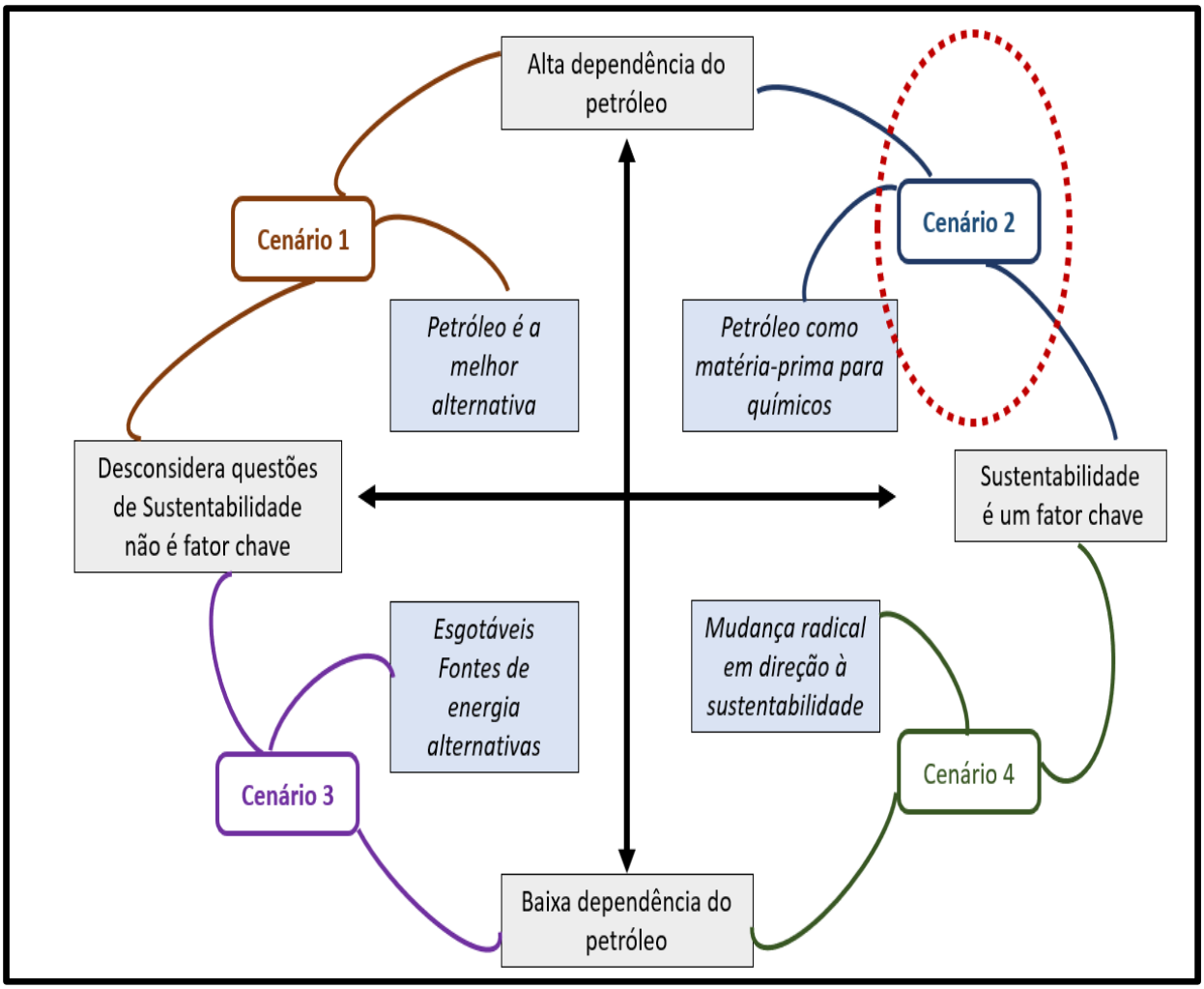
A forte dependência do petróleo da sociedade atual começa a dar alguns primeiros sinais de reavaliação da sua preponderância e de sua prosperidade no longo prazo. Entretanto, a substituição do uso de recursos fósseis para a produção de energia e de químicos ainda apresenta um conjunto importante de incertezas. Segundo a BP, em seu relatório: Energy Outlook 2018 (BP, 2018) as políticas governamentais, novas tecnologias e preferências sociais alterarão a maneira pela qual a energia é produzida e consumida no futuro de formas impossíveis de serem previstas hoje.

Assim, reflexões em torno de direcionamento do petróleo de energia para químicos passam a entrar em pauta. Na medida em que surgem novas soluções tecnológicas e energéticas para o mundo em mudança como os carros elétricos e fontes alternativas de energia como: energia eólica, energia solar-fotovoltaica, energia geotérmica, energia nuclear, biogás, entre outras, efetivamente compondo uma mistura de combustíveis de baixo carbono, e deslocando o excedente de óleo cru para a produção de químicos.

Para complementar a reflexão proposta acima sobre o cenário de renováveis, foi prospectado um importante estudo realizado no âmbito da avaliação do futuro da Indústria Química europeia para 2030. Este estudo foi baseado em pesquisa Delphi com a participação de especialistas que debateram sobre duas questões-chave: sustentabilidade e dependência do petróleo da Indústria Química (DARKOW, 2013). Os quatro cenários propostos por esta literatura foram descritos a seguir e representados na Figura 4.13.

As principais conclusões deste estudo apontaram que a sustentabilidade desempenhará um papel fundamental no futuro, bem como, a escassez de recursos e a busca por fontes alternativas, além dos desafios para gerenciar a cadeia de valor de produtos químicos. Portanto, o cenário 1, no qual a sustentabilidade não desempenharia um papel de real importância, seria desconsiderado, bem como, a irrelevância dos grandes esforços realizados até o momento na busca por bioprodutos. O estudo apontou que, para a maioria dos especialistas que participaram do painel Delphi, o cenário 2, ou seja, o uso de petróleo para produtos químicos, será o mais provável devido à incerteza quanto à capacidade da Indústria Química de reduzir sua dependência do petróleo e competir em escala global. O cenário 3 também foi considerado pouco provável pois da mesma forma como no cenário 1 não daria a relevância para a sustentabilidade e consideraria os recursos renováveis como finitos. Por conseguinte, o cenário 4 representaria a real mudança de paradigma almejada pelos adeptos ao desenvolvimento sustentável em sua essência, ou seja, o deslocamento do eixo de produção de fóssil para renovável.

Figura 4.13- Quatro possíveis cenários para a Indústria Química europeia no ano de 2030.



Fonte: Elaboração própria a partir de DARKOW (2013).

As descrições dos quatro cenários identificados por este estudo foram apresentadas e discutidas a seguir.

- *Cenário 1 - "a Indústria Química e o mundo permanecerão fortemente dependentes do petróleo, embora seja finito e desconsidere questões de sustentabilidade"* - no ano de 2030, a Indústria Química ainda será altamente dependente do petróleo e da nafta como matérias-primas essenciais para a produção da maioria de seus produtos, embora a Indústria Química europeia tenha investido em pesquisa para o uso alternativo de matérias-primas de fonte renovável e tecnologias de produção. As empresas europeias não teriam condições de competir com empresas estatais asiáticas e do oriente médio ou com as empresas norte-americanas com acesso a petróleo próprio barato e tecnologias de

exploração com menor custo. Além disso, o consumo de petróleo poderia ser satisfeito com a possível descoberta de reservas adicionais de petróleo.

- *Cenário 2 – "a Indústria Química e o mundo permanecerão fortemente dependentes do petróleo, embora promova a sustentabilidade como um fator chave para o setor"* – no ano de 2030, a Indústria Química ainda será altamente dependente do petróleo e da nafta como matérias-primas essenciais para a produção da maioria de seus produtos, porém a Europa reduzirá significativamente o uso de combustíveis fósseis para transporte público e privado e aquecimento. A Europa teria sido capaz de extrair os seus recursos petrolíferos no Mar do Norte e obteria acesso a matéria-prima russa, principalmente para atender a Indústria Química. Regulamentações restritas em relação à sustentabilidade, consumidores selecionariam seus produtos com base na sustentabilidade, quantidade de óleo consumido para produzir cada produto, emissões de carbono etc. assim este cenário foi denominado: "petróleo para produtos químicos" e foi considerado o mais provável para os especialistas que participaram do painel Delphi desenvolvido nesta literatura.

- *Cenário 3 – "a Indústria Química e o mundo terão baixa dependência do petróleo mas também baixo grau de orientação para a sustentabilidade do setor"* – no ano de 2030, o aumento dos preços do petróleo, a volatilidade do mercado, maior demanda global por petróleo bruto levariam a iniciativas conjuntas para incentivos em pesquisas voltadas para criar processos químicos não baseados em petróleo, mas baseados em processos biológicos, reciclados e outros. Entretanto, as matérias-primas alternativas também são limitadas sendo então a Indústria Química europeia descrita como exaustiva fonte de energia alternativa.

- Cenário 4 – "a Indústria Química e o mundo terão baixa dependência do petróleo e forte orientação para a sustentabilidade do setor" – no ano de 2030, todas as Indústrias Químicas europeias foram forçadas a criar cadeias de valor sustentáveis. Habitação, aquecimento, mobilidade, nutrição e até mesmo produtos eletrônicos começaram a depender de matérias-primas renováveis. Empresas investiriam fortemente em processos produtivos baseado em fonte renovável.

> Após os primeiros resultados positivos, a indústria aplicaria as novas tecnologias e usaria as matérias-primas porque os consumidores estariam dispostos a pagar um prêmio por fontes sustentáveis. A regulamentação europeia apoiaria o desenvolvimento e utilizaria a orientação da sustentabilidade como barreira às importações baratas das Américas e da Ásia. A Europa tornar-se-ia uma ilha verde devido à sua mudança radical em direção à sustentabilidade.

Com base nos resultados do estudo acima citado e do processo de prospecção tecnológica é possível se inferir que pode ser evidenciado que o cenário 2 realmente aparentará ser o mais provável, pois com a redução do uso do petróleo para energia muito provavelmente esta matéria-prima será direcionada para a produção de químicos e a ideia de uma Indústria Química independente do petróleo e baseada em recursos renováveis, dependerá essencialmente da competitividade de suas bases produtivas e da força das ações em sustentabilidade, como exemplo a precificação do carbono.

Assim, o cenário de renováveis será amplamente afetado uma vez que paira a dúvida se realmente a sustentabilidade será levada em consideração globalmente e, se os tratados internacionais sobre a taxação de carbono terão força para fazer cumprir ao que se propõem os países signatários, ou seja, real a transição para uma economia de baixo carbono.

Inegavelmente, a Comunidade Europeia possui ativa participação nas diretrizes globais sobre o tema sustentabilidade, exercendo liderança na formação de opiniões relevantes, tendências e análises. Por outro lado, os USA se posicionam como um ator igualmente ativo, porém, com ações mais voltadas à operacionalização do que ações direcionadas às estratégias globais.

Estes dados analisados conforme proposto foram utilizados como elementos base para a identificação dos possíveis desafios do futuro em relação ao cenário de renováveis. Assim sendo, foi observado que preocupação com o meio ambiente e a busca por soluções alternativas para uma produção mais sustentável pode ser considerado um tema jovem, ou seja, com aproximadamente apenas 60 anos de trajetória, em busca da sua consolidação de ser uma nova meta capaz de atingir significativos resultados globais. Entretanto, foi observado que as ações foram intensificadas a partir dos anos 2000, ou seja, apenas dezoito anos podendo ser considerados efetivamente como o período de transição do petróleo para as matérias-primas de fonte renovável.

Ademais, a partir do processo estruturado em três níveis do presente estudo foi possível acompanhar o cenário de renováveis e afirmar que se pode considerar que estamos nos primórdios da transição para a biomassa. A transição de petróleo para biomassa vegetal ainda levará tempo, a exemplo do que ocorreu com a transição do carvão para o petróleo. Os processos de transição de carvão para petróleo levaram muito mais tempo (60 a 70 anos), sendo que, até os dias de hoje o carvão ainda coexiste com o óleo: o carvão ainda é usado para energia nos USA e o carvão ainda é usado para químicos na China. Portanto, produtos obtidos da biomassa coexistirão com produtos de fonte fóssil por longo período de tempo e, parece ser bastante difícil acreditar na sua substituição completa e integral como fonte de matéria-prima para a Indústria Química.

Finalmente, conclui-se que a maior aposta para o cenário de renováveis está no real compromisso em se limitar o aumento da temperatura do planeta e nos cenários de baixa emissão de carbono em que a energia de biomassa tem papel essencial. A competitividade dos planos de negócio a partir de biomassas poderá ser beneficiada se forem considerados nos projetos internos algum tipo de taxação de carbono no cálculo dos planos de negócios.

Economistas americanos pregam que a taxação de carbono deve acelerar o curso natural dos desenvolvimentos tecnológicos em direção a um futuro com ganhos para o clima global (COWEN, 2018). O cenário de incentivo às energias renováveis deve caminhar paralelamente ao cenário de redução do consumo de carvão e óleo. Baixo nível de apoio político e a existência de políticas fracas, como as que veem sendo praticadas até o momento, não estão contribuindo com o cenário de renováveis e podem estar atenuando a transição de fonte fóssil para fonte renovável. Existe a necessidade de se instaurar políticas climáticas mais abrangentes, efetivas e punitivas em seu descumprimento (BP, 2018).

O objetivo almejado e o desafio maior seria a não liberação de carbono de origem fóssil para a atmosfera suportado por governos e sociedade, dessa forma o cenário de renováveis poderia ter alguma direção efetiva para mitigar os desafios ambientais para as gerações futuras.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O objetivo geral desta tese foi apresentar a aplicação de uma metodologia estruturada em três níveis, para o caso da análise do cenário de renováveis, em período definido entre 2012 a 2018. Este período foi marcado por uma nítida evolução global em renováveis e caracterizado por seu desenvolvimento de forma dinâmica e turbulenta, em busca de consolidação em diversos setores, com ênfase nos setores químico, petroquímico, agronegócio, florestal, papel e celulose, bens de consumo, bioplásticos, alimentos, embalagens, bem como, empresas detentoras de grandes marcas com foco em sustentabilidade, entre outros.

Da mesma forma, o objetivo específico desta tese de doutorado foi apontar as principais contribuições para a aplicação prática da sistematização de processos de prospecção tecnológica, monitoramento sistemático e visualização gráfica por meio de Roadmap Tecnológico, na transformação de informações não-estruturadas em conhecimento utilizável visando a identificação das principais tendências e da forma como está se desenvolvendo um determinado setor em torno do tema central, no caso desta tese: o cenário de renováveis.

Este capítulo foi dividido em três partes principais: 5.1) Conclusões sobre o método proposto em três níveis; 5.2) Principais conclusões sobre o cenário de renováveis e 5.3) Sugestões para trabalhos futuros e considerações finais.

5.1 Conclusões sobre o método proposto em três níveis

O método estruturado em três níveis adotado para a análise de tecnologias emergentes, como o cenário de renováveis, demonstrou significativa efetividade por se tratar de um processo de prospecção tecnológica estruturado de forma sistemática e contínua, aderente à proposta do estudo desta tese e capaz de capturar e apontar as tendências e os caminhos preferenciais sobre os negócios na área de renováveis, considerando o ambiente turbulento e com diversas incertezas em que se desenvolve.

A proposta da metodologia desenvolvida nesta tese era de que os roadmaps fossem tratados dentro das organizações, que o adotam em suas práticas, como um documento “Vivo”, ou seja, um processo constantemente atualizado, principalmente para temas com alta efervescência tecnológica. Ademais, estimular que eles sejam disponibilizados para toda a organização de forma abrangente, inclusive sensibilizando sobre a importância de receber contribuições em tempo real e corroborando com o fato de que o processo de elaboração do

roadmap é o responsável pela real agregação de valor para as organizações, conforme apresentado por pesquisadores e literaturas relevantes sobre o tema.

No caso do cenário de renováveis, adotado como tema para a aplicação do método proposto, foi possível identificar quais as questões relevantes que deveriam ser refletidas para se buscar compreender a sua evolução tais como:

a) apresentação do estágio atual e a análise das diversas alternativas possíveis neste setor em evolução;

b) identificação de motivadores (*drivers*) que orientam e direcionam o seu processo de desenvolvimento;

c) compreensão da dinâmica e do modelo da nova cadeia em processo de formação;

d) avaliação da importância da biomassa;

e) monitoramento sistemático e atualizado sobre todos os importantes movimentos dos atores;

f) avaliação das tecnologias em desenvolvimento, bem como, a identificação de potenciais processos e produtos promissores;

g) análise e discussão sobre a importância da dimensão dos produtos no setor da química renovável como produtos finais ou intermediários; substituição direta ou não (em inglês *drop-in ou non drop-in*); *commodities*, química fina ou especialidades;

h) análise sobre a competitividade e o nível de integração na cadeia que possa ter impacto direto no negócio e na definição de oportunidades;

i) impacto do conteúdo verde, ou seja, o conteúdo de matérias-primas renováveis no produto final para o consumidor;

j) modelos de negócio adotados pelas empresas nascentes de base tecnológica, das grandes empresas, das empresas de venture capital, bem como, o direcionamento das pesquisas nas universidades no mundo;

k) estratégias das empresas que surgiram como função dos incentivos governamentais;

l) perspectivas dos bioprodutos químicos do ponto de vista do cliente (em inglês *end user*) e do consumidor final.

No caso da aplicação da metodologia na área de inovação, tem-se que as organizações atualmente enfrentam grandes desafios para se posicionarem com alguma segurança em ambientes onde a regra é a mudança. Para tanto, uma organização precisa desenvolver procedimentos sistemáticos para obter e interpretar inteligência estratégica que expandam sua

capacidade de antecipar e se adaptar aos desafios da inovação, bem como, tomar decisões sobre condições incertas.

Basicamente é possível identificar desafios em relação à seis temas críticos, importantes e relacionados para sua gestão estratégica: a) inteligência tecnológica, b) inteligência competitiva, c) gestão da inovação, d) gestão de portfólio de projetos de P&D; e) gestão de projetos de P&D e f) a gestão do capital intelectual ou gestão do conhecimento.

Assim sendo, o método estruturado em três níveis pode ainda contribuir para: a) apoiar a evolução da área de inovação de empresas de todos os segmentos, todos os portes até startups; b) apoiar na construção de agendas de pesquisa; c) mapear futuros caminhos de inovação; d) introduzir elementos inovadores para a definição e/ou reavaliação das estratégias tecnológicas; e) avaliar as metas de desempenho; f) apoiar na alocação de recursos físicos e financeiros; g) avaliação das diversas alternativas tecnológicas, investimentos na área e outros temas estratégicos; h) melhoria da qualidade do portfólio de projetos de P&D - apoio no processo de seleção de ideias e enriquecimento de ideias para se transformarem em projetos, incluindo critérios de priorização de projetos de P&D; i) proporcionar elementos relevantes para a estruturação de projetos de pesquisa, avaliar seu desenvolvimento e a evolução nos seus diferentes estágios de desenvolvimento; j) gestores dos projetos de pesquisa e desenvolvimento nas empresas podem se beneficiar do método de forma a contribuir com sua avaliação, evolução e aderência ao mercado, visando definir metas a serem alcançadas, elementos do projeto a serem buscados, parcerias de pesquisas e tecnologias necessárias.

5.2 Principais conclusões sobre o cenário de renováveis

Baseada na proposta de análise sistemática do tema central desta tese de doutorado: o cenário de renováveis, é possível destacar que três importantes direcionadores a Sustentabilidade, o Desenvolvimento Sustentável e a Bioeconomia estão efetivamente na agenda global motivando estratégia de empresas de todos os tamanhos e segmentos, tanto como ações relacionadas às políticas públicas, além do desenvolvimento tecnológico e produção científica, em torno do tema. Entretanto, muito trabalho ainda deve ser realizado para garantir que empresas e a sociedade atual estejam efetivamente engajadas e motivadas em direção à proposta maior que seria a relação com a busca pelo equilíbrio entre as necessidades do ser humano sem comprometer os recursos naturais e o meio ambiente, visando melhorar a condição humana e, ainda, manter as novas bases para o crescimento e desenvolvimento econômico sustentável.

Por se tratar de um tema ainda considerado em formação, evolução e emergente, com aproximadamente apenas 50 anos em fase de consolidação e desenvolvimento, é possível evidenciar-se importantes ações e relações que oferecem indícios de sua fragilidade, pois é difícil garantir que as ações atuais promoverão a efetiva mudança no comportamento da humanidade para atender às suas próprias necessidades futuras. Além disso, existe a constante batalha contra a perda de credibilidade sobre o tema pelos diversos atores envolvidos neste cenário, por isso a adoção de práticas constantes e em contínua evolução são muito importantes, além da atuação sobre as questões chave sobre sua efetividade, sobre os alicerces em que estão pautadas as suas ações e sobre sua abrangência e interações.

Neste contexto, a partir deste trabalho de monitoramento sistemático é possível observar a situação das empresas que lutam contra a controversa atitude em encontrar um equilíbrio entre as ações voltadas para a maximização do lucro para os acionistas e as ações que retratem verdadeiro compromisso com o meio ambiente e as gerações futuras.

No entanto, neste cenário bastante heterogêneo em termos de localização geográfica, segmento, porte e outros fatores, pode-se observar que algumas empresas apresentam posicionamento consolidado em relação à sua responsabilidade para com o desenvolvimento sustentável, surpreendendo inclusive a própria sociedade. Entretanto, a dicotomia que o mundo corporativo vive em relação à manutenção de sua lucratividade e vantagens competitivas e sua responsabilidade em relação ao meio ambiente, pode ser facilmente observada na análise do cenário de renováveis. O maior indício deste comportamento foi observado na baixa dos preços do petróleo.

Os anos de 2006 a 2014 foram anos marcados por fortes investimentos em renováveis, com foco em produtos *commodities* para substituição direta de seus pares petroquímicos e em produtos com maior valor agregado. Entretanto, assim que os preços do barril do petróleo caíram significativamente, a partir de 2014, todo o discurso relacionado com suas ações sustentáveis foi controverso e, até, desconsiderado no limite, uma vez que diversas empresas anunciaram desistência em seus planos de investimento no novo setor, retardando o desenvolvimento de soluções que se anunciavam como sustentáveis.

A gestão de resíduos sólidos e industriais também se apresenta como um dos principais desafios que depende fortemente do real envolvimento de comunidades em todo o mundo, estimulando sua conscientização, o empreendedorismo no tema e a instituição de políticas públicas, para uma mudança positiva neste cenário focando em transformar uma responsabilidade (ou seja, os resíduos) em um ativo (ou seja, calor, energia ou biocombustíveis,

bioprodutos químicos) por meio de medidas econômicas e desenvolvimento tecnológico, realmente atingindo os objetivos do desenvolvimento sustentável.

Como principais conclusões sobre o cenário de renováveis destacaram-se:

a) o uso da biomassa como matéria-prima tem enorme potencial para endereçar os desafios da sustentabilidade e as preocupações ambientais, porém fatores econômicos determinam sua velocidade de implementação e sua estabilidade econômica;

b) produtos de origem renovável e produtos petroquímicos conviverão em paralelo no longo prazo, da mesma forma como ocorreu na transição do carvão para o petróleo;

c) flutuações do preço do petróleo afetam diretamente as ações em renováveis, ocasionado a descontinuidade de projetos por falta de competitividade de seus planos de negócios;

d) grande número de atores no tema, porém mudam suas propostas originais, como empresas de médio e pequeno porte quando se veem obrigadas a interromperem seus projetos por falta de competitividade frente às flutuações do preço do petróleo, bem como, as empresas de grande porte que atuam como constantes observadores, recuando e reduzindo seus investimentos;

e) a obtenção de diferentes bioprodutos por meio de plataformas tecnológicas baseadas em bioprocessos caminham para a sua consolidação;

f) desafios no processamento da biomassa (principalmente na etapa de pré-tratamento), custos de produção elevados, dificuldades de escalonamento para produção industrial foram identificados como alguns dos fatores que contribuem ativamente para o delineamento do cenário de renováveis;

g) uma Indústria Química independente do petróleo e baseada em recursos renováveis, dependerá essencialmente de competitividade de suas bases produtivas e da força das ações em sustentabilidade.

h) a direção do mercado é clara e voltada para produções sustentáveis e para o aumento da consciência mundial frente a questões ambientais e sociais;

i) a taxação de carbono será um elemento chave na evolução do cenário de renováveis pois poderá levar produtos renováveis de nichos para *commodities*.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros e considerações finais

Dentro do contexto da metodologia desenvolvida nesta tese, uma sugestão para trabalhos futuros é a exploração da mesma para outros temas centrais de interesse de empresas de diferentes setores, que se veem compelidas a tomar decisões estratégicas sobre condições incertas, visando

evidenciar o potencial do método estruturado em três níveis na identificação de oportunidades, ameaças e outros aspectos relevantes frente às tendências mundiais. O trabalho poderia ser direcionado para o processo de customização dos campos do banco de dados pertinentes a outros setores, identificação das fontes primárias e secundárias, bem como, sobre as análises significativas, específicas para o novo tema central e/ou segmento de mercado e a forma gráfica para visualização do Roadmap Tecnológico “Vivo”.

Uma segunda sugestão para trabalhos futuros, desta vez dentro do contexto do tema central desta tese, ou seja, o cenário de renováveis, seria a análise e a avaliação das implicações para as indústrias convencionais com o novo cenário turbulento e dinâmico, com relação aos seus modelos de negócio, estratégias de atualização e sobrevivência e, em relação ao contexto imposto pelas tendências mundiais, como exemplo, os direcionadores de mercado identificados nesta tese de doutorado. O futuro trabalho estruturado dessa forma poderá trazer importantes reflexões sobre como as empresas se posicionaram ou poderiam ter se posicionado, suas percepções sobre o processo que as afetam diretamente e qual a implicação destas ações em sua rentabilidade, posicionamento no mercado e estratégia como ator no cenário de renováveis.

Como última sugestão para trabalhos futuros, especificamente dentro do contexto do Roadmap Tecnológico “Vivo”, seria o desenvolvimento de indicadores que possam avaliar como os processos de roadmap e como as práticas utilizadas pelas organizações estão fornecendo resultados consistentes para apoiar suas iniciativas de inovação. Além disso, fomentar reflexões sobre o que seria necessário como oportunidades de aprimoramentos no método para garantir os objetivos a que se propõem, uma vez que as decisões e sua continuidade não se tratam de processos simples na condição real, quando a decisão de investimento em tecnologia não é simples, quando não está claro qual alternativa tecnológica seguir, qual o tempo certo para a tomada de decisão, com que velocidade as tendências se tornaram realidade de fato e afetariam as organizações e a sociedade como um todo, entre outras reflexões a serem endereçadas.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Pacto Nacional da Indústria Química.** São Paulo, jun. 2010. Disponível em: < www.abiquim.org.br>. Acesso: jul. 2012.

ABIQUIM– Associação Brasileira da Indústria Química. **O desempenho da Indústria Química Brasileira em 2016.** São Paulo. Edição 2016. Disponível em < https://abiquim.org.br/includes/pdf/indQuimica/livreto-de-dados-2016-paginas.pdf >. Acesso: dez. 2017.

ACCENTURE – **Smart Production- Finding a way forward: how manufacturers can make the most of the Industrial Internet of Things,** 2015**.** Disponível em < https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-5/Accenture-804893-Smart-Production-POV-Final.pdf >. Acesso: dez. 2017.

AGROLINK, **DuPont atinge maioria das metas de sustentabilidade estabelecidas para 2015 – 09/dez./2013.** Disponível em < http://www.agrolink.com.br/noticias/dupont-atinge-maioria-das-metas-de-sustentabilidade-estabelecidas-para-2015_188364.html>. Acesso: dez. 2013.

ALBRIGHT, R. E. **Roadmaps and RoadmappingTechnology Futures Strategy-Roadmapping: The right Technologies at the Right Time -** IMTS 2002 Manufacturing Conference Society of Manufacturing Engineers, Chicago, IL September 4, 2002, Disponível em < http://www.albrightstrategy.com> Acesso: dez. 2015.

ALBRIGHT, R. E.; KAPPEL, T. A. **Roadmapping in the Corporation**. *Research Technology Management*, v. 46, i. 2, p. 31-40, 2003.

ALVES, L.A., LIMA, G.B.A., MOTA, A.L.T. **Desenvolvimento Sustentável nas empresas: Estudo de caso empresa multinacional de telecomunicações**. 2010. Disponível em: < http:// www.inovarse.org/ sites/default/ files/T10_0240_1195.pdf>. Acesso: set. 2017.

AMBROSINI, R.M. **Green Acetyls**, Nexant ChemSystem PERP Program, 08/09S7, July 2010.

AUSTIN, A. **Open Ponds Versus Closed Bioreactors** Disponível em: < http:// biomassmagazine.com / articles/ 3618/open-ponds-versus-closed--bioreactors. > Acesso: nov. 2018.

B3- Brasil, Bolsa, Balcão - **Sustentabilidade – Oportunidade de Negócios no Setor de Intermediação**, 2017. Disponível em: < http:// www.bmf.com.br/ portal/pages/ newsletter/ bmfbovespa/ Folheto_ESG_B3_Bi.pdf>. Acesso: ago. 2018.

B3- Brasil, Bolsa, Balão – **Relatório annual 2017.** Disponível em: < http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/3754/613796.pdf>. Acesso: ago. 2018.

BABU, R.P.; O'CONNOR, K.; SEERAM, R. **Current progress on bio-based polymers and their future trends**; Progress in Biomaterials, 2:8, p.1-32, 2013.

BACAS – Belgian Academy Council of Applied Science **Industrial Biomass: Source of Chemicals, Materials, and Energy! February 2011** Disponível em: < http://www.kvab.be/sites/default/rest/blobs/490/tw_biomass.pdf>. Acesso: ago. 2018.

BACOVSKY, D.; LUDWICZEK, N.; OGNISSANTO, M.; WÖRGETTER, M. **Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012.** IEA Bioenergy, Task 39-P1b, 2013. Disponível em: < http://demoplants.bioenergy2020.eu /files/Demoplants _Report_Final.pdf.>. Acesso: jul. 2013.

BAJPAI, P. **Biorefinery in the pulp and paper industry**, Elsevier, 2013.

BAKER, J. **Bio-based materials to make further inroads**. ICIS Chemical Business, ICIS Roundtable, in association with NOM, May 2012. Disponível em: < http: // www. icis. com/ Articles/ 012/05/28/9563762/bio-based-materials-to-make-further-inroads.html>. Acesso: nov. 2013.

BANCO DO BRASIL – **Agenda 21 – Banco da Sustentabilidade - Ações Prioritárias**. Ministério do Meio Ambiente, 2004. Disponível em: < http://www.bb.com.br/docs/pub/sitesp/sustentabilidade/dwn/Agenda21.pdf>. Acesso: dez. 2013.

BASF. **A BASF América do Sul – Relatório 2011**. Disponível em: < http: // www.BASF.com/group/corporate/en_GB/function/conversions:/publish/content/about-BASF/facts-reports/reports/2011/BASF_Report_South-America_2011_pt.pdf.>. Acesso: out. 2013.

BASF. **BASF América do Sul – Relatório 2017 – produtividade e sustentabildiade**. Disponível em: <https://www.basf.com/documents/ br/pt/Empresa/Sustentabilidade/ RA_BASF_2017-18_PT_28-06-18_vfinal.pdf>. Acesso: ago. 2018.

BBC News, Business: **Petrol prices in record monthly rise, says RAC,** 05 jun. 2018. Disponível em: < https://www.bbc.co.uk/news/business-44361016 >. Acesso: ago. 2018.

BERNAL, L.; BYRNES, T.; DORNBERGER, U.; TORRES, O. **Technology Roadmapping Handbook. International SEPT Program,** Universitat Leipzig, Alemanha. 2009. Disponível em: <http://www.vgu.edu.vn/fileadmin/pictures/studies/MBA/Handbook_Roadmapping.pdf>. Acesso em: jan. 2017.

BCG – The Boston Consulting Group – **The New Big Circle – Achieving growth and business modelo inovation through circular economy implementation**. p.1-42, 2018. Disponível em: < https://docs.wbcsd.org/2018/01/The_new_big_circle.pdf>. Acesso em: jul. 2018.

BHATTACHARYA, D. **Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibers obtained from bagasse.** Carbohydrate Polymers, v.73, p. 371-377, 2008.

BILLERUDKORSNAS, **Annual and Sustainability Report 2017**, Disponível em: < https://www.billerudkorsnas.com/globalassets/billerudkorsnas/investors/financial-reports/2017/billerudkorsnas-annual-review-2017.pdf > Acesso: abr. 2018.

BIOAMBER, **BioAmber Signs Its First Succinic Acid Take-or-Pay Contract with PTT-MCC Biochem, a joint venture between Mitsubishi Chemical and PTT PCL, May 01,2014.** Disponível em: <http:// www.virtualpressoffice.com/ publicsite ContentFileAccess?fileContentId =1597056 &fromOtherPage ToDisableHistory=Y&m enuName=News&sId=&s Info=>Acesso: mai. 2014.

BIOFUELSDIGEST, **Renmatix debuts Kleiner's ultra low-cost sugar technology baby (all over again)** set., 2011 Disponível em: < http: // www.biofuelsdigest.com / bdigest/ 2011/09/28/ renmatix -debuts-kleiners-ultra-low-cost-sugar-technology-baby-all-over-again />. Acesso: jan. 2012.

BLOOMBERG; **REPORT: Moving towards a next-generation ethanol economy**. Bloomberg, New Energy Finance, January 11, 2012. Disponível em: <http://www.novozymes.com/en/sustainability/benefits-for-the-world/biobased-economy/ white-papers-on-biofuels/Documents/Next- Generation % 20 Ethanol % 20 Economy _Executive % 20 Summary.pdf > Acesso: abr. 2012.

BM&FBOVESPA, **Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE)** Disponível em: < http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/ produtos /indices/ indices-de-sustentabilidade / > Acesso: ago. 2018.

BNDES, PAISS - **PLANO CONJUNTO BNDES-FINEP DE APOIO À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA INDUSTRIAL DOS SETORES SUCROENERGÉTICO E SUCROQUÍMICO-2013.** Disponível em: < http: // www.bndes.gov.br/ Site BNDES/ bndes/bndes_pt/ Areas_de_Atuacao/ Inovacao/paiss/ >. Acesso: jan. 2014.

BNDES, **- Estudo do potencial de diversificação da Indústria Química Brasileira: Relatório Final, 2014**. BAIN&COMPANY and GAS ENERGY Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/285ccbcc-e4a0-45f4-9acd-02e53de2bc66/ 39_chamada_publica_ FEPprospec0311_ Relatorio_Final.pdf? MOD= AJPERES&CACHEID =ROOTWORKSPACE.Z18_7QGCHA41LORVA0AHO1SIO51085-285ccbcc-e4a0-45f4-9acd-02e53de2bc66-lz-N3Qc >. Acesso: jan. 2017.

BOMTEMPO, J.V. **A série: O futuro dos biocombustíveis, 04/11/2013.** Disponível em: <http://infopetro.wordpress.com/2013/11/04/o-futuro-dos-biocombustiveis-xix-encerrando-a-serie-e-continuando-o-processo-de-construcao-da-industria-baseada-em-biomassa/ #more-4988>. Acesso: jan. 2014.

BOMTEMPO, J.V. **O futuro dos biocombustíveis X: as duas corridas do açúcar, 21/11/2011.** Disponível em: < http://infopetro.wordpress.com /2011/11/21/o-futuro-dos-biocombustiveis-x-as-duas-corridas-do-açúcar. >. Acesso: abr. 2012.

BORSCHIVER, S. **RESEARCH REPORT - Technological Roadmap – Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos -** UFRJ, 2013.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. **ROADMAP TECNOLÓGICO – Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. Ed. Interciência, RJ, 2016.

BORSCHIVER, S. **BLOG – Como medir a economia Circular – NEITEC - Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos -** UFRJ, 2018. Disponível em: < https://neitec.com/blog/como-medir-a-economia-circular>. Acesso: out. 2018.

BORREGAARD, **Annual Report 2017**. Disponível em: < https://www.borregaard.com /Investor-Relations /GA-General-Archive /Stock-exchange-releases / Exchange-releases/ Borregaard-Annual-Report-2017 >. Acesso: abr. 2018.

BOZELL, J.J.; HOLLADAY, J.E.; WHITE, J.F.; MANHEIM, A.; ADEN, A.; WERPY, T.; PETERSEN, G.; ELLIOT, D.; LASURE, L.; JONES, S.; GERBER, M.; IBSEN, K.; LUMBERG, L.; KELLEY, S. **Top Value Added Chemicals from Biomass. Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas.** U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), National Renewable Energy Laboratory (NREL), August 2004.

BOZELL, J.J.; HOLLADAY, J.E.; JOHNSON, D.; WHITE, J.F. **Top Value-Added Chemicals from Biomass. Volume II – Results of Screening for Potencial Candidates from Biorefinery Lignin.** U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, October 2007.

BP Energy Economics - **BP Energy Outlook 2018 edition.** Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf.>. Acesso: set. 2018.

BRASKEM. **Relatório anual 2012- Estratégia de crescimento, novos desafios e conquistas**. Disponível em: < http://rao2012.braskem.com/relatorio.asp?subrelatorio=4 >. Acesso: abr. 2014.

BRITANNICA ACADEMIC, **Kyoto Protocol,** 2018 Disponível em < https://academic-eb-britannica.ez29.capes.proxy.ufrj.br/levels/collegiate/article/Kyoto-Protocol/439009>. Acesso: set. 2018.

BRUNDTLAND, G.H. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future,** 1987. Disponível em: < http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> Acesso: jan. 2014.

BUSINESSGREEN STAFF **Majority of EU citizens back green product labelling** – July 9th 2013. Disponível em < http://www.businessgreen.com/bg/news/2280241/majority-of-eu-citizens-back-green-product-labelling>. Acesso: mar. 2013.

CASEY, M.; HACKETT, R. - **The 10 biggest R&D spenders worldwide** FORTUNE 2014. Disponível em < http://fortune.com/2014/11/17/top-10-research-development/>. Acesso: mai. 2018.

CEFIC, **European chemistry for growth - Unlocking a competitive, low carbon and energy efficient future,** April – 2013. Disponível em: <http://www.cefic.org/ Documents/ PolicyCentre / Energy-Roadmap-The%20Report-European-chemistry-for-growth.pdf >. Acesso: jan. 2014.

CEFIC, **Chemistry Can, Accelerating Europe, towards a sustainable future** – 2017. Disponível em: <https:// chemistrycan. Com /app /uploads /2017 /10 /SD-Report 2017. pdf? utm _source=email R&utm_medium =email&utm_campaign=chemsitryCAN+2+Members >. Acesso: jan. 2018.

CEFIC, **Challenges and opportunities for chemical Bio-based products- June 2015** - FEDIOL 2015 General Assembly Conference. Disponível em: < http://www.fediol.be/data/2015-06-19%20Fediol%20presentation%20Bioeconomy_Cefic.pdf>. Acesso: ago. 2018.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação, **Química Verde no Brasil: 2010-2030,** CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação, **Projeto: Mapeamento de Competências em Temas Estratégicos em Bioeconomia Relatório Final – Panorama da Bioeconomia no Brasil e Identificação das Áreas Estratégicas , jun., 2017** Disponível em: < https:// www.cgee.org.br/documents/ 10195/734063/ 2665_Panorama+da+ Bioeconomia+no+Brasil+e+Identifica%C3%A7%C3%A3o+das+areas+estrategicas.pdf/edef5b b2-2aa8-48dc-8002-be57cf1b688f?version=1.0>. Acesso: dez. 2017.

CHEMSYSTEMS-NEXANT. **Prospectus, Bio-Monomers for Polyamides: Parachuting into the Value Chain,** Nexant, February 2012, p1-31. Disponível em: < http://praetorian.nexant.com/reports/search/docs/prospectus/STMC12_Bio_Polyamides_prospectus.pdf >. Acesso: mar. 2012.

CLARK, J.; **The 12 Misunderstandings of Green Chemistry**. Disponível em: <http://www.chemweek.com/chem_ideas/Guest-Author/The-12-Misunderstandings-of-Green-Chemistry_40667.html.>. Acesso: jan. 2012.

CNI-Confederação Nacional da Indústria – **Destaques da Inovação- Melhores Práticas empresariais para Inovar,** MEI – Movimento Empresarial pela Inovação, Brasília, 2016. Disponível em: <https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/86/fa/86fa5aad-4ef4-4025-86c1-1f2a73938729/melhores_praticas_empresariais_para_inovar_2016.pdf>. Acesso: nov. 2017.

COELHO, J.R.R. **Macrotendências Mundiais**, FIESP/CIESP, p.1-39, ago. 2018.

COMISSÃO EUROPEIA (COM) **COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU E AO COMITÉ DAS REGIÕES sobre um quadro de controlo da economia circular,** jan. 2018 Disponível em: < https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/PT/COM-2018-29-F1-PT-MAIN-PART-1.PDF>. Acesso: ago. 2018.

COMAI, A., MILLÁN, J.T. **Mapping & Anticipating the Competitive Landscape**, EMECOM Ediciones, 2006.

CORPORATE CITIZENSHIP – **Sustainability Timeline 2018**. Disponível em < https://corporate-citizenship.com/sustainability-timeline/>. Acesso: mai. 2018.

CORTEZ, L.A.B., LORA, E.E.S., GÓMEZ, E.O. **BIOMASSA para energia**, Editora UNICAMP, 2008.

COUTINHO, P.L.A.; BOMTEMPO, J.V.; **Roadmap Tecnológico em matérias-primas renováveis: Uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil**, Química Nova, Vol. 34, No. 5, S1-S6, p. 910-916, 2011.

COUTINHO, P.L.A. **Estratégia Tecnológica e Gestão da Inovação: Uma estrutura analítica voltada para os administradores das empresas.** Tese apresentada à Escola de Química da UFRJ para obtenção do título de Doutor em Engenharia Química, p. 1-292, 2004.

COVESTRO, **Our company profile - Materials for megatrends.** Disponível em < https://www.covestro.com/en/company/profile/overview >. Acesso: mai. 2018.

COWEN, T.; **The Carbon Tax Is Dead, Long Live the Carbon Tax. –** november, 8th 2018, Bloomberg Opinion. Disponível em < https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2018-11-08/2018-midterm-results-is-the-carbon-tax-dead >. Acesso: nov. 2018.

DARKOW, I.L., GRACHT, H.A. **Scenarios for the future of the European process industry - the case of the chemical industry.** European Journal of Futures Research, 1(10), 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40309-013-0010-9. Acesso: mai. 2017.

DE JONG, E.; HIGSON, A.; WALSH, P.; WELLISCH, M. **Product development in the bio-based chemical arena.** Biofuels, Bioproducts & Biorefining, Hoboken, v.6, p.606-624, 2012.

DECLOEDT, C. **30 empresas que participam do Índice de Sustentabilidade da Bolsa-Nova carteira tem valor de mercado de R$ 1,28 trilhão, o equivalente a 41,47% do valor total das companhias negociadas e listadas na B3-** Revista EXAME -2017. Disponível em < https://exame.abril.com.br/mercados/b3-anuncia-30-empresas-para-a-carteira-do-ise-2018-2019/>. Acesso: mai. 2018.

DELOITTE INSIGHTS**, The rise of the social enterprise - 2018 Global Human Capital Trends** - DELOITTE DEVELOPMENT LLC., 2018. Disponível em < https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/human-capital-trends.html >. Acesso: mai. 2018.

DISHISHA, T. **Microbial Production of Bio-Based Chemicals: A Biorefinery Perspective.** Dissertation (Composites), Lund University, 2013, p.1-154. Disponível em: < http://lup.lub.lu.se/record/3738373>. Acesso: jan. 2014.

DOE-EERE **Moving Beyond Drop-In Replacements: Performance-Advantaged Biobased Chemicals Workshop Summary Report- June 2018.** Disponível em < https://www.energy.gov/sites/ prod/ files/ 2018/ 06/f53/ Performance-Advantaged% 20Biobased% 20Chemicals% 20Workshop% 20Report.pdf>. Acesso: out. 2018.

DOW - **Compromissos com a sustentabilidade** – **Metas de Sustentabilidade para 2015**. Disponível em: < http://www.dow.com/brasil/ sustentabilidade/compromissos/metas.htm >. Acesso: dez. 2013.

DOW – **INOVAÇÃO.** Disponível em: < https://br.dow.com/pt-br/sobre/inovacao>. Acesso: ago. 2018.

DOW – **2017 Sustainability Report.** Disponível em: < https://br.dow.com/pt-br/sobre/sustentabilidade>. Acesso: ago. 2018.

ECO.NOMIA, 2018 – **O que é economia circular?** Disponível em: <http://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias >. Acesso: ago. 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION **Towards the circular economy- Business rationale for na Accelerated Transition,** 2015 Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf >. Acesso: jan. 2018.

EMBRAPA, **Biorrefinarias: transformando a biomassa em vários produtos**. Agroenergético-Informativo da Embrapa Agroenergia- Edição nº 44, 07/08/2013. Disponível em: <

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1007156/1/Ed44082013.pdf>. Acesso: out. 2017.

EMBRAPA, **Biomassa é a oportunidade para energia renovável e Indústria Química no País**- Notícias Agroenergia-17/05/2017. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/22757966/biomassa-e-oportunidade-para-energia-renovável-e-industria-quimica-no-pais>. Acesso: dez. 2017.

EPA- *US Environmental Protection Agency* **Milestones in U.S. EPA and Environmental History**. Disponível em: < https://www.epa.gov/history >. Acesso: dez. 2017.

EUROMONITOR INTERNATIONAL, **Global Economies and Consumers in 2017**, p. 1-39. Disponível em: <http://go.euromonitor.com/white-paper-2017-global-economies-consumers.html>. Acesso: jul. 2018.

EUROPABIO- The European Association for Bioindustries. **How industrial biotechnology can tackle climate change**, December 2008, Rev. 09 p.1-8. Disponível em: <http://www.europabio.org/sites/defult/files/position/howindustrialbiotechnologycatackleclimatechange0.pdf >. Acesso: dez. 2012.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Global production capacity of bioplastics 2012 (by market segment).** Disponível em: < http://en.european-bioplastics.org/press/press-pictures/labelling-logos-charts/ >. Acesso: dez. 2013.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Bioplastics-facts and figures.** Disponível em: <http://en.european-bioplastics.org/blog/2013/04/05/pr-20130408/>. Acesso: out. 2013.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **REPORT- Bioplastics market data 2017.** Disponível em < http://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2017/Report_Bioplastics_ Market_ Data_2017.pdf>. Acesso: ago. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Climate Action – Policies - The 2020 climate and energy package.** Disponível em < http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm>. Acesso: jan. 2014.

EUROPEAN COMMISSION. **The European Bioeconomy in 2030.** Delivering Sustainable Growth by addressing the Grand Societal Challenges-2011. Disponível em < http://www.plantetp.org / system/files/ publications/files/ the_european_bioeconomy _brochure_web_final.pdf >. Acesso: jan. 2018.

EVANS, J. **Chemical industry goes looking for biochemical**. Date: 28/01/2013. Disponível em: <http: // www.biofpr.com / details/feature/ 4612631/ Chemical_ industry_ goes_looking_ for___.html >. Acesso: nov. 2013.

EXAME, Hares, S. **ONU espera que Trump reconsidere saída do Acordo de Paris,** 2018 Disponível em: < https://exame.abril.com.br/mundo/onu-espera-que-trump-reconsidere-saida-do-acordo-de-paris/>. Acesso: nov. 2018.

E4TECH (UK) for LBNet **UK Top Bio-based Chemicals Opportunities, December 2017.** Disponível em: <https://lb-net.net/wp-content/uploads/2018/02/LBNet-UK-Top-Bio-based-Chemicals-Opportunities_Final_Dec2017.pdf>. Acesso: out.2018.

FEIL, A. A., SCHREIBER, D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados, 2017** DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1679-395157473. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/cebape/v15n3/1679-3951-cebape-15-03-00667.pdf >. Acesso: nov. 2017.

FGV-EAESP- Centro de Estudos em Sustentabilidade **O que é o ISE-2017**. Disponível em: < https://www.isebvmf.com.br/o-que-e-o-ise?locale=pt-br>. Acesso: dez. 2017.

GARCIA, M. L. & BRAY, O. H. **Fundamentals of Roadmap Tecnológico.** Sandia National Laboratories. April 1997. Disponível em: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/ 1997/ 970665.pdf>. Acesso: dez. 2013.

GARTNER. **Big Data**. 2013. Disponível em: < http://www.gartner.com/it-glossary/big-data> Acesso: nov. 2013.

GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC., **Global Itaconic Acid (IA) Market to Reach USD398.3 Million by 2017, According to a New Report by Global Industry Analysts, Inc.** San Jose, California (PRWEB) October 04, 2011. Disponível em < http://www.prweb.com/releases/itaconic_acid /renewable_chemicals/ prweb8831422.htm >. Acesso: ago. 2014.

GRANBIO. **GranBio e Rhodia fecham acordo para parceria em químicos de fonte renovável - O objetivo das empresas é instalar, no Brasil, a primeira fábrica de bio n-butanol do mundo.** Disponível em: <http:// www.granbio.com.br / wp-content/ uploads/ 2013/05/ Rhodia-GranBio-versão-final.pdf.>. Acesso: out. 2013.

GRANBIO. **Etanol de 2ª geração supera entraves técnicos e avança na competitividade comercial.** Disponível em: <http://www.granbio.com.br/blog/etanol-de-2a-geracao-supera-entraves-tecnicos-e-avanca-na-competitividade-comercial/>. Acesso: out. 2018.

GRAND VIEW RESEARCH**. Market Research Report - Epichlorohydrin Market Size, Share & Trends Analysis Report by Application (Water Treatment Chemicals, Epoxy Resins, Synthetic Glycerin, Pharmaceuticals), By Region, And Segment Forecasts, 2018 – 2030.** Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/epichlorohydrin-ech-market/segmentation>. Acesso: set. 2018.

GREINER, E.O.C., YOKOSE, K. **Epichlorohydrin**. CEH MARKETING REPORT, 2010.

GRUSHKIN, D., **Breaking the mold**. Nature Biotechnology, 29, p.16-18, 2011.

GUZMAN, D. **Vinythai starts glycerin-to-ECH plant** -ICIS Green Chemicals. Disponível em: <http://www.icis.com/blogs/ green-chemicals /2012/03/ vinythai-starts-glycerin-to-ec.html>. Acesso: abr. 2013.

HAYES, T., FURST, K., JUSTICE, E.; **World Bioplastics, Industry Study #2823**, The Freedonia Group Inc., p.1-334, November 2011.

HAVEL, P.A. **Mergers &Acquisitions, Law and Innovation-Beneficial and harmful aspects of takeovers for the innovation process,** Master´s Thesis, International Business Law Department - Tilburg University, June,2017. Disponível em <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=143826>. Acesso: jan. 2018.

HIRATUKA, C.; GARCIA, R.; SABBATINI, R**. Limites e possibilidades do Brasil nas configurações produtivas globalizadas – A Indústria Petroquímica**, p.1-83, abr. 2000.

IHS MARKIT, **Chemical Economics Handbook - Epichlorohydrin,** Disponível em: < https://chemstore.ihsmarkit.com/products/ceh-epichlorohydrin? utm_source= ihsmarkit & utm_ medium = referral&utm_ campaign=PC10539>. Acesso: set. 2018.

ILES, A.; MARTIN, A. N. **Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry,** Journal of Cleaner Production 45 (2013) 38-49.

IMHOF, P., WAAL, J.C.van der. **Catalytic Process Development for Renewable Materials**, WILEY-VCH, 2013.

INSTITUTO ETHOS, **Indicadores Ethos de Responsabilidade Social Empresarial - Apresentação da Versão 2000 - Instrumento de avaliação e planejamento para empresas que buscam excelência e sustentabilidade em seus negócios.** Disponível em: < http://www.oecd.org/daf/ca/corporategovernanceprinciples/1922148.pdf>. Acesso: out. 2013.

INTEL, 2017 **Annual Report**, p1-128. Disponível em: <http://www.annualreports.com /Company/intel-corporation >. Acesso: jul. 2018.

JACONIS, S.B., COUTINHO, P.L.A. **Conhecer para crescer – Seção três perguntas-compartilhe,** Revista Geração Braskem-publicação interna, p.20, abr. 2015.

JACONIS, S.B., COUTINHO, P.L.A. **Nova Plataforma viabiliza e apoia o compartilhamento e utilização do conhecimento na Braskem – Seção toque de liderança,** Revista Petroquímicos Básicos em Ação Braskem-publicação interna, edição 66, mai. 2015.

JENKINS, S. **Bio-Based Chemicals Gain market Acceptance**, Chemical Enginnering, p.14-17, August, 2013.

KAISER, H.M., J. Mckinsey on Chemicals, **McKinsey & Company Industry Publications**, p. 21-29, 2012. Disponível em: < http://www.mckinsey.com/ client_service/ chemicals/ latest_thinking/ mckinsey_on_chemicals >. Acesso: out. 2013.

KAMM, B., Gruber, P.R., KAMM, M. **Biorefineries-Industrial Processes and Products, Status Quo and Future Directions,** Germany: Wiley-VCH, v. 1 e 2, 2006.

KAMM, B., LEIB, S., SCHONICKE, P., BIERBAUM, M. **Biorefining of Lignocellulosic Feedstock by a Modified Ammonia Fiber Expansion Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis for Production of Fermentable Sugars,** ChemSusChem, Energy and Materials, v.10, p.48 – 52, 2017. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cssc.201601511> Acesso: mar. 2018.

KANDANELLI, R., THULLURI, C., MANGALA, R., RAO, P.V.C., GANDHAM, S. VELANKAR, H.R. **A novel ternary combination of deep eutectic solvent-alcohol (DES-OL) system for synergistic and efficient delignification of biomass,** Bioresource Technology, p.1-4 (in press), 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.002>. Acesso: out. 2018.

KANG, S., FU, J., ZHANG, G. **From lignocellulosic biomass to levulinic acid: A review on acid-catalyzed hydrolysis,** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.94, p. 340-362, 2018.

KERSH, K. **Bio-based Chemicals in 2013: Ranking the Developers**, Lux Research Inc., p.1-31, 2013.

KUMAR, A.K., SHARMA, S., 2017. **Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review**, Bioresour. Bioprocess. v.4 (7), p. 1–19, 2017.

LANE, J. **Brazil's Big Six in advanced biofuels & chemicals: who's doing what now?** Disponível em: <http: // www.biofuelsdigest.com/ bdigest /2013/09/16/brazils-big-six-in-advanced-biofuels-chemicals-whos-doing-what-now/>. Acesso: set. 2013.

LANE, J. **Rennovia's demise, the Triple Rule, and the pursuit of sustainable nylon in a world of low oil prices** Disponível em: < http://www.biofuelsdigest.com/ bdigest/ 2018/ 03/ 09/ rennovias-demise-the-rule-of-thirds-and-the-pursuit-of-sustainable-nylon-in-a-world-of-low-oil-prices/>. Acesso: set. 2018.

LMC, **International. Feedstocks for Bio-based Chemicals: Which will be competitive?** p 1-269, 2012.

LUGOBONI, L. F., ZITTEI, M.V.M., PEREIRA, R.S., RODRIGUES, G.B.S. **Análise dos relatórios de sustentabilidade das indústrias de papel e celulose.** Revista Metropolitana de Sustentabilidade – RMS, São Paulo, v.3, nº 03, p.66-88, 2013. Disponível em < file:///C:/Users/Dell/Documents/DOCUMENTOS_2018/DOUTORADO_2018/REFERENCIAS_ATUALIZADAS/BOLSA_VALOREES_B3/268-1143-1-PB.pdf>. Acesso: ago. 2018.

LUXRESEARCH INC., **Bio-based Materials and Chemicals, Client Portal**. Disponível em: <http: // www.LUXRESEARCHinc.com / coverage-areas / bio-based-materials-and-chemicals.html >. Acesso: jul. 2013.

LUXRESEARCH INC., **Bio-based Materials and Chemicals, Company Profile: Genomatica**, Client Confidential, 2012 and 2014, p.1-3.

MACEDO, F.; BARBOSA, H.; CALLEGARI, I.; MONZONI M. e SIMONETTI, R. BM&FBOVESPA e Centro de estudos em Sustentabilidade da EAESP-FGV (GVces) - **O Valor do ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) – Principais estudos e a perspectiva dos investidores,** São Paulo, nov. de 2012. Disponível em: < http://www.bmfbovespa.com.br/Indices/download/O-Valor-do-ISE.pdf>. Acesso: out. 2013.

MALVEDA, M.; KUMAMOTO, T. **Lactic Acid, Its Salts and Esters**, IHS Chemical, Chemical Economics Handbook, p.1-80, January 2013.

MALVEDA, M.P.; BLAGOEV, M.; FUNADA, C.; LIU, J. **GLYCERIN - CEH - Chemical Economics Handbook - Marketing Research Report,** IHS Chemical 662.5000 A**,** June 2012, p.1 a 118.

MARQUES, F. **Obstáculos no caminho**, Revista Pesquisa FAPESP, Edição 268, jun. 2018. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/06/18/obstaculos-no-caminho/. Acesso: out. 2018.

MATHERS, R.T., MEIER, M.A.R. **Green Polymerization Methods - Renewable Starting Materials, Catalysis and Waste Reduction**, Wiley – VCH, 2011.

MCGEE, J.V., PRUSAK, I. **Gerenciamento estratégico da informação,** Editora: Campus, 1994.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 2): conversion technologies.** Bioresource Technology, Volume 83 -1, p. 47–54, mai. 2002.

MCKINSEY, **Analytics comes of age**, January 2018 Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Analytics%20comes%20of%20age/Analytics-comes-of-age.ashx>. Acesso: out. 2018.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – **Estratégia Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação 2016-2022,** impresso em 2017. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Política/16_03_2018_Estrategia_ Nacional_de_Ciencia_ Tecnologia_e_Inovacao_2016_2022.pdf.>. Acesso: jan. 2018.

MERCK, **Annual Report 2017,** p.1-328. Disponível em: < https://www.merckgroup.com/ content/dam/web/ corporate/non-images/ investors/reports-and-financials/ earnings-materials/ 2017-q4/en/2017-Q4-Report-EN.pdf>. Acesso: jan. 2018.

MORITA, A.T. **Projeto Microalgas**, entrevista concedida à Selma Barbosa Jaconis e comunicação interna confidencial na Braskem, São Paulo, ago., 2014.

MOUSDALE, D.M. **Introduction to Biofuels**, CRC Press. 2010.

MUSSATO, S.I. **Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery**, Elsevier, 2016.

NAÇÕES UNIDAS. **World urbanization prospects**. 2017. Disponível em: < https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Acesso: ago. 2018.

NAÇÕES UNIDAS. **World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100,** 2017 Disponível em: < https://www.un.org/ development/desa/en/ news/population/world-population-prospects-2017.html> Acesso: ago. 2018.

NATURA, **Tecnologias Verdes,** 2013. Disponível em: <http://naturaekos.com.br/tecnologias-verdes/>. Acesso: out. 2013.

NOMANBHAY, S. SALMAN, B. HUSSAIN, R. ONG M.Y. **Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass—a contribution to power Africa.** Energy, Sustainability and Society, December 2017. Disponível em: < https://link.springer.com/article/10.1186/s13705-017-0126-z >. Acesso: mar. 2018.

NOVA-INSTITUT GmbH. **Market Study on Bio-based Polymers in the World - Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020** nova-Institut GmbH, Version 2013-07, April 2013. Disponível em: <http://www.bio-based.eu/market_study/media/files/13-10-01MSFolder-1Kopie.pdf>. Acesso: abr. 2014.

NOVA CANA. **GranBio tem prejuízo de R$ 118 milhões em 2017: futuro envolve renegociar dívidas e voltar a produzir E2G** Disponível em: <https://www.novacana. com /n/industria/ financeiro/granbio-prejuizo-2017-futuro-envolve-renegociar-dividas-produzir-e2g-230518>. Acesso: ago. 2018.

NOVA CANA. **Primeira usina de etanol celulósico do mundo, da Beta Renewables, é desativada.** Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/primeira-usina-etanol-celulosico-mundo-beta-renewables-desativada-071117>. Acesso: abr. 2018.

NOVA CANA. Dilema do Etanol 2G: os desafios da matéria-prima celulósica. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/dilema-etanol-2g-desafios-materia-prima-celulosica-260117>. Acesso: abr. 2018.

OECD. **Industrial Biotechnology and Climate Changes – Opportunities and challenges.** 2011. Disponível em: < http://www.oecd.org/sti/biotech/49024032.pdf>. Acesso: jan. 2013.

OECD. **Global Material Resources Outlook to 2060.** Disponível em <http://www.oecd.org/ environment/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452>. Acesso: nov. 2018.

OLIVEIRA, M. **Diesel de cana - Combustível vai ser produzido por meio de transformações genéticas em leveduras,** Revista FAPESP, Edição 153, nov.2008. Disponível em <http://revistapesquisa.fapesp.br/2008/11/01/diesel-de-cana/>. Acesso: nov. 2017.

OLIVEIRA, M.G. **Roadmapping- Uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias**. Elsevier Editora Ltda., 2012, p. 1-181.

OLIVEIRA, P. **5 Megatendências que impactarão o futuro, segundo a PwC, 2015**. Disponível em: < https://www.mundodomarketing.com.br/reportagens/pesquisa/34607/5-megatendencias-que-impactarao-o-futuro-segundo-a-pwc.html>. Acesso: ago. 2018.

OROSKI, F.A. **Modelos de negócio e transição de sistemas tecnológicos: o caso dos bioplásticos.** Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Bioquímicos), Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PALMQVIST, E.; HAHN-HAGERDAL, B. **Fermentation of lignocellulosic hydrolysates I: inhibition and detoxification**. Bioresource Technology, v. 74, p. 17-24, 2000.

PARLAMENTO EUROPEU - Atualidade-**Economia Circular: definição, importância e benefícios**. Disponível em: < http:/ /www.europarl.europa.eu/ news/pt/headlines/ economy/ 20151201STO05603/ economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>. Acesso: abr. 2018.

PASQUINI, R.S. **A sustentabilidade nas empresas**. Disponível em: < http:// metropolerevista.com.br /colunistas/sustentabilidade/a-sustentabilidade-nas-empresas/18743 >. Acesso: mar. 2014.

PETROBRAS- **Fatos e Dados - Conheça o etanol produzido com bagaço de cana.** Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/ fatos-e-dados/ conheca-o-etanol-produzido-com-bagaco-de-cana.htm? gclid = CJ_ um7jd4LwCFSXl7AodEzsAWA>. Acesso: fev. 2014.

PHAAL, R. **Public domain roadmaps**. University of Cambridge, 2011. Disponível em: <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ ctm/trm/documents/ public_domain_roadmaps.pdf.>. Acesso: abr. 2012.

PHAAL, R. **Public domain roadmaps**. University of Cambridge, 2008. Disponível em: <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ ctm/trm/documents/ published_roadmaps.pdf.>. Acesso: abr. 2012.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **Technology Roadmapping – A planning framework for evolution and revolution.** Technological Forecasting & Social Change, v.71, p.5-26, 2004.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **T-Plan: The fast start to Technology Roadmapping – Planning your route to success.** Cambridge University, Institute of Manufacturing, UK, October 2001.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.; PROBERT, D. **Roadmap Tecnológico: linking technology resources to business objectives.** Centre for Technology Management, University of Cambridge, Institute for Manufacturing, Mill Lane, Cambridge, UK, November 2001, Disponível em: < http://www-mmd.eng.cam.ac.uk/ctm/>. Acesso: abr. 2012.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **Developing a Technology Roadmapping System**, Proceedings of the 2005 PICMET, Portland, 2005.

PHAAL, R.; MULLER, G. **An architectural framework for roadmapping: towards visual strategy**. Technological Forecasting & Social Change, v. 76, p. 39-49, 2009.

PHILP, J.C.; RITCHIE, R.J. and GUY, K. **Biobased plastics in a bioeconomy**. Trends in biotechnology, v.31, nº02, February 2013.

PHILP, J.C; RITCHIE, R.J. and ALLAN, J.E.M. **Biobased Chemicals: the convergence of green chemistry with industrial biotechnology.** Trends in Biotechnology- Forum: Science & Society, Biotechnology policy series, v.31, nº 04, p.219-222, 2013.

PIRZADAH, T.B., MALIK, B., KUMAR, M., REHMAN, R.U. **Lignocellulosic biomass: as future alternative for bioethanol production.** Biomass Bioenergy p. 145–163, 2014.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2020 - Ministério de Minas e Energia-MME, publicado em nov., 2011, Brasília, Brasil.

PLATT, D. **The Future of Bioplastics for Packaging to 2020** - Global Market Forecasts, Pira International Ltd., p.1-122, 2010.

PICATAGGIO, S. **Engineering a Novel Yeast Biocatalyst for the Next-Generation Cellulosic Ethanol Process, Verdezyne**, World Congress on Industrial Biotechnology & Bioprocessing, mai. 2011, Toronto, Canada.

PÖYRY MANAGEMENT CONSULTING. D2.3 - **Report on the Assessment of the Bio-based Products Market Potential for Innovation. It is a deliverable of WP2 (Market Assessment and Needs Assessment) of the BIOCHEM project**. This publication has been produced as part of the BIOCHEM project activities co-financed by the European Commission. September 30,

2010, p.1-62. Disponível em: <http://eennortheastengland. files.wordpress.com /2011/08/ assessment-of-the-bio-based-products-market-potential-for-innovation1.pdf> e <http://www.biochem-project.eu /download/ toolbox/ innovation/06/ Biobased% 20market% 20teaching%20report.pdf>. Acesso: nov. 2013.

PwC - **A decade of digital Keeping pace with transformation – 2017 Global Digital IQ® Survey** – p.1-30, 2017. Disponível em < https://www.pwc.com/ee/et/publications/pub/pwc-digital-iq-report.pdf>. Acesso: set. 2018.

PwC - **Megatrends to watch in the paper and packaging industry – p.1-4, 2017.** Disponível em<http://usblogs.pwc.com/industrialinsights/2017/05/09/megatrends-to-watch-in-the-paper-and-packaging-industry/. Acesso: jun. 2018.

RAICHER, G.; **Análise Econômica da Produção de Polímeros Biodegradáveis no contexto de uma biorefinaria a partir de cana-de-açúcar,** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/ Instituto Butantã / IPT, para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia, 2011.

RAPIER, R. **Cellulosic Ethanol Falling Far Short of The Hype- FORBES, fev., 2018** Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2018/02/11/cellulosic-ethanol-falling-far-short-of-the-hype/#892d0b505f56>. Acesso: nov. 2018.

REDDY, M.M.; VIVEKANANDHAN, S.; MISRA, M.; BHATIA, S.K. and MOHANTY, A.K. **Biobased plastics and bionanocomposites: Current Status and Future opportunities**, Progress in Polymer Science, v.38, p.1653-1689, 2013.

RENMATIX; **Technology - Plantrose™ Process** Disponível em: <http://renmatix.com/ technology/ our-technology >. Acesso: abr. 2013.

RODDY, D.J. **Biomass in a petrochemical world**. Interface Focus 2013 3: 20120038. Published: 21 December 2012. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2012.00382013>. Acesso: mai. 2013

SALEH, A. **Commercial Bio Succinic Acid Production**, Myriant, BioWorld Congress, Montreal, 2013.

SANTOS, M.F.R..F, BORSCHIVER, S. and COUTO, M.A.P.G. **The Application of Roadmap Tecnológico Method Related to Sustainable Energy: Case Study in the World and Brazil**, Chemical Engineering and Science 1, no. 4 (2013): 67-74. doi: 10.12691/ces-1-4-4.

SANTOS, M.F.R.F., **Elaboração do Roadmap Tecnológico para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil,** Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Bioquímicos), Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, J.R.A., GOUVEIA, E.R. **Produção de bioetanol de bagaço de cana-de-açúcar,** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, nº1, p.27-33, 2009.

SENGUPTA, D. PIKE, R.W. **Chemicals from Biomass – Integrating Bioprocess into Chemical Production Complexes for Sustainable Development** CRC Press, 2013.

SCARAMUZZO, M. **DuPont muda foco e revê divisão química,** Jornal Valor Econômico - 25/07/2013 –Disponível em: <https://conteudoclippingmp. planejamento.gov.br / cadastros /noticias /2013/7/25/ dupont-muda-foco-e-reve-divisao-quimica/ >. Acesso: jul. 2013.

SCHUCHARDT, U.; RIBEIRO, M.L.; GONÇALVES, A.R. **A indústria petroquímica no próximo século: como substituir: O petróleo como matéria-prima?** Química Nova, v. 24, nº. 2, p. 247-251, 2001.

SHARMA, S.K., MUDHOO, A. **Green Chemistry for Environmental Sustainability**. CRC Press, 2011.

SHELLEY, S. - **A Renewable Route to Propylene Glycol**, August 2007. Disponível em: <http://www.aiche.org/resources/ publications/cep/2007/august/renewable-route-propylene-glycol>. Acesso: jul. 2013.

SILVA, E.A.B. **Enzimas na Produção de Etanol Celulósico: 2x Sustentável!** NOVOZYMES, 1º Curso Técnico de Produção de Etanol 2G. Atuais tecnologias para a produção de etanol 2G e casos de viabilidade no Brasil, Ribeirão Preto-SP, 21 de mar. de 2014.

SILVA, M.F.O., PEREIRA, F.S., MARTINS, J.V.B. **A Bioeconomia brasileira em números,** BNDES Setorial 47, p.277-332, mar. 2018. Disponível em: < https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15383>. Acesso: jul. 2018.

SLOME, S. R. **Next Generation Biofeedstocks: Resources for Renewables**, Nexant Special Reports – Report overview, 2013.

SMITH, K.; SRIRAM, P. and PUJARI, A. **Chemical Economics Handbook - CEH - Dimethyl Terephthalate (DMT) and Terephthalic Acid (TPA) (695.4020),** Disponível em: < http://www.ihs.com/chemical >. Acesso: set. 2013.

SMOCK, D.A. **Global Markets and Technologies for Bioplastics**; BCC Research LLC; February 2012. Disponível em: <http://www.bccresearch.com/market-research/plastics/bioplastics-markets-technologies-pls050b.html. >. Acesso: mai. 2012.

SOARE, A. **REPORT -Cultivating Capacity for Bio-based Materials and Chemicals through 2017**, LUXRESEARCH INC., p.1-26, 2013.

STAFFAS, L., GUSTAVSSON, M., MCCORMICK, K. **Strategies and Policies for the Bioeconomy and Bio-Based Economy: An Analysis of Official National Approaches** Sustainability, 2013, 5, p. 2751-2769; doi:10.3390/su5062751, Disponível em: <http://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso: dez. 2014.

STAR-COLIBRI, **Star-COLIBRI project: biorefinery clustering - Collaboration Initiative on Biorefineries,** 2011. Disponível em: <http://www.star-colibri.eu/news/latest-news/star-colibri-project-2-years-of-succesful-collaborations-come-to-an-end-2.html>. Acesso: dez. 2013.

STUART, P.R., EL-HALWAGI, M.M. **Integrated Biorefineries – Design, Analysis and Optimization**, CRC Press, 2013.

SZWARC, A. **Consultor de Emissões e Tecnologia da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA).** Disponível em: <http://www.única.com.br/noticia/ 29810917920343378786/usina-pioneira-de-etanol-celulosico-coloca-brasil >. Acesso: set. 2013.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, **Biopolymers Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forest 2017-2015**, November 2017.

TERRA, J.C. **10 Dimensões da Gestão da Inovação – Uma abordagem para a transformação organizacional,** Elsevier, 2012.

TOPPINENA, A., PÄTÄRIB, S., TUPPURAB, A., JANTUNENB, A. **The European pulp and paper industry in transition to a bio-economy: A Delphi study,** Futures, v. 88, p. 1-14, 2017.

TOTAL **– Biomass Meeting the Biotechnology Challenge – Developing a Sustainable Energy Source Through Enterprising R&D, 2012.** Disponível em: <http://total.com/en/total-biomass-2012>. Acesso: mar. 2014.

TRINDADE, S.C. **Biofuel's Engineering Process Technology**, 5, p.103-114, InTech, 2011.

ULBER, R.; SELL, D.; HIRTH, T. **Renewable Raw Material – New Feedstocks for the Chemical Industry,** Wiley-VCH, 2011.

SOUZA, Z.J., **UNICA - Designing a sustainable bioeconomy**, BBEST2017 -Sessão especial IV: Biorrefinarias – Brazilian Bioenergy Science and Technology Conference – out. 2107. Disponível em : <http://www.bbest.org.br/index.php/2-bbest-2017>. Acesso: dez. 2017.

USDA (United States Depatment of Agriculture); **U.S. Biobased Products Market Potential and Projections Through 2025**. p.1-294. February, 2008.

VALENTIM, M. **Gestão da Informação e do Conhecimento no âmbito da ciência da informação**, Editora Polis, 2008.

VASWANI, S. **Bio-Based Succinic Acid. Process Economics Program**, Review No. 2010-14, p. 1-49, December, 2010.

VAZ, S.J.; **Biomassa para Química verde**, Embrapa Agroenergia, p.1-181, 2013.

VOEGELE, Erin - **Barreling into Biobased Chemical Markets- Biorefining Magazine**, set., 2010. Disponível em: <http://www.biorefiningmagazine.com / articles /82/ barreling -into-biobased-chemical-markets>. Acesso: abr. 2012.

VOEGELE, Erin - **Verbio to buy DuPont cellulosic ethanol plant, convert it to RNG- Ethanol Producer Magazine,** nov., 2018. Disponível em: <http://ethanolproducer.com /articles/15760/ verbio-to-buy-dupont-cellulosic-ethanol-plant-convert-it-to-rng>. Acesso: nov. 2018.

WANG, X.; WELLS, R.H. **UF Researchers improve process to create renewable chemicals from plants.** Disponível em: <http://news.ufl.edu/ 2013/04/03/ biopolymer/>. Acesso: abr. 2013.

WWF-Brasil. **O que é desenvolvimento sustentável?** Disponível em: <http:// www.wwf.org.br/ natureza_brasileira/ questoes_ ambientais / desenvolvimento_sustentavel/>. Acesso: out. 2018.

ZAGO, A.P.P., JABBOUR, C.J.C., BRUHN, N.C.P. **Sustentabilidade corporativa e criação de valor: o caso Dow Jones Sustainability Index,** Gest.Prod., v.25, nº03, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/ scielo.php? script=sci_arttext & pid=S0104 -530X2018000300531 &lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso: nov. 2018.

ZAFAR, S. **Biochemical Conversion of Biomass.** Disponível em: <https: //www. bioenergy consult. com / biochemical - conversion-technologies/>. Acesso: abr. 2018.

ZAUTSEN, R.R.M. **Fermentação alcoólica e extração líquido-líquido simultânea de etanol e de inibidores provenientes de caldo hidrolítico de biomassa lignocelulósica**, Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ ver_documento.php?did=2278>, 2011.

ZUIN, V.G. **4th International IUPAC Conference on Green Chemistry (ICGC),** 25 a 29 de ago. de 2012. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/?p=informativo_mat.php&id=1077>. Acesso: out. 2013.

APÊNDICE A - LISTA DE SITES PARA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM RENOVÁVEIS

Este apêndice contém a lista dos 122 sites selecionados para a prospecção tecnológica em renováveis, de acordo com o nível 1 desta tese de doutorado, abordando informações sobre temas como: produtos químicos bioderivados, biopolímeros, biocombustíveis, biomassa, tecnologias de transformação, mercado, entre outros. Este quadro vem sendo estruturado desde janeiro de 2012 e foi atualizado em agosto de 2018.

Quadro A.0.1 – Lista de sites para prospecção tecnológica em renováveis.

N°	Site	Classificação	Descrição	Logomarca (Logotipo /símbolo) (*) (*) marca da empresa escrita em uma determinada forma
1	http://www.luxresearchinc.com/	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**Lux Research INC**. – Site de empresa especializada em entender as novas oportunidades de negócios em tecnologias emergentes, bem como as suas implicações nos negócios atuais.	luxresearch
2	http://www.biofuelsdigest.com/bdigest	Site técnico especializado	**BiofuelsDigest** – Site de Plataforma de notícias diárias sobre biotecnologia, energias renováveis e sustentabilidade.	BiofuelsDigest The world's most widely read biofuels daily
3	http://www.biofuelsdigest.com/biobased	Site técnico especializado	**BiobaseDigest** – Site de Plataforma de notícias diárias sobre biotecnologia, energias renováveis e sustentabilidade.	BioBasedDigest The leading bio-based product news source
4	http://www.icis.com/chemicals	Site técnico especializado	**ICIS Chemical Business** – Site de fornecedor de informações mundiais sobre o mercado de petroquímicos com rápido crescimento nas divisões de energia e de fertilizantes. Apresenta notícias relevantes, análises e consultoria independente, além de dados confiáveis sobre preços, amplamente citados como referência em contratos.	ICIS.com ICIS Green Chemicals Monitoring the development of green within the chemical industry
5	http://greenchemicalsblog.com	Site técnico especializado - Blog	**Green Chemicals Blog** – Site que se propõem a acompanhar o desenvolvimento da sustentabilidade dentro da Indústria Química- Publicações de autoria de Doris de Guzman que apresenta notícias sobre química verde incluindo iniciativas sobre sustentabilidade, novas tecnologias, processos alternativos, P&D, empresas e seus movimentos, comentários e indicação de relatórios publicados.	Green Chemicals Blog

6	http://www.mckinsey.com/about_us	Site de empresa de consultoria em gestão	**McKinsey & Company** - Site de empresa global de consultoria de gestão. Publicação de artigos, White papers e relatórios.	
7	http://www.bccresearch.com/aboutus	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**BCC Research** - Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global, atuando em mudanças impulsionadas pela ciência e tecnologia, proporcionado às empresas informações necessárias para tomar decisões de negócios e estratégicas. Publicação anual de relatórios com temas específicos.	
8	http://www.amiplastics.com/#	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**Applied Market Information Ltd.** – Site de empresa de consultoria de pesquisa de mercado global líder no fornecimento de pesquisa, consultoria e serviços analíticos para a indústria de plásticos no mundo, também organiza conferências e seminários que fornecem uma excelente oportunidade para networking empresarial. Publica revistas técnicas especializadas como: Compounding World e outras.	
9	http://www.bioplasticsmagazine.com/en/	Site técnico especializado	**Bioplastics MAGAZINE** – Site de revista especializada e dedicada a bioplásticos, com informações atualizadas sobre novos desenvolvimentos, aplicações, aspectos políticos e desenvolvimento de mercado para plásticos de origem renovável e plástico biodegradável.	
10	http://www.greencarcongress.com/	Site técnico especializado	**Green Car Congress** – Site direcionado a fornecer informações em tempo útil e com alta qualidade para apoio na adoção de soluções de energia sustentável.	
11	http://infopetro.wordpress.com/about/	Site técnico especializado - Blog	**Boletim eletrônico Infopetro-** Site publicado pelo Grupo de Economia da Energia, inicialmente, para acompanhar as transformações em curso nas indústrias de petróleo e gás no Brasil, ampliando o seu escopo de análise de forma a incorporar o conjunto das indústrias de energia como tema de seus artigos, privilegiando as grandes mudanças em curso no contexto energético nacional e internacional. Destaque para a série: O Futuro dos biocombustíveis- José Vitor Bomtempo.	
12	http://www.oecd.org/about/	Site de organização ligada a ações governamentais	**Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) –** Site de fórum no qual os governos podem trabalhar juntos para compartilhar experiências e buscar soluções para problemas comuns e para entender o que impulsiona a mudança econômica, social e ambiental, inclusive recomendando políticas. Medem a produtividade e fluxos globais de comércio e investimento, analisam e comparam dados para prever tendências futuras. Procuram formas de promover e apoiar novas fontes de crescimento por meio da inovação, estratégias de crescimento verde e ambientalmente amigáveis e ao desenvolvimento de economias emergentes.	
13	http://bioplastic-innovation.com/	Site técnico especializado - Blog	**Bioplastic Innovation** – Site relacionado com as soluções comerciais, tendências e inovações em biopolímeros e biocompósitos, além de inteligência de pesquisa fundamental sobre os mais recentes desenvolvimentos no mundo dos bioplásticos, novidades da indústria, eventos relevantes e novas empresas no mercado.	

14	http://bio-based.eu/news/	Site técnico especializado	**Bio-Based News** – Site sobre portal para economia de bioderivados e materiais da indústria de biotecnologia.	
15	http://www.bnamericas.com/en/about-us	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**BN Americas** – Site de empresa de inteligência de negócios, identificando oportunidades, desenvolvimentos futuros, provendo análises confiáveis e em tempo real, incluindo investimentos e movimentos na América Latina.	
16	http://www.plasticstoday.com/	Site técnico especializado	**Plastic Today** – Site técnico sobre informações sobre a indústria de plásticos em todo o mundo.	
17	http://www.brazilianplastics.com/who.htm	Site técnico especializado - Blog	**BRAZILIAN PLASTICS** – Site com foco no mercado de plásticos no Brasil, incluindo notícias relevantes sobre a indústria de plásticos em todo o mundo.	
18	http://www.macplas.it	Site técnico especializado	**MACPLAS ONLINE** –Site com informações sobre o mercado de plástico na Itália e no mundo.	
19	http://www.agra-net.com/portal2/	Site técnico especializado	**F.O.Lichts Renewable Chemicals** – Site da Informa Agra é especializado em informações sobre política agrícola e alimentar e seus mercados, regulamentação e legislação. Apresenta boletins on-line, serviços de dados on-line além de relatórios e conferências. Editor do Food Chemical News, o relatório semanal líder em política de alimentos dos EUA. F.O. Licht é uma das divisões do Informa Agra que analisa *commodities* para uma ampla gama de produtos, incluindo o etanol, biocombustíveis, açúcar, produtos químicos renováveis e biomassa.	
20	http://www.sciencedirect.com/science/journal/00401625	Site sobre Revista técnica internacional	**Technological Forecasting and Social Change** – Site do fórum sobre metodologia e prática de previsão tecnológica e estudos futuros como ferramentas de planejamento, bem como, seus inter-relacionamentos com os fatores sociais, ambientais e tecnológicos.	
21	http://www.biofpr.com/view/0/index.html	Site sobre Revista técnica internacional	**Biofuels, Bioproducts & Biorefining (Biofpr)** – Site sobre fonte de informações sobre produtos sustentáveis, combustíveis e energia, contendo notícias, artigos e conteúdo interativo no site atualizado com os mais recentes avanços no campo.	

22	http://www.biochem-project.eu/	Site técnico especializado sobre projeto de apoio no setor de produtos de base biológica para oito países na Europa	**BIOCHEM – Europe Innova – Eco – Innovation – European Commission** - Site do projeto Biochem, que começou em 1 º de fevereiro de 2010, para apoio as empresas startups e PME, para promover parcerias e inovação no setor dos produtos de base biológica no setor químico, que representam benefícios econômicos, ambientais e sociais. Oito países participam no projeto BIOCHEM: Reino Unido, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Itália, Holanda e Espanha; os parceiros do consórcio BIOCHEM incluem agências de inovação, organismos de financiamento público e consultorias do programa; desenvolve ferramentas, metodologias e processos adaptados para as PME, que incluem material de orientação e ferramentas de apoio à inovação.	
23	http://biconsortium.eu	Site técnico especializado	**Bio-based Industries Consortium** – Site do consórcio que reúne mais de 60 grandes e pequenas empresas entre grupos e organizações tecnológicas, de agricultura e silvicultura europeus, que têm o compromisso de investir em pesquisa colaborativa, desenvolvimento e demonstração de tecnologias de base biológica dentro das parcerias público-privadas (PPP) para a proposta da Comissão Europeia para o Horizonte 2020 e o Plano de Estratégia e Ação para a Bioeconomia Sustentável na Europa.	
24	http://www.inovacaotecnologica.com.br/	Site técnico especializado	**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA** – Site especializado em divulgação científica e tecnológica, desde 1999, sediados em Campinas (SP).	
25	http://www.ibp.org.br/	Site técnico especializado	**IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis** – Site de organização privada de fins não econômicos, fundado em 1957, que conta hoje com mais de 200 empresas associadas, e tem como foco a promoção do desenvolvimento do setor nacional de petróleo, gás e biocombustíveis, visando uma indústria competitiva, sustentável, ética e socialmente responsável.	
26	http://www.brasilagro.com.br/index.php	Site técnico especializado	**BrasilAgro** – Site produzido pela A & K EDITORA LTDA, com notícias nacionais e internacionais de agro energia, biocombustíveis, agronegócios, economia, energia, tecnologia, eventos, bolsas, meio ambiente, questão agrária, trabalho e opinião.	
27	http://cen.acs.org/static/about/aboutus.html	Site sobre Revista técnica internacional	**C&EN_Chemical & Engineering News** - Site de revista internacional publicada pela American Chemical Society, sobre ciência e tecnologia, negócios e indústria na área química.	
28	http://gcep.stanford.edu/about/index.html	Site técnico especializado	**Global Climate and Energy Project (GCEP) at Stanford University** – Site sobre projetos para busca de novas soluções para um dos grandes desafios deste século: o fornecimento de energia para atender às novas necessidades de uma população mundial crescente de uma forma que protege o meio ambiente. Os patrocinadores GCEP incluem empresas privadas com experiência e conhecimentos em setores-chave de energia: ExxonMobil, GE, Schlumberger, Toyota, DuPont e Bank of America.	

29	http://www.petronoticias.com.br/about	Site técnico especializado	**Petronotícias**- Site de informações com o objetivo de divulgar as notícias dos setores de Petróleo & Gás e Energia, incluindo as novidades do mercado.	
30	http://www.institutocarbonobrasil.org.br/quem_somos	Site técnico especializado	**Instituto Carbono Brasil de Desenvolvimento Científico e Tecnológico** – Site da empresa Carbono Brasil Tecnologia e Serviços Ambientais Ltda., atuando desde junho de 2010, nas áreas de comunicação e pesquisas científicas e tecnológicas com bases ambientalmente sustentáveis visando à conservação da biodiversidade e a melhoria da qualidade de vida. observação: o site foi desativado em 22 de agosto de 2014	
31	http://www.afdc.energy.gov/about.html	Site técnico especializado	**Alternative Fuels Data Center_DOE_NREL** – Site do AFDC é um recurso do Departamento de Energia dos EUA no programa Cidades Limpas da Energia e administrado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL), abrangendo informações sobre tecnologias avançadas de transporte, implantação de combustíveis alternativos e veículos avançados.	
32	http://www.sopheon.com	Site técnico especializado	**Sopheon** - Site de fornecedor internacional de software e serviços de desempenho da inovação empresarial, a solução Accolade ® para gerenciamento da inovação engloba o planeamento da inovação, a ideação, a execução do processo de inovação, gestão de produtos no mercado e gestão de portfólio de produtos.	
33	http://www.omnexus.com/home/aboutus/about-us.aspx	Site técnico especializado	**Omnexus - SpecialChem** – Site relacionado com soluções para plásticos e elastômeros.	
34	http://www.plastemart.com/	Site técnico especializado	**Plastemart** – Site com notícias sobre toda a cadeia do plástico.	
35	http://biodieselmagazine.com/pages/about/ http://www.bbiinternational.com/ema/About_BBI	Site técnico especializado	**Biomass Magazine** – Site de revista técnica especializada publicada mensalmente sobre a produção ou utilização de energia de biomassa e calor, biocombustíveis avançados, biogás, aglomerados de madeira e produtos químicos de base biológica. **BBI International** – Site de entidade que promove eventos de reconhecimento internacional na área de bioenergia entre eles: International Biomass Conference & Expo, International Fuel Ethanol Workshop & Expo (FEW) e National Advanced Biofuels Conference & Expo, além das revistas técnicas: Biomass Magazine, Ethanol Producer Magazine e Biodiesel Magazine.	
36	http://polynews.net/en/	Site técnico especializado	**PolyNews** – Site sobre notícias relacionadas com a cadeia do plástico.	

37	http://www.specialchem4polymers.com/	Site técnico especializado	**SpecialChem** – Site relacionado com tecnologia e desenvolvimento de negócios em química e materiais, novos produtos, novas aplicações, novas tecnologias e oportunidades.	
38	http://www.synbioproject.org/about/	Site técnico especializado	**Synthetic Biology Project** - Site sobre o avanço da biologia sintética - um campo interdisciplinar emergente que usa a ciência avançada e engenharia de organismos "Vivo" s, como bactérias, para que eles possam realizar funções específicas.	
39	http://www.freedoniagroup.com/	Site técnico especializado	**Freedonia** – Site sobre empresa especializada em fornecer estudos específicos sobre mercados industriais globais e toda a economia regional, incluindo previsões de produtos e de mercado, oportunidades e ameaças, estratégias competitivas, tendências internacionais e outros fatores que impactam o crescimento, perfis das empresas mais ativas na indústria e participação de mercado para empresas líderes, etc.	
40	https://www.smitherspira.com/home.aspx	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**SmithersPira** – Site especializado em fornecer pesquisa de mercado e consultoria estratégica / técnica, para as áreas de embalagens, impressão e papel da indústria cadeias de abastecimento.	
41	http://www.chemsystems.com/	Site técnico especializado	**ChemSystems** – Site de unidade de negócios da Nexant Inc. que fornece dados comerciais e de mercado abrangentes, análises, previsões e ferramentas de planejamento para os mercados de petróleo e produtos químicos e são amplamente reconhecidos pela indústria.	
42	http://www.lucintel.com/about_us.aspx	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**Lucintel** – Site de empresa especializada em pesquisa de mercado global e consultoria de gestão para entender a dinâmica do mercado e identificar novas oportunidades.	
43	http://bio-based.eu/news/	Site técnico especializado	**Bio-based.eu News** – Site especialido em informações sobre bioeconomia (bio-based economy, bio-based chemicals and materials industrial biotechnology).	
44	http://www.nova-institut.de/	Site técnico especializado	**nova-Institut GmbH** – Site fundado em 1994 como um instituto privado e independente que oferece pesquisas e consultoria com foco em economia baseada em biomassa e CO_2. Atua ativamente e globalmente no fornecimento de informações sobre matéria-prima, avaliação técnico-econômica e ambiental, pesquisa de mercado, difusão, gerenciamento de projetos e de políticas para uma economia de base biológica sustentável.	

45	http://www.ecofinancas.com/	Site técnico especializado em análises econômicas	**Ecofinanças** - Site sobre notícias atualizadas em economia e finanças.	
46	http://www.novacana.com/#	Site técnico especializado	**Nova cana** - Site com notícias sobre etanol, cana, açúcar e cogeração.	
47	https://www.ncbi.nlm.nih.gov	Site técnico especializado	**NCBI - National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine** – Site técnico de órgão que trabalha em colaboração com o National Institutes of Health (NIH) e que visa encontrar novas abordagens para lidar com o volume e com a complexidade dos dados sobre a compreensão da nossa herança genética e seu papel na saúde e na doença.	
48	http://www.cefic.org/sustainability/our-journey/	Site técnico especializado	**Cefic - European Chemical Industry Council** – Site que se apresenta como o fórum da Indústria Química na Europa, com sede em Bruxelas. Representam 29 mil empresas químicas de grande, médio e pequeno porte na Europa, que fornecem diretamente 1,2 milhões de empregos e respondem por 20% da produção química mundial. Trata-se de uma comunidade de negócios comprometida com os formuladores de políticas da UE e facilitador do diálogo com a indústria e para melhorar a gestão de produtos químicos em todo o mundo.	
49	http://www.biodieselbr.com	Site técnico especializado	**Biodieselbr.com** - Site de notícias sobre biodiesel.	
50	http://www.cell.com/trends/biotechnology/home	Site sobre Revista técnica internacional	**Trends in Biotechnology** – Site da revista técnica da Cell Press Journal.	
51	http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/index.html	Site de organização ligada a ações governamentais	**Conseil national de recherches canada | National Research Council Canada -Conselho Nacional de Pesquisa (NRC)** – Site da principal organização do Canadá para pesquisa e desenvolvimento, trabalhando com clientes e parceiros, oferecendo apoio à inovação, pesquisa estratégica, serviços científicos e técnicos.	
52	http://formule-verte.com/	Site técnico especializado	**Formule Verte** – Site com boletim mensal da revista Formule Verte.	

53	http://www.ethanolproducer.com/ http://www.bbiinternational.com/	Site técnico especializado	**Ethanol Producer Magazine**- Site sobre publicação relacionada com a indústria global de etanol. **BBI International** – Site de entidade que promove eventos de reconhecimento internacional na área de bioenergia entre eles: International Biomass Conference & Expo, International Fuel Ethanol Workshop & Expo (FEW) e National Advanced Biofuels Conference & Expo, além das revistas técnicas: Biomass Magazine, Ethanol Producer Magazine e Biodiesel Magazine.	
54	http://www.ihs.com	Site técnico especializado	**IHS Chemical** - Site que oferece produtos, serviços e soluções que abrangem toda a cadeia de valor da Indústria Química com conteúdo abrangente, pesquisas, análises e relatórios.	
55	http://www.lmc.co.uk/	Site técnico especializado	**LMC International** – Site de empresa que trabalha de forma totalmente independente oferecendo aconselhamento aos seus clientes, que incluem a maioria das principais empresas e organizações, em todo o mundo, envolvidos com *commodities* agrícolas, alimentos, materiais industriais, biocombustíveis e seus mercados finais. Publica estudos aprofundados sobre inteligência de mercado, análises objetivas e conhecimentos especializados deste setor industrial.	
56	http://www.snbr2013.com.br/	Site sobre Site sobre Evento Técnico Científico	**II Simpósio Nacional de Biorrefinarias**- Site sobre evento técnico: Estratégias para adicionar valor à cadeia de biomassa – data da realização 24 a 26 de setembro de 2013 - Brasília – DF- Promovido pela Embrapa Agroenergia em parceria com a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) e a Sociedade de Engenharia Química e Biotecnologia da Alemanha (Dechema)	
57	http://www.chemicalbook.com/	Site técnico especializado	**Chemical Book** - Site com informações sobre produtos químicos e empresas na China.	
58	http://www.ebi.ac.uk/chebi/	Site técnico especializado	**ChEBI** – Site com banco de dados sobre informações de entidades químicas de interesse biológico.	
59	http://resan.com.br/	Site técnico especializado	**RESAN** – Site do Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, e de Lojas de Conveniência, e de Empresas de Lava-Rápido e de Empresas de Estacionamento de Santos e Região – Sindicombustíveis Resan.	

60	http://advancedbiofuelsusa.info	Site técnico especializado	**Advanced Biofuels EUA** – Site de organização sem fins lucrativos sobre biocombustíveis avançados, apoiando a entender como os agricultores, produtores, pesquisadores e a indústria podem produzir biocombustíveis sustentáveis e econômicos que irão substituir diretamente todos os tipos de combustíveis para transporte, incluindo gasolina e jetfuel , fornecendo segurança energética, flexibilidade estratégica militar, mitigação das mudanças climáticas e desenvolvimento econômico rural.	
61	http://www.businesswire.com/portal/site/home/about/	Site técnico especializado	**Business Wire** – Site especializado em informações técnicas em diversos segmentos.	
62	http://www.bioenergydc.org/	Site técnico especializado	**BDC- Bioenergy Deployment Consortium** – Site de organização com foco em tecnologias de energia renovável, incluindo mais de vinte empresas parceiras entre fabricantes, fornecedores de tecnologia, agências governamentais e instituições acadêmicas. Uma rede de empresas públicas e privadas interessadas em influenciar o curso da bioeconomia emergente nos Estados Unidos.	
63	http://www.prnewswire.com/	Site técnico especializado	**PR Newswire** – Site de empresa global fornecedora de notícias comerciais e plataformas abrangentes multimídia que permitem aos profissionais de marketing, comunicação corporativo, diretores de sustentabilidade, relações públicas e oficiais de relações com investidores alavancar o conteúdo para interagir com todos os seus públicos-chave. PR Newswire atende dezenas de milhares de clientes de escritórios nas Américas, Europa, Oriente Médio, África e região da Ásia-Pacífico, e é uma empresa da UBM.	
64	http://www.innovativeindustry.net/	Site técnico especializado	**Innovative Industry.net** – Site que se trata de blog com o objetivo de colaborar principalmente no desenvolvimento e aplicação de bioplásticos industriais relevantes, biocombustíveis e produtos químicos obtidos a partir de matérias-primas provenientes de recursos renováveis , como resíduos industriais e biomassa.	
65	http://www.transparencymarketresearch.com/	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**Transparência Market Research (TMR)** – Site de empresa de inteligência de mercado fornecendo relatórios globais de pesquisa de negócios e serviços de consultoria para um período de cinco anos, incluindo os principais desenvolvimentos e tendências tecnológicas.	
66	http://www.chemicals-technology.com/	Site técnico especializado	**Chemicals-technology.com** - Site que se trata de um produto da Net Resources International e que atua em informações atualizadas sobre a indústria de produtos químicos, incluindo uma das listas mais completas e detalhadas de fornecedores de equipamentos químicos, produtos e serviços.	

67	http://www.plasticsnews.com/	Site técnico especializado	**Plastics News –** Site considerado uma das maiores organizações de editorial sobre plásticos do mundo. Propriedade da empresa privada Crain Communications Inc., que incluem as marcas - *Plastics News, Plastics News China, European Plastics News and Plastics & Rubber Weekly, Rubber & Plastics News, European Rubber Journal, Urethanes Technology International and Tire Business.*	
68	http://energiabusiness.com.br/conteudo/nossa-historia	Site técnico especializado	**Energia Business** - Site que nasceu em agosto de 2013, como um novo conceito editorial de alcance estratégico com abordagens sobre a Matriz Energética Brasileira. O Site contempla o cenário energético nacional, análise de mercado, entrevistas com profissionais de todos os segmentos energéticos do País, entre empresários, autoridades, pesquisadores e demais atores do segmento energético.	
69	http://www.b2bioworld.com/index.html	Site técnico especializado	**B2BIOWORLD –** Site sobre notícias e análises em negócios na área de renováveis.	
70	http://royalsocietypublishing.org/about-royal-society-publishing	Site sobre Revista técnica internacional	**Interface Focus** – Site publica questões temáticas a partir da interface entre as ciências físicas e biológicas. **Royal Society Publishing -** Site oferece acesso a periódicos e notícias de ciência recentemente publicadas. Inclui os seguintes periódicos internacionais: 1) Open Biology; 2) Biology Letters; 3) Journal of the Royal Society Interface; 4) Interface Focus; 5) Proceedings A and Proceedings B; 6) Philosophical Transactions A and Philosophical Transactions B.	
71	http://www.bloomberg.com/company/#menu	Site técnico especializado	**Bloomberg Businessweek -** Site direcionado para o fornecimento, com rapidez e precisão, de rede dinâmica de dados, informações comerciais e financeiras, notícias e visão em todo o mundo, incluindo análises por meio de tecnologia inovadora.	
72	http://revista.brasil.gov.br/	Site técnico especializado	**Revista Brasilis –** Site, anteriormente denominado Revista Digital do Portal Brasil, aborda aspectos da cultura, da economia, da história e outros setores da vida do País.	
73	http://www.investimentosenoticias.com.br/geral/institucional/a-empresa.html	Site técnico especializado em análises econômicas	**Investimentos e Notícias –** Site administrado pela Digital Media Serviços de Informação Ltda. (Digital Media Company - DMC), busca a liderança na distribuição de notícias e análises econômicas, informações diárias sobre negócios, economia e finanças do Brasil e do mundo, têm grande ênfase em taxas, índices e cotações.	

74	http://www.agrolink.com.br/Default.aspx	Site técnico especializado	**AgroLink –** Site com notícias sobre agronegócios.	
75	http://www.e-usinas.com.br/conteudo/Noticias/	Site técnico especializado	**Grupo e-usinas –** Site com notícias sobre a plataforma de negócios para o setor sucroenergético.	
76	http://energy.gov/eere/about-us	Site técnico especializado	**ENERGY.GOV** — Site do escritório de Eficiência Energética e Energia Renovável (EERE) do US DOE que acelera o desenvolvimento e facilita a implantação da eficiência energética, de tecnologias de energia renovável e de soluções baseadas no mercado que reforçam a segurança dos EUA a energia, a qualidade ambiental e a vitalidade econômica.	
77	http://www.anpei.org.br/	Site técnico especializado	**Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (Anpei) –** Site de entidade representativa do segmento das empresas e instituições inovadoras. Atua junto a instâncias de governo, ao setor produtivo e aos formadores de opinião, disseminando a importância da inovação tecnológica para a competitividade das empresas e o desenvolvimento do Brasil.	
78	http://www.gartner.com/technology/about.jsp	Site técnico especializado	**Gartner, Inc. (NYSE: IT)** – Site de empresa reconhecido na área de tecnologia da informação, pesquisa e consultoria. Por meio dos recursos das empresas do grupo: Gartner Research, Gartner Executive Programs, Gartner Consulting e da Gartner Events esta empresa busca pesquisar, analisar e interpretar os negócios de informação tecnológica dentro do contexto de papel das empresas individuais. Fundada em 1979, o Gartner tem sede em Stamford, Connecticut, EUA. Possui 5.800 associados, incluindo mais de 1.450 analistas de pesquisa e consultores e clientes em 85 países.	
79	http://www.bio4business.eu/home.html	Site técnico especializado	**Bio4Business** – Site de empresa de consultoria localizada em Stuttgart na Alemanha, com foco em inteligência competitiva, com ênfase na China e no Japão, visando apoio em avaliação de prioridades de marketing e apoio na gestão de projetos. Bio4Business é membro da união de empresas de biotecnologia alemã VBU, Frankfurt am Main, e do CLIB2021 em Düsseldorf.	
80	http://www.canamix.com.br/conteudo/a-revista-canamix	Site técnico especializado	**Portal Cana Mix:** Site com notícias do setor sucroenergético.	

81	http://www.plastixportal.co.za/plastics-industry-news-2013/	Site técnico especializado	**Plastixportal –** Site contendo notícias sobre plásticos e indústria de embalagens na África do Sul.	
82	http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/11/26/	Site técnico especializado	**Canadian Biomass –** Site contendo cobertura abrangente do sobre o mercado canadense de biomassas, bioenergia e bioprodutos.	
83	http://www.businessgreen.com/static/about-us	Site técnico especializado	**BusinessGreen** — Site contendo notícias relacionadas sobre as melhores práticas para se tornar mais responsável ambientalmente.	
84	http://www.maxiquim.com.br/site/index.php	Site técnico especializado	**Maxiquim –** Site de inteligência de mercado relacionada com a performance do negócio na área química. Publica o MaxiQuim Market Outlook (MMO) Renováveis que é uma série de estudos anuais relacionados com o mercado de matérias-primas renováveis, contemplando uma análise do mercado no Brasil.	
85	http://www.bincanada.ca/index.php/about	Site técnico especializado	**Bioindustrial Innovation Canada (BIC)-** Site de órgão cujo objetivo é auxiliar Ontário e o Canadá a se tornarem líderes mundiais reconhecidos em usar matéria-prima sustentável, como subprodutos e resíduos da agricultura e da silvicultura e transformar estes recursos renováveis em energia e produtos químicos de valor agregado para uso em aplicações como na construção de peças automotivas.	
86	http://www.europabio.org/	Site técnico especializado	**EuropaBio-** Site de órgão cuja missão é colaborar para criar uma indústria de biotecnologia inovadora e dinâmica na Europa, comunicando os benefícios da biotecnologia para todos na sociedade.	
87	http://www.biotech-now.org	Site técnico especializado	**BIOtechNow-** Site de notícias do Biotechnology Industry Organization.	
88	http://www.star-colibri.eu/about-star-colibri/project-objectives/	Site técnico sobre projeto cluster em biorefinaria na Europa	**Star-COLIBRI-** Site oficial do projeto Star-COLIBRI relacionado com iniciativa de colaboração em biorrefinarias, visando metas estratégicas de investigação para 2020. Trata-se de uma ação de coordenação e apoio financiado pelo 7 º Programa Quadro da Comissão Europeia por 2 anos a partir de 01 de novembro de 2009, finalizado em novembro de 2011.	

89	http://www.greenpoweracademy.com/	Site técnico especializado	**GREEN POWER ACADEMY –** Site criado em 2008 para resolver a escassez de inteligência de negócios para a indústria de energia renovável. Site foca no fornecimento de conhecimentos para gestores de projetos renováveis e líderes empresariais, para colaborar com os desafios para o crescimento sustentável para o setor das energias renováveis, baseado me menor dependência de energias convencionais (petróleo, gás e carvão).	
90	http://www.fuelsamerica.org/blog/	Site técnico especializado- Blog	**GFUELS AMERICA –** site referente à uma coalizão de organizações comprometidas com a proteção do Padrão de Combustível Renovável (RFS) dos Estados Unidos e a promoção de biocombustíveis caseiros que são bons para a economia dos EUA, para a segurança energética do país e para o meio ambiente. Dessa forma, representa vozes em todo o país, de fazendeiros a cientistas, trabalhando para garantir que a América continue a liderar o mundo no desenvolvimento e produção de biocombustíveis, apoiando a criação robusta de empregos e reduzindo a dependência dos EUA de combustíveis fósseis.	
91	http://www.portaldoagronegocio.com.br/	Site técnico especializado	**PORTAL DO AGRONEGÓCIO** – site especializado em notícias sobre agricultura, florestal, pecuária, ecologia, economia, gestão rural, política rural, energias renováveis, tecnologia e agroindústria.	
92	http://www.agrobiobase.com/en/about	Site técnico especializado	**AGROBIOBASE -** site especializado em promover empresas e produtos na área de renováveis. Possui um banco de dados bem estruturado sobre produtos renováveis divididos por categorias: segmentos de mercado, localização geográfica, aplicação dos produtos, produtos intermediários.	
93	http://www.iar-pole.com/	Site técnico sobre cluster na Europa	**IAR CLUSTER** – Site sobre cluster na Europa para competitividade na indústria de biotecnologia e agronegócios. Apoio seus membros na busca por projetos, financiamento, busca por parceiros, conexão com pesquisas no mundo, análise de ciclo de vida, viabilidade, habilidades, etc.	
94	http://www.clib2021.de/en/clib2021/about-us	Site técnico sobre cluster na Europa	**CLIB 2021 – CLUSTER INDUSTRIELLE BIOTECHNOLOGIE -** Site sobre cluster na Europa para competitividade na indústria de biotecnologia. Possui iniciativas de cooperação em projetos de P&D na indústria de biotecnologia, envolvendo toda a cadeia de valor desde a biomassa, produtos intermediários até produtos finais.	

95	http://www.chemspider.com/About.aspx	Site técnico especializado	**ChemSpider -** Site de propriedade da Royal Society of Chemistry, trata-se de um banco de dados sobre estrutura química que dá acesso rápido para mais de 30 milhões de estruturas, propriedades e informações associadas. Possui informações a partir de mais de 470 fontes de dados e links para as fontes de dados originais.	
96	http://www.jornalcana.com.br	Site técnico especializado	**JORNALCANA ONLINE -** Site criado em 2002, pelo grupo ProCana Brasil sobre o setor sucroenergético.	
97	http://www.c2es.org/energy/use/transportation	Site técnico especializado	**C2ES – the Center for Climate and Energy Solutions-** Site de uma organização independente, imparcial, sem fins lucrativos, que atua em soluções práticas para a mudança climática trazendo autoridades, empresas e outras partes interessadas para alcançar uma compreensão comum e soluções de consenso, com a missão de promover políticas e fortes ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promover energia limpa e fortalecer a resiliência aos impactos climáticos de forma rentável, acreditando que uma estratégia climática sólida é essencial para garantir uma economia forte e sustentável.	
98	http://www.biotech.ca	Site técnico especializado	**BIOTECanada** – site da associação nacional da indústria com mais de 200 membros localizados em todo o país, refletindo a natureza diversa dos setores de saúde, biotecnologia agrícola e industrial do Canadá. Além de proporcionar benefícios significativos à saúde para os canadenses, a indústria de biotecnologia tornou-se rapidamente uma parte essencial da transformação de muitos pilares tradicionais da economia canadense, incluindo as indústrias de manufatura, automotiva, energia, aeroespacial e florestal. A missão da BIOTECANADA é liderar o avanço de um ecossistema de biotecnologia canadense globalmente competitivo. Por meio de uma relação de trabalho construtiva com os formuladores de políticas e os reguladores, estabelecem dados, análises do setor para apoiar um relacionamento de trabalho contínuo em apoio aos objetivos da indústria e governo para o setor. Almeja também aumentar o investimento em inovação, pesquisa e comercialização de biotecnologia no Canadá com o objetivo de estabelecer empresas de biotecnologia globalmente competitivas e comerciais baseadas no Canadá.	
99	https://www.bioenergyconsult.com/	Site técnico especializado	**Bionergy Consult -** Site de uma organização consultiva com vasta experiência nos setores de energias de biomassa, resíduos para energia, biogás, gestão de resíduos sólidos e industriais em todo o mundo. Suas áreas de atuação são: resíduo para energia; gestão de resíduos sólidos; energia de biomassa; biocombustíveis, biogás, gestão de resíduos industriais, reciclagem de lixo.	

100	https://www.ecycle.com.br	Site técnico especializado	**E-CYCLE -** Site de uma organização de uma marca que busca um esforço contínuo de comunicação, atitude empresarial, qualidade das relações que busca desenvolver com os diversos agentes que articula que intentam atuar de maneira efetiva na colaboração por um mundo mais saudável para se habitar, em respeito ao meio ambiente do qual fazem parte e responsabilidade para com as gerações por vir.	
101	http://www.plantetp.org/about/latest-publications	Site técnico especializado	**PLANTS FOR THE FUTURE – European Technology Platform (ETP) -** site de um programa voltado para a cadeia agroalimentar, representando as organizações ativas na pesquisa em ciência vegetal, empresas que investem até 20% de seu faturamento anual em pesquisa e inovação de plantas e agricultores interessados em acessar a mais recente tecnologia adaptada às suas necessidades.	
102	https://www.researchandmarkets.com	Site técnico especializado	**RESEARCH AND MARKETS** – site especializado em vender relatórios de pesquisa de mercado para permitir uma tomada de decisão inteligente.	
103	http://www.euromonitor.com	Site técnico especializado	**EUROMONITOR –** site especializado em inteligência estratégica de mercado, provedor independente, fornecendo informações históricas, tendências e previsões imparciais para cada país, região do globo, categoria de produto, canal de distribuição e perfil de consumidor.	
104	http://compositesmanufacturingmagazine.com/market-segments/	Site técnico especializado	**COMPOSITES MANUFACTURING MAGANIZE-** site referente à publicação oficial da American Composites Manufacturers Association. Publicado bimensalmente, oferece avaliações práticas do estado atual da indústria de compósitos, bem como explorações criteriosas das oportunidades e desafios futuros. Inclui cobertura oportuna dos principais segmentos de mercado, materiais, processos e educação técnica, além de tópicos como sustentabilidade, segurança da fábrica, eficiência operacional e avanços em pesquisa. A revista também apresenta perfis de algumas das pessoas mais talentosas e empresas inovadoras da comunidade de compósitos. A Composites Manufacturing Online oferece conteúdo on-line exclusivo para complementar a edição impressa da Composites Manufacturing.	
105	https://www.smy.fi/en/	Site técnico especializado	**FOREST.FI- -** site especializado em notícias sobre fatos importantes relacionados com florestas finlandesas e o setor florestal e reúnem dados atuais sobre as florestas finlandesas e seus usos desde a colheita até a biodiversidade e seu uso múltiplo.	

106	www.sandia.gov/	Site técnico especializado	**Sandia National Laboratories** – site about the activities of a multi-mission laboratory managed and operated by National Technology and Engineering Solutions of Sandia LLC, a wholly owned subsidiary of Honeywell International Inc. for the U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration.	
107	https://www.radma.net/	Site técnico especializado	**RADMA- Research and Development Management –** site contém informações sobre atividades de educação e pesquisa no campo da tecnologia de pesquisa e gestão da inovação, incluindo oportunidades de financiamento. A RADMA está focada nas necessidades de pesquisadores, profissionais e estudantes de tecnologia de pesquisa e gestão de inovação e está intimamente associado ao periódico e conferências de P & D Management.	
108	https://www.grandviewresearch.com/	Site técnico especializado	**Grand View Research** – site especializado em consultoria e pesquisa de mercado sediado nos EUA, ofertando uma profunda compreensão de muitos ambientes de negócios aos clientes, além de, insights objetivos estratégicos e apoio para tomar decisões comerciais informadas. Fornece relatórios de pesquisa personalizados, serviços de consultoria e estudos de inteligência de mercado, garantindo pesquisas relevantes e baseadas em fatos em vários setores, incluindo produtos químicos, materiais, energia, saúde e tecnologia. O banco de dados Grand View Research é usado por renomadas instituições acadêmicas e empresas da Fortune 500 para entender o ambiente de negócios global e regional.	
109	http://www.plantetp.org	Site técnico especializado	**PlantETP** – site de programa sobre Plataforma Tecnológica Europeia (ETP) Plantas para o Futuro que se trata de um programa ETP baseado em membros interessados na cadeia agroalimentar, representando as organizações ativas na pesquisa em ciência vegetal, empresas que investem até 20% de seu faturamento anual em pesquisa e inovação de plantas e agricultores interessados em acessar a mais recente tecnologia adaptada às suas necessidades. A Plataforma Tecnológica apela à Comissão Europeia e aos Estados-Membros para que integrem os Planos de Acção Integrados de Inovação, Investigação e Educação, que visam reforçar o potencial de inovação baseado nas plantas e o apoio social necessário para implementar a inovação. A Plataforma Tecnológica está altamente empenhada em ajudar a reunir as partes interessadas (da indústria, academia e comunidades agrícolas) e a participar no desenvolvimento de uma liderança sustentável da Agricultura Europeia.	

110	https://www.empa.ch/web/empa/web-news	Site técnico especializado	**EMPA – Materials Science and Technology** – site de Instituto interdisciplinar do ETH, especializado em pesquisa e aplicações para materiais. Laboratórios Federais Suíços para pesquisas de matérias e tecnologias de ponta, cujas atividades de P&D se concentram e atender aos requisitos da indústria e às necessidades da sociedade, e portanto, vincule a pesquisa orientada para aplicações à implementação prática de novas idéias.A Empa é capaz de fornecer aos seus parceiros soluções personalizadas que não apenas aumentam competitividade e vantagem inovadora mas ajudam a melhorar a qualidade de vida do público alvo. As áreas de pesquisa principais são: materiais nanoestruturados, sustentabilidade, saúde, recursos naturais, poluentes e energia.	
111	http://blog.fpinnovations.ca/	Site técnico especializado	**FP Innovations** - site de Instituto Canadense sem fins lucrativos especializado na criação de soluções científicas inovadoras em apoio à competitividade global do setor florestal canadense. Está idealmente posicionada para realizar pesquisas de ponta, desenvolver tecnologias avançadas e fornecer soluções inovadoras para problemas complexos em todas as áreas da cadeia de valor do setor, desde operações florestais até produtos industriais e de consumo.	
112	https://www.un.org/	Site técnico especializado	**UN DESA –** site do Departamento de Economia e interesses sociais das Nações Unidas com o objetivo de divulgar as ações realizadas pela Instituição para promover as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento sustentável, colaborando estreitamente com seus parceiros nos níveis regional e nacional, ajudando os países a formular e implementar estratégias nacionais de desenvolvimento sustentável.	
113	https://www2.deloitte.com/insights/us/en.html	Site de empresa especializada em pesquisa e análise de mercado global	**Deloitte Insigths –** site da Delloite especializado em oferecer pesquisas e ideias (insights) inovadores e estimulantes que são importantes para ajudar as organizações a alcançarem seu potencial.	
114	https://www.forbes.com/sites/	Site técnico especializado	**Forbes -** site de revista estadunidense de negócios e economia, com artigos, reportagens e análises sobre finanças, indústria, investimento e marketing.	
115	https://www.ellenmacarthurfoundation.org/	Site técnico especializado	**Ellen MacArthur Foundations -** site de fundação instituída em 2010 com o objetivo de acelerar a transição para uma economia circular. Possui como parceiros institucionais as empresas: Danone, Google, Intesa SanPaolo, Philips, Renault, Solvay e Unilever	
116	http://eco.nomia.pt/	Site técnico especializado	**Eco.nomia -** site de especializado em dinamizar a economia circular.	

117	https://web.bndes.gov.br/	Site técnico especializado	**BNDES -** site do banco naciona de desenvolvimento contendo importantes estudos realizados pelo BNDES em parcerai com diversas instituições e profissionais do ercado brasileiro.	
118	https://www.lexisnexis.com.br/lexis360/	Site técnico especializado	**LexisNexis -** site especializado em notícias sobre fusões e aquisições, apresenta diversos tipos de conteúdos atualizados, organizados por temas, para criar uma visão ampla da matéria de Fusões e Aquisições.	
119	https://corporate-citizenship.com/our-impact/	Site técnico especializado	**Corporate Citizenship -** site de empresa de consultoria com foco em fazer a diferença para o meio ambiente e a sociedade, apoiando empresas grandes e pequenas para simplificar a sustentabilidade e transformando-as.	
120	http://www.ren21.net	Site técnico especializado	**REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century -**	
121	https://www.ptonline.com/about	Site técnico especializado	**Plastics Technology** – site especializado pesquisa e eventos ao vivo para o mercado de processamento de plásticos, lançado em 1953, conta com equipe editorial experiente e colaboradores especializados que geram conteúdo sobre as melhores práticas operacionais, tecnologia de novos produtos, inteligência de mercado e notícias do setor projetadas para ajudar os processadores a administrar seus negócios com mais eficiência.	
122	http://www.e4tech.com/	Site técnico especializado	**E4tech- Strategy, Energy, Sustainability -** site especializado de empresa de consultoria estratégica internacional focada em energia sustentável, estabelecida desde 1997, trabalhando com empresas, governos e investidores para ajudá-los a entender as oportunidades globais em energia limpa. tomar decisões sob condições incertas, encurtando o tempo de desenvolvimento, identificando mercados, encontrando investidores e gerenciando riscos.	

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – TAXONOMIA APLICADA NA ÁREA DE RENOVÁVEIS

No apêndice B são apresentados no Quadro B.0.1, a relação de palavras chaves (inglês e português) utilizadas nesta tese de doutorado para o monitoramento sistemático e prospecção contínua. As palavras chave foram divididas em três categorias: a) Genéricas, b) Matérias-primas/produtos e c) Tecnologias. O nome de todos os atores monitorados também foram utilizados como palavras chave para o processo de prospecção. A estratégia de busca contemplou o uso dos motores de busca (e - and, ou - or, asterisco *).

Quadro B.0.1 - Relação de palavras chaves utilizadas para o monitoramento sistemático e prospecção contínua

GENÉRICAS	MATÉRIAS-PRIMAS/PRODUTOS	TECNOLOGIAS
renewable energy (energias renováveis)	lignin (structure/remove) (lignina/ estrutura/remoção)	acid hydrolysis (hidrólise ácida)
cell wall (parede celular)	lignocellulose (lignocelulose)	Biocatalysis (biocatálise)
bio-based chemicals (produtos químicos bioderivados, bioprodutos químicos, produtos químicos obtidos a partir de matérias-primas vegetais ou renováveis ou biomassa vegetal)	lignocellulosic biomass /feedstock (biomassa lignocelulósica)	biochemical route (rota bioquímica)
bio-based polymers (biopolímeros ou polímeros derivados ou obtidos a partir de matérias-primas vegetais ou renováveis ou biomassa vegetal)	miscanthus	biomass conversion (conversão de biomassa)
renewable resources / sources (fontes renováveis e recursos renováveis)	cassava (mandioca)	biorefinery (biorrefinaria)
biotechnology (ies) (biotecnologia(s))	oat hulls (cascas de aveia)	bacteria (bactéria)
sustainable materials (materiais sustentáveis)	pentoses (pentoses)	diluted acid or concentrated acid (ácido diluído ou ácido concentrado)
white biotechnology	rice straw (palha de arroz)	dehydratation (dehidratação)
renewable raw materials (matérias-primas renováveis, recursos biológicos renováveis, recursos obtidos a partir de fontes renováveis)	sorghum and sweet sorghum (sorgo e sorgo sacarino)	thermochemical route (rota termoquímica)
vegetal biomass (biomassa vegetal), renewable biomass (biomassa renovável)	sucrose (sucrose)	enzyme hydrolysis or enzymatic hydrolysis (hidrólise enzimática)
Roadmap Tecnológico (TRM) or roadmap or roadmapping or technology roadmapping	sugar beet (beterraba)	enzyme technology (tecnologia enzimática)

biochemical monitoring (monitoramento bioquímicos)	sugarcane and sugarcane bagasse (cana-de-açúcar e bagaço de cana-de-açúcar)	fermentation (fermentação)
bio-based market (mercado para bioprodutos ou bioderivados)	sugars (açucares), saccharose (sacarose)	gasification (syngas platform)
bio-business (negócios bioderivados)	switchgrass	genetically modified (geneticamente modificada)
biorefinery (biorefinaria)	wheat straw (palha de trigo)	enzyme (enzimas)
green Fuels (biocombustíveis ou combustíveis verdes)	xylose (xilose)	hybrid route (rota híbrida)
forecast(ing), foresight(ing) e *future Studies (prospecção, estudos do futuro e análise prospectiva)*	wood, wood chips, wood scraps (madeira, pedaços de madeira, cavacos de madeira)	hydrolysis (hidrólise)
bio-additive (bioaditivos)	oil palm (óleo de palma)	ionic liquids (líquido iônico)
biodiesel (biodiesel)	sugarcane straw (palha de cana-de-açúcar)	metabolic engineering (engenharia metabólica)
biofuel (biocombustível)	energy cane (cana energia)	Microbial system (sistema microbiano)
building blocks (blocos construtores)	fiber (fibras)	pretreatment of biomass (pré-tratamento da biomassa)
bio-waste (bio-resíduo)	cellulosic residues (resíduos celulósicos)	steam explosion (explosão a vapor)
Capex	monomeric sugar (açúcar monomérico)	yeast (levedura)
Opex	MSW - Municipal Solid Waste (resíduo sólido urbano)	saccharomyces cerevisiae
cogeneration (co-geração)	hemicellulose (hemicelulose)	trichoderma reesei
compostable (compostável)	oligosaccharides (oligossacarídeos)	fungi (fungos)
energetic recycling (reciclagem energética)	derived sugars (derivados de açúcar)	sugar conversion yield (rendimento da conversão de açúcar)
gas purification (purificação de gases)	corn and corn stover (milho e palha de milho)	crystalinity of celulose (cristalinidade da celulose)
incineration (incineração)	xylan (xilana)	size reduction/ particle size
life cycle analysis (análise do ciclo de vida)	acetyl (acetil)	liquid hot water pretreatment (pré-tratamento com água quente)
pilot scale (escala piloto)	disaccharides (dissacarídeos)	sodium hydroxide pretreatment (pré-tratamento com hidróxido de sódio)
demonstration scale (escala de demonstração)	glucosides (glicosídeos)	ammonia pretreatment (pré-tratamento com amônia)
laboratory scale (escala de laboratório)	levulinic acid (ácido levulínico)	ammonia fiber expansion (AFEX)
commercial scale or industrial scale (escala industrial ou escala commercial)	formic acid (ácido fórmico)	supercritical fluid pretreatments (fluidos de pré-tratamento supercríticos)
recycling (reciclagem)	carbohydrates (carbohidratos)	hydrolyzate liquid (líquido hidrolisado)
sustainability (sustentabilidade)	fructose (frutose)	inhibitors (inibidores)
value chain (cadeia de valor)	switch grass	ash content (conteúdo de cinzas)
bio-content (conteúdo de material renovável)	straw (palha)	torrefaction (torrefação)

ethanol production (produção de etanol)	agricultural waste (resíduos agrícolas)	carbonization (carbonização)
Bioplastics, biopolymer, thermoplastic, blend,	elephant grass (capim elefante)	metathesis (metatesis)
	syngas (gás sintético)	pyrolisis (pirólise)
	bio-oil (bio-óleo)	
	tryglicerides (triglicerídeos)	
	algae and algae oil (alga e óleo de alga)	
	terpenes (terpenos)	
	forestry (floresta), hardwood, softwood	
	second generation etanol 2G (etanol de segunda geração)	
	cellulosic etanol (etanol celulósico)	
	2G enzymatic etanol (etanol enzimático de segunda geração)	
	aldehyde (aldeído)	
	carbon dioxide (dióxido de carbono)	
	carbon monoxide (monóxido de carbono)	
	carboxilic acid (ácido carboxílico)	
	acetic acid (ácido acético)	
	glycerol (glicerina ou glicerol)	
	furfural	
	HMF (Hydroxymethyl furfural)	
	castor beans (mamona)	

Fonte: Autoria própria