UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MÁRCIA FRANÇA RIBEIRO FERNANDES DOS SANTOS

ELABORAÇÃO DO *TECHNOLOGY ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL

RIO DE JANEIRO

2011

MÁRCIA FRANÇA RIBEIRO FERNANDES DOS SANTOS

ELABORAÇÃO DO *TECHNOLOGY ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL

Tese submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutorado em Ciências.

Orientadoras:
Suzana Borschiver, D.Sc.
Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO
2011

C S237e Santos, Márcia França Ribeiro Fernandes dos.

Elaboração do *Technology Roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil/ Márcia França Ribeiro Fernandes dos Santos. – 2011.
xxxi, 307 f.: il.

Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.

Orientadoras: Suzana Borschiver e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto

1. *Technology Roadmapping*. 2. Biorrefinaria. 3. Lignina. 4. Brasil. 5. *Roadmap*. 6. Prospecção Tecnológica. 7. Biomassa Lignocelulósica. 8. Energias Renováveis – Teses. I. Borschiver, Suzana. (Orient.). II. Couto, Maria Antonieta Peixoto Gimenes (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química. IV. Título.

CDD: 658.404

MÁRCIA FRANÇA RIBEIRO FERNANDES DOS SANTOS

ELABORAÇÃO DO *TECHNOLOGY ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL

Tese submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutorado em Ciências.

Aprovado em 10 de outubro de 2011.

Suzana Borschiver, D.Sc., EQ/UFRJ (orientadora)

Maria Antonieta P.G. Couto, D.Sc., EQ/UFRJ (orientadora)

Adelaide Maria de Souza Antunes, D.Sc., EQ/UFRJ

Cristina Gomes de Souza, D.Sc., CEFET/RJ

Marcello José Pio, D.Sc., SENAI/DN

Nei Pereira Jr., D.Sc., EQ/UFRJ

Rogério Hermida Quintella, D.Sc., UFBA

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido saúde e sabedoria para a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, pelo maior presente que poderiam me dar: o dom da vida.

Ao meu marido, Paulo, pela enorme carinho e compressão.

Ao meu querido sobrinho Guilherme, pelo amor e pelas brincadeiras de sempre.

Ao meus irmãos, pelo apoio e amizade.

Aos meus sogros e cunhado, pela valiosa torcida.

As minhas orientadoras, Dra. Suzana Borschiver e Dra. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, pela competência e dedicação durante a realização deste trabalho e, principalmente, pela oportunidade de muito aprender com a experiência e conhecimento que lhes pertence.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas sugestões e contribuições a pesquisa realizada.

A todos os professores e companheiros de Doutorado, pela contribuição que deram ao meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

À Escola de Química, pela graduação no curso de Engenharia Química que forneceu experiência necessária para encarar esta nova jornada.

Ao CEFET/RJ, pela graduação no curso de Engenharia de Produção e pelo Mestrado em Tecnologia que forneceram a base para esta vitória.

À Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística pelo incentivo dado a realização e conclusão deste trabalho.

Aos amigos do IBGE e em geral, pelo apoio de sempre.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará
ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

RESUMO

Santos, Márcia França Ribeiro Fernandes dos, **Elaboração do *Technology Roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.** Orientadoras: Suzana Borschiver e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2011, Tese (Doutorado em Ciências).

A presente Tese tem por objetivo elaborar um *roadmap* para produtos da lignina no Brasil. A lignina, uma fração da biomassa lignocelulósica junto com a hemicelulose e celulose, foi escolhida como objeto de estudo por ser produzida em grandes quantidades na indústria de papel e celulose e na indústria sucroalcooleira. A metodologia proposta para a elaboração do *roadmap* divide-se em três fases: atividades preliminares, desenvolvimento do *roadmapping* e atividades de continuidade. O desenvolvimento do *technology roadmapping* se baseou no mapeamento do estado da arte e dos principais avanços tecnológicos por meio da prospecção em fontes de informação científica e tecnológica (documentos de patentes, artigos científicos, e linhas de pesquisa), dispondo as informações de mercado, produto e tecnologia ao longo de um horizonte de tempo definido. Foi gerado um *roadmap* para representar a dinâmica da indústria estudada e de sua análise foram identificadas janelas de oportunidades para utilização da lignina na Indústria Química como, por exemplo, em substituição a fenóis em resinas fenólicas. Como resultado adicional da pesquisa bibliográfica e documental foi elaborado um documento em que foram consolidadas diretrizes para a construção de uma agenda nacional de Ciência, Tecnologia & Inovação para biorrefinarias de produtos da lignina no Brasil. As principais contribuições deste estudo são: (i) fornecer resultados que podem apoiar as organizações e/ou governo na tomada de decisão no que diz respeito à consolidação das chamadas biorrefinarias de produtos obtidos a partir da lignina, e (ii) apresentar uma metodologia explicada detalhadamente. Cabe destacar, por fim, que a metodologia proposta neste trabalho poderá ser aplicada em outras áreas ou setores industriais, como por exemplo, nas demais frações lignocelulósicas (celulose e hemicelulose).

Palavras-chaves: lignina, biorrefinaria, *technology roadmapping*, *roadmap*.

ABSTRACT

Santos, Márcia França Ribeiro Fernandes dos, **Elaboration of the Technology Roadmap for biorefinery products of lignin in Brazil**. Supervisors: Suzana Borschiver and Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2011, Thesis (Doctorated in Science).

This thesis aims to develop a roadmap for lignin products in Brazil. Lignin, a fraction of the lignocellulosic biomass with the hemicellulose and cellulose, was chosen as a study object to be produced in large quantities in the pulp and paper industry and ethanol industry. The proposed methodology for the preparation of the roadmap is divided into three stages: preliminary activities, development of the technology roadmapping and follow-up activities. The development of technology roadmapping is based on mapping the state of the art and major technological advances in exploration through the sources of information science and technology (patent documents, papers, and research lines), providing information about market, product and technology over a defined time horizon. A roadmap has been generated to represent the dynamics of the industry studied and its analysis were identified windows of opportunity for use of lignin in the Chemical Industry, for example, replacing phenol in phenolic resins. As an additional result of the research literature and documents was prepared a document on which were consolidated guidelines for the construction of a national agenda for Science, Technology & Innovation for lignin´s biorefineries in Brazil. The main contributions of this study are: (i) to provide results that can support organizations and/or government in decision making with regard to the consolidation of so-called bio-refineries for products derived from lignin, and (ii) to present a methodology explained in detail. Finally, it is worth noting that the proposed methodology can be applied in other areas or industries, such as in the other lignocellulosic fractions (cellulose and hemicellulose).

Key words: lignin, biorefinery, technology roadmapping, roadmap.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Balança Comercial Brasileira de Produtos Químicos 23
Figura 2.1 - Estrutura das Fibras do Material Lignocelulósico 33
Figura 2.2 - Precursores da lignina 36
Figura 2.3 - Representação esquemática da lignina 37
Figura 2.4 - Consumo mundial de lignosulfonatos em 2001 61
Figura 2.5 - Balança Comercial Brasileira – lignosulfonatos - 2000 a 2010 66
Figura 2.6 - Balança Comercial Brasileira – adesivo à base de polímeros - 2000 a 2010 66
Figura 2.7 - Balança Comercial Brasileira – resinas fenol-formaldeído - 2000 a 2010 67
Figura 2.8 - Balança Comercial Brasileira – fenol - 2000 a 2010 68
Figura 2.9 - Balança Comercial Brasileira – benzeno - 2000 a 2010 69
Figura 2.10 - Balança Comercial Brasileira – tolueno - 2000 a 2010 70
Figura 2.11 - Balança Comercial Brasileira – xileno - 2000 a 2010 70
Figura 2.12 - Balança Comercial Brasileira – vanilina - 2000 a 2010 71
Figura 3.1 - Diagrama de uma biorrefinaria – biomassa – processo – produto 74
Figura 3.2 - Esquema comparativo – Refinaria de Petróleo e Biorrefinaria 75
Figura 3.3 - Plataforma baseada em fontes renováveis 77
Figura 3.4 - Esquema geral para uma biorrefinaria a partir de materiais lignocelulósicos 79
Figura 3.5 - Esquema de uma Biorrefinaria de Duas Plataformas 80
Figura 3.6 - Esquema de uma Biorrefinaria Termoquímica 81
Figura 3.7 - Diagrama esquemático da produção de açúcar e etanol da cana-de-açúcar 83
Figura 3.8 - Diagrama de blocos da produção da pasta de celulose 86
Figura 3.9 - Sistema de Recuperação de Produtos Químicos 87
Figura 3.10 - Separação dos componentes lignocelulósicos 91
Figura 3.11 - Diagrama de blocos das etapas necessárias para a realização da pirólise 94
Figura 3.12 - Conceito de refinaria XLT 95
Figura 3.13 - Tendências Internacionais 96
Figura 4.1 - Esquema do *Technology roadmap* mostrando como a tecnologia pode ser alinhada a desenvolvimento de produto e serviço, estratégia de negócios e oportunidades de mercado 112
Figura 4.2 - Tipos de *technology roadmap* classificados em função do propósito e formato 114
Figura 4.3 - Taxonomia do *roadmap* baseada em sua proposta e ênfase 117
Figura 4.4 - Estrutura de *roadmap* unificando suas quatro partes 118
Figura 4.5 - Arquitetura de *technology roadmap* generalizado utilizando as abordagens *market pull* e *technology push* 119
Figura 4.6 - Etapas para o desenvolvimento do *roadmapping* segundo Phaal *et al* (2001, 2004) 120
Figura 4.7 - Etapas para o desenvolvimento do *roadmapping* 121

Figura 4.8 - *Roadmap* pode ser resultado de associação com outras ferramentas de prospecção tecnológica 124
Figura 4.9 - Número de *roadmaps* referentes a energias sustentáveis 127
Figura 4.10 - Os quatro componentes do *technology roadmap* 138
Figura 5.1 - Esquematização da estratégia da tese 143
Figura 5.2 - Modelo de Conceitual adotado na Tese 148
Figura 6.1 - Evolução do depósito de documentos de patente - período de 1990 a 2009 162
Figura 6.2 - Países de origem dos documentos de patentes - período de 1990 a 2009 163
Figura 6.3 - Tipos de depositantes dos documentos de patente 164
Figura 6.4 - Evolução do depósito de patentes concedidas - período de 1990 a 2009 176
Figura 6.5 - Países de origem das patentes concedidas - período de 1990 a 2009 177
Figura 6.6 - Tipos de depositantes de patentes concedidas - período de 1990 a 2009 178
Figura 6.7 - Evolução do depósito de pedidos de patente - período de 1990 a 2009 183
Figura 6.8 - Países de origem dos pedidos de patente - período de 1990 a 2009 184
Figura 6.9 - Tipos de depositantes dos pedidos de patentes – período de 1990 a 2009 185
Figura 7.1 - Evolução dos artigos científicos publicados - período de 1990 a 2009 191
Figura 7.2 - Tipos de instituições que publicaram artigos científicos 192
Figura 7.3 - Evolução dos artigos científicos publicados - período de 1990 a 2009 201
Figura 9.1 - Representação visual da estratégia de seleção 231
Figura 9.2 - *Roadmap* de Biorrefinaria de Produtos da Lignina dos EUA 239
Figura 9.3 - Biorrefinaria Bioquímica/Termoquímica 242
Figura 9.4 - Fluxo de acompanhamento das informações tecnológicas 253
Figura 9.5 - *Roadmap* de Biorrefinaria de Produtos da Lignina do Brasil 259
Figura 9.6 - Players brasileiros relacionados ao uso da lignina 268
Figura 9.7 - Árvore de produtos estratégicos da lignina 276

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Os Doze Princípios da Química Verde 26
Quadro 4.1 - Áreas foco para P&D abordadas no *technology roadmap* dos produtos da Indústria dos Produtos Florestais nos EUA 130
Quadro 4.2 - Estrutura dos tópicos abordados no *technology roadmap* para bioenergia e bioprodutos nos EUA 131
Quadro 5.1 - Classificações sobre a lignina obtidas na Versão 2010.01 da CIP 155
Quadro 10.1 - Apresentação da proposta de diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para lignina 280

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características dos materiais lignocelulósicos 34
Tabela 2.2 - Composição química parcial de alguns materiais lignocelulósicos 35
Tabela 2.3 - Composição da lignina nas diferentes fontes de planta 36
Tabela 2.4 - Processos de isolamento/remoção da lignina a partir da biomassa 44
Tabela 2.5 - Vantagens e desvantagens do uso da lignina para fins industriais 46
Tabela 2.6 - Aplicações das ligninas industriais 55
Tabela 2.7 - Consumo de Lignossulfonatos* e taxa de crescimento média 60
Tabela 2.8 - Estimativa da substituição para os EUA dos derivados aromáticos 63
Tabela 2.9 - Códigos NCM referentes aos produtos consultados 65
Tabela 3.1 - Resumo das características dos conceitos das biorrefinarias 82
Tabela 3.2 - Principais utilizações dos subprodutos da cana-de-açúcar 84
Tabela 3.3 - Principais utilizações dos resíduos gerados na produção da celulose 88
Tabela 3.4 - Aplicações pontenciais dos produtos da pirólise rápida 93
Tabela 3.5 - Características dos Biocombustíveis de 2ª geração 97
Tabela 3.6 - Plantas piloto e de demonstração de etanol celulósico 98
Tabela 3.7 - Futuras plantas comerciais de etanol celulósico (em m^3/ano) 99
Tabela 3.8 - Biorrefinarias de planta sucroquímica nos EUA – 2002-2005 99
Tabela 3.9 - Investimentos do USDOE em projetos de produção de etanol celulósico nos EUA 2007-2010 100
Tabela 3.10 - Projetos empregando tecnologias *BTL* em fase de desenvolvimento no mundo 102
Tabela 3.11 - Estágio do esforço tecnológico empreendido pela Petrobras/CENPES 103
Tabela 4.1 - Oito tipos de *roadmaps* classificados de acordo com os propósitos 115
Tabela 4.2 - Oito tipos de *roadmaps* classificados de acordo com os formatos 116
Tabela 4.3 - Fases do processo de aplicação do *technology roadmapping* segundo Garcia & Bray (1997) 122
Tabela 4.4 - *Roadmaps* de domínio público selecionados por Phaal (2011): número e porcentagem por grande área 126
Tabela 4.5 - *Roadmaps* por tipos de sistemas de energias sustentáveis 128
Tabela 4.6 - Visões das indústrias agrícola e florestal paranaenses empreendedoras em Biotecnologia 135
Tabela 4.7 - Visões de um setor de Energia forte e inovador 135
Tabela 4.8 - Visões de uma Indústria Paranaense Sustentável 136
Tabela 4.9 - Visões da Indústria de Papel e Celulose Inovadora e Sustentável 136
Tabela 5.1 - Classificação da pesquisa realizada 141
Tabela 5.2 - Fases e etapas do processo *technology roadmapping* adotado para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina para EUA 145
Tabela 5.3 - Fases e etapas do processo *technology roadmapping* adotado para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produto da lignina para Brasil 146
Tabela 6.1 - Principais empresas depositantes 165
Tabela 6.2 - Empresas nacionais depositantes 166
Tabela 6.3 - Universidades/Centros de Pesquisa depositantes 167

Tabela 6.4 - Principais objetos de protenção reivindicados de acordo com a taxonomia adotada 168
Tabela 6.5 - Principais usos da lignina e seus derivados 170
Tabela 6.6 - Documentos de patente e objeto de proteção da invenção referente as empresas nacionais depositantes 172
Tabela 6.7 - Inventores nacionais depositantes 174
Tabela 6.8 - Universidades/Centros de Pesquisa nacionais depositantes 175
Tabela 6.9 - Principais empresas depositantes nos Estados Unidos nas patentes concedidas 179
Tabela 6.10 - Universidades/Centros de Pesquisa depositantes nas patentes concedidas 180
Tabela 6.11 - Principais objetos de protenção reivindicados nas patentes concedidas 181
Tabela 6.12 - Principais usos da lignina e seus derivados nas patentes concedidas 182
Tabela 6.13 - Principais empresas depositantes nos Estados Unidos nos pedidos de patentes 185
Tabela 6.14 - Principais objetos de protenção reivindicados nos pedidos de patente 186
Tabela 6.15 - Principais usos da lignina e seus derivados 187
Tabela 6.16 – Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO* – período entre 1990 a 2009 189
Tabela 7.1 - Países de origem dos artigos científicos 191
Tabela 7.2 - Principais universidades 193
Tabela 7.3 - Instituições brasileiras e parcerias com instituições estrangeiras e/ou nacionais 194
Tabela 7.4 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme artigos científicos encontrados 194
Tabela 7.5 - Principais usos da lignina e seus derivados 196
Tabela 7.6 - Produtos químicos citados 197
Tabela 7.7 - Polímeros/Copolímeros produzidos a partir da lignina 198
Tabela 7.8 - Biocombustíveis produzidos a partir da lignina 198
Tabela 7.9 - Instituições brasileiras e temas relacionados a lignina 200
Tabela 7.10 - Países de origem dos artigos científicos 202
Tabela 7.11 - Principais instituições 202
Tabela 7.12 - Instituições brasileiras e parcerias com instituições estrangeiras e/ou nacionais 203
Tabela 7.13 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme artigos científicos encontrados 204
Tabela 7.14 - Principais usos da lignina e seus derivados 205
Tabela 7.15 - Produtos químicos citados 206
Tabela 7.16 - Polímeros/copolímeros produzidos utilizando a lignina 207
Tabela 7.17 - Biocombustíveis produzidos a partir da lignina 208
Tabela 7.18 - Instituições brasileiras e temas relacionados a lignina 209
Tabela 7.19 - Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO* e artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science* – período entre 1990 a 2009 212

Tabela 8.1 - Instituições que realizam pesquisas sobre a lignina 215
Tabela 8.2 - Parcerias de cooperação nas linhas de pesquisas 216
Tabela 8.3 - Financiamentos nas linhas de pesquisa 217
Tabela 8.4 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme linhas de pesquisa encontradas 220
Tabela 8.5 - Instituições e tema das pesquisas relacionadas a remoção da lignina 221
Tabela 8.6 - Principais usos da lignina e seus derivados nas linhas de pesquisas 223
Tabela 8.7 - Instituições brasileiras que pesquisam sobre novos usos da lignina 224
Tabela 8.8 - Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO*, artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science* e linhas de pesquisas obtidas a partir do Portal da Inovação 228
Tabela 9.1 - Condições de contorno do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA 235
Tabela 9.2 - Elementos direcionadores para curto prazo - EUA 236
Tabela 9.3 - Elementos direcionadores para médio prazo - EUA 236
Tabela 9.4 - Elementos direcionadores para longo prazo - EUA 236
Tabela 9.5 - Necessidades de P&D para conversão termoquímica – 2007 a 2012 243
Tabela 9.6 - Indicadores alocados no curto, médio e longo prazo para subsidiarem a análise dos efeitos da política tecnológica 250
Tabela 9.7 - Formas de inovação nas empresas mineiras 251
Tabela 9.8 - Condições de contorno do *roadmap* de biorrefinaria de lignina no Brasil 251
Tabela 9.9 - Elementos direcionadores de curto prazo - Brasil 254
Tabela 9.10 - Elementos direcionadores de médio prazo - Brasil 255
Tabela 9.11 - Elementos direcionadores de longo prazo - Brasil 256
Tabela 9.12 - Comparação entre produtos identificados nos *roadmaps* EUA e BR 272

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ALICE-Web	Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet
BCC	Craqueamento Catalítico de Biomassa
BR	Brasil
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
BTL	*Biomass-to-liquids*
BTX	Benzeno, Tolueno e Xileno
CA	Canadá
CBR	*Convencional biorefineries*
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobras
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CH	Suíça
CN	China
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CIP	Classificação Internacional de Patentes
CTBE	Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
CTL	*coal-to-liquids*
C,T&I	Ciência, Tecnologia & Inovação
DE	Alemanha
DK	Dinamarca
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPO	*European Patent Office*
EUA	Estados Unidos
FDA	*Food Drugs Administration*
FI	Finlândia
FIEP	Sistema da Federação da Indústrias e Empresas do Paraná
FOB	*Free on Board*
G	Lignina guaiacila
GB	Grã-Bretanha
GBR	*Green Biorefineries*
GLT	*Gas-to-liquids*
GS	Lignina guaiacila-siringila
HGS	Lignina p-hidroxifenila-guaiacila-siringila
IEA	*International Energy Agency*
INPI	Instituto Brasileiro de Propriedade Industrial
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
JP	Japão
LCFBR	*Ligno Cellulosic Feedstock Biorefinaries*
MBR	*Marine Biorefinaries*
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia & Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMPI	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
PAN	poliacrilonitrila
PCT	*Patent Cooperation Treaty*
P,D&I	Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PTL	*Petroleum-to-liquids*
REACH	*Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals*)
rMPR	*Technology Roadmap* em matérias-primas renováveis
SE	Suécia
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
TCBR	*Thermo Chemical Biorefinaries*
TEC	Tarifa Externa Comum
TPCBR	*Two Platform Concept Biorefineries*
TRM	Método *Technology Roadmapping*
UE	União Européia
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UMC	Universidade de Mogi das Cruzes
UNB	Universidade de Brasília
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIPAR	Universidade Paranaense
UNIR	Universidade Federal de Rondônia
UNIVASF	Unuversidade Federal do Vale do São Francisco
US	United States
USDOE	U.S. Departament of Energy
USCAR	Conselho para Pesquisa Automotiva dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
USPTO	*United States Patent Trademark Office*
WCBR	*Whole Crop Biorefineries*

LISTA DE SIMBOLOS

US$	Doláres americanos
%	percentual
NaOH	Soda caustica
Na_2S	Sulfeto de sódio
pH	potencial hidrogeniônico
h	hora
ºC	Graus Celsius
O_2	Oxigênio
H_2O_2	Peróxido de hidrogênio
UV	Ultra-violeta
OH	Hidróxido
MJ	Milijoule
kg	Quilograma
ton	toneladas
BTU	*British Termic Unit*
lb	libra
gal	galão
CO_2	dióxido de carbono
L	litros
CO	monóxido de carbono
H_2	hidrogênio
m^3	metros cúbicos

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 23
1.1 APRESENTAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO 23
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO 29
1.2.1 **Geral** 29
1.2.2 **Específicos** 30
1.3 ESTRUTURA DO ESTUDO 30
1.4 PRODUÇÃO CIENTÍFICA 31

2 **LIGNINAS** 33
2.1 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA 33
2.2 ESTRUTURA QUÍMICA E FORMAÇÃO DA LIGNINA 35
2.3 ISOLAMENTO/REMOÇÃO DA LIGNINA INDUSTRIAL 38
2.3.1 **Lignina Kraft** 38
2.3.2 **Lignosulfonatos dos processos sulfito ácido** 39
2.3.3 **Lignosulfonatos de processos bisulfito** 40
2.3.4 **Lignosulfonatos dos processos sulfito-neutro semi-químicos** 40
2.3.5 **Lignina Organosolv** 40
2.3.6 **Lignina pirolítica** 41
2.3.7 **Lignina obtida a partir da explosão com vapor** 41
2.3.8 **Lignina obtida a partir de tratamento com ácidos diluídos** 42
2.3.9 **Lignina obtida a partir de oxidação alcalina** 43
2.4 CARACTERÍSTICAS DA LIGNINA 44
2.5 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS 46
2.5.1 **Lignosulfonatos** 47
2.5.2 **Lignina kraft** 51
2.5.3 **Lignina organosolv** 53
2.5.4 **Outras aplicações das ligninas industriais** 54

2.6 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE LIGNINA COMO MATÉRIA-PRIMA RENOVÁVEL 55
2.6.1 **Nos EUA** 56
2.6.1.1 Na Indústria de celulose 56
2.6.1.2 A partir de resíduos agrícolas 56
2.6.2 **No Brasil** 56
2.6.2.1 Na Indústria de celulose 56
2.6.2.2 A partir de resíduos agrícolas 57
2.7 MERCADO MUNDIAL DA LIGNINA E SUAS APLICAÇÕES 58
2.7.1 **Mercado mundial das ligninas industriais** 59
2.7.1.1 Lignina kraft 59
2.7.1.2 Lignossulfonatos 59
2.7.2 **Mercado mundial dos aplicações da lignina** 61
2.8 MERCADO BRASILEIRO DA LIGNINA, SUAS APLICAÇÕES E POTENCIALIDADES 64
2.8.1 **Lignosulfonatos** 65
2.8.2 **Adesivo a base de polímeros** 66
2.8.3 **Resinas fenol-formaldeído** 67
2.8.4 **Fenol** 68
2.8.5 **Benzeno** 69
2.8.6 **Tolueno** 69
2.8.7 **Xileno** 70
2.8.8 **Vanilina** 71
2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 72

3 **BIORREFINARIAS DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA** 73
3.1 CONCEITO DE BIORREFINARIA 73
3.2 TIPOS DE BIORREFINARIA 77
3.2.1 **Biorrefinarias Convencionais no Brasil** 82
3.2.1.1 Indústria da cana-de-açúcar 82
3.2.1.2 Indústria da celulose 85

3.3 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA ASSOCIADA ÀS BIORREFINARIAS 89
3.3.1 **Plataforma Sucroquímica** 90
3.3.1.1 Separação dos componentes lignocelulósicos - Hidrólise 90
3.3.2 **Plataforma Termoquímica** 92
3.3.2.1 Pirólise 92
3.3.2.2 Gaseificação – Tecnologia *XTL* 95
3.4 TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS SOBRE BIORREFINARIAS E MATÉRIA-PRIMA LIGNOCELULÓSICA 96
3.4.1 **Projetos de biorrefinarias de biomassa lignocelulósica** 97
3.4.1.1 No mundo 97
3.4.1.2 No Brasil 102
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 106

4 **MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING*** 108
4.1 DEFINIÇÕES PARA *ROADMAP* E *ROADMAPPING* 108
4.2 OBJETIVOS E BENEFÍCIOS 110
4.3 TIPOS E FORMATOS DE *ROADMAPS* 112
4.4 ESTRUTURA DOS *ROADMAPS* 118
4.5 PROCESSOS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING* 120
4.5.1 **Aplicação segundo Phaal *et al* (2001, 2004)** 120
4.5.2 **Aplicação segundo Albright & Kappel (2003)** 121
4.5.3 **Aplicação segundo Garcia & Bray (1997)** 122
4.6 PROCESSO DE ADAPTAÇÃO DO MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING* 123
4.7 USOS DOS *ROADMAPS* 123
4.7.1 **Exemplos de aplicação do *technology roadmapping*** 125
4.8 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO *TRM* A ENERGIAS RENOVÁVEIS 129
4.8.1 **Nos EUA** 129
4.8.2 **No Brasil** 133
4.8.2.1 SENAI/PR 133

4.8.2.2 CGEE 136
4.8.2.3 Outros 137
4.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 139

5 **METODOLOGIAS** 141
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA 141
5.2 ESTRATÉGIA GERAL DA TESE 142
5.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA 144
5.3.1 **Para os EUA** 144
5.3.2 **Para o Brasil** 146
5.3.2.1 Escolha e justificativa das fontes de informação tecnológica selecionadas 147
5.4 METODOLOGIA DE BUSCA DAS FONTES DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA SELECIONADAS PARA ELABORAÇÃO DO *ROADMAP* DO BRASIL 151
5.4.1 **Documentos de patentes** 151
5.4.1.1 Base de dados INPI 152
5.4.1.1.1 Metodologia da busca 153
5.4.1.2 Base de dados *USPTO* 154
5.4.1.2.2 Metodologia da busca 155
5.4.1.2.2.1 Patentes concedidas (*Issued patent*) 155
5.4.1.2.2.2 Pedidos de patente (*Patent applications*) 156
5.4.2 **Artigos científicos** 156
5.4.2.1 Metodologia da busca na base de dados *Science Direct* 157
5.4.2.2 Metodologia da busca na base de dados *Web of Science* 157
5.4.3 **Linhas de Pesquisa** 158
5.4.3.1 Metodologia da busca 159
5.5 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÃO DE UMA AGENDA NACIONAL DE C,T&I DA LIGNINA NO BRASIL 160

6 **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – DOCUMENTOS DE PATENTES** 161
6.1 BASE DE DADOS INPI 161
6.1.1 **Análise macro** 161
6.1.2 **Análise meso** 167
6.1.3 **Análise micro** 169
6.1.3.1 Análise micro relacionadas a depositantes nacionais 171
6.2 BASE DE DADOS *USPTO* 176
6.2.1 **Patentes concedidas *(Issued patents)*** 176
6.2.1.1 Análise macro 176
6.2.1.2 Análise meso 181
6.2.1.3 Análise micro 181
6.2.2 **Pedidos de patente (*Applied patents*)** 183
6.2.2.1 Análise macro 183
6.2.2.2 Análise meso 186
6.2.2.3 Análise micro 186
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 187

7 **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – ARTIGOS CIENTÍFICOS** 190
7.1 BASE DE DADOS *SCIENCE DIRECT* 190
7.1.1 **Análise macro** 190
7.1.2 **Análise meso** 194
7.1.3 **Análise micro** 195
7.1.3.1 Na produção de produtos químicos 196
7.1.3.2 Na composição de polímeros e/ou copolímeros 197
7.1.3.3 Na produção de biocombustível 198
7.1.3.4 Artigos oriundos de instituições brasileiras 199
7.2 BASE DE DADOS *WEB OF SCIENCE* 200
7.2.1 **Análise macro** 201
7.2.2 **Análise meso** 204
7.2.3 **Análise micro** 205
7.2.3.1 Na produção de produtos químicos 206

7.2.3.2 Na composição de polímeros e/ou copolímeros 207
7.2.3.3 Na produção de biocombustível 207
7.2.3.4 Artigos oriundos de instituições brasileiras 208
7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 210

8 **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – LINHAS DE PESQUISA** 214
8.1 ANÁLISE MACRO 214
8.2 ANÁLISE MESO 220
8.3 ANÁLISE MICRO 223
8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 226

9 ***ROADMAPS* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA** 230
9.1 *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NOS EUA 230
9.1.1 **Informações gerais sobre o documento utilizado** 230
9.1.2 **Aplicação da metodologia criada para elaboração do *roadmap*** 232
9.1.2.1 Fase I: Atividade preliminar 233
9.1.2.2 Fase II: Desenvolvimento do *roadmap* 235
9.1.2.3 Fase III: Atividade de continuidade 238
9.1.3 **Apresentação e análise do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA** 238
9.2 *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL 246
9.2.1 **Aplicação da metodologia criada para elaboração do *roadmap*** 246
9.2.1.1 Fase I: Atividade preliminar 246
9.2.1.2 Fase II: Desenvolvimento do *roadmap* 253
9.2.1.3 Fase III: Atividade de continuidade 258
9.2.2 **Apresentação e análise do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil** 258
9.2.2.1 Informações adicionais extraídas da prospeção e do *roadmap* Brasil 267
9.3 COMPARAÇÃO ENTRE *ROADMAPS* DO BRASIL E EUA 271

9.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 273

10 **DIRETRIZES PARA UMA AGENDA NACIONAL DE C,T&I PARA A LIGNINA** 277
10.1 PROPOSTA DE AGENDA NACIONAL 277
10.1.1 **Diretrizes para uma Agenda Nacional para usos da lignina** 278
10.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS 283

11 **CONCLUSÕES** 285
11.1 CONCLUSÕES SOBRE O MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING* 285
11.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA 287
11.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 288
11.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 289

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 291

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

O agronegócio brasileiro desempenha um forte impacto na Balança Comercial. De acordo com dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), em 2010 as vendas de cinco *commodities* - minério de ferro, petróleo em bruto, soja (grão, farelo e óleo), açúcar (bruto e refinado) e complexo carnes - responderam por 43,4% do valor total exportado pelo Brasil, uma fatia bastante superior aos 27% de 2004 (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2011).

Em 2010, as exportações encerraram o período com valor de US$ 201,9 bilhões e as importações de US$ 181,6 bilhões, resultados igualmente recordes. No entanto, há que se fazer três registros: (i) os valores de exportação superaram as importações, tendo em vista a valorização de *commodities* agrícolas no mercado exterior; (ii) em relação a 2009, o crescimento das importações foi superior ao das exportações (42,2% contra 32,05%); e (iii) os importados são, em grande parte, produtos de maior valor de mercado (MDIC, 2010)

A contribuição da Indústria Química Brasileira na pauta de importação é significativa, conforme ilustra a Figura 1.1 que mostra a Balança Comercial Brasileira de produtos químicos.

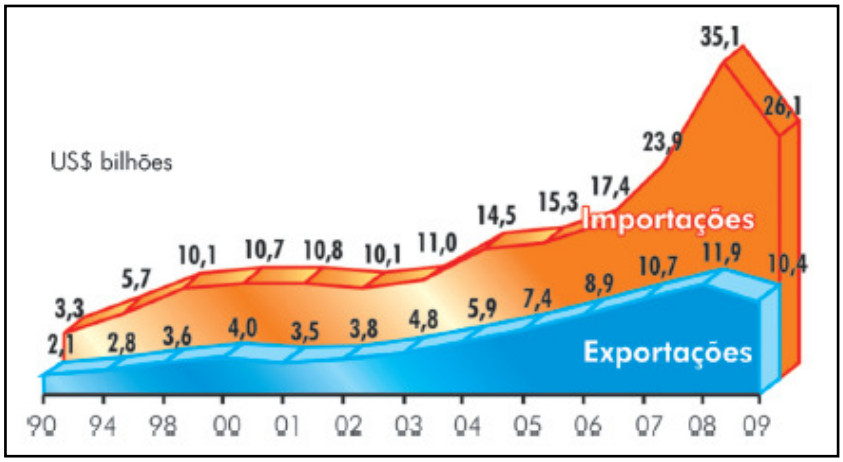


Figura 1.1 - Balança Comercial Brasileira de Produtos Químicos

Fonte: ABIQUIM (2010)

Uma grande oportunidade para a reversão do déficit seria uma maior diversificação das matérias-primas utilizadas na Indústria Química, que tem no petróleo sua principal matéria-prima de origem não-renovável, a nafta petroquímica. Essa dependência é constantemente afetada por diversas questões ambientais, políticas e econômicas, tais como:

- Instabilidade da cotação internacional do barril de petróleo.

- Expectativa de redução das reservas: A Bristish Petroleum, em seu estudo "Revisão Estatística de Energia Mundial de 2004", alerta para o fato de que as reservas mundiais de petróleo durariam em torno de 41 anos, as de gás natural, 67 anos, e as reservas brasileiras de petróleo, 18 anos (BIODIESELBR, 2011); no entanto, tal estudo é anterior ao anúncio da descoberta das reservas brasileiras do pré-sal.

- Conflitos globais: este importante insumo energético encontra-se concentrado em poucas regiões do mundo, algumas sujeitas a instabilidades geopolíticas como países do Oriente Médio e Venezuela.

- Crescente preocupação com questões ambientais associadas ao aquecimento global, Efeito Estufa e mudanças climáticas.

Neste contexto, a indústria mundial, em especial a química, tem intensificado os esforços em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (P,D&I) na busca por produtos que possam ser obtidos a partir de fontes renováveis, de modo a diminuir a dependência e reduzir a vulnerabilidade do petróleo por meio de uma dinamização de seus processos e suas linhas de produtos (ABIQUIM, 2010).

As biomassas, fontes renováveis potenciais, englobam toda matéria orgânica renovável incluindo matéria vegetal, quer seja cultivada em terra ou em água, produtos animais e esterco, subprodutos de processamento de alimentos e da silvicultura e resíduos (SCHUCHARDT & RIBEIRO, 2001; LAL, 2005; PEREIRA JR., 2006). Há várias formas de se obter biomassa para energia, seja por meio de plantações de cultivos energéticos, ou pelo aproveitamento de resíduos agrícolas, agroindustriais e agroflorestais. Assim, o uso da biomassa passou a ser incentivado como oportunidade para atenuar os problemas associados ao uso das frações do petróleo como principal insumo energético.

O Brasil encontra-se em posição privilegiada para assumir a liderança global no aproveitamento integral das biomassas, devido ao fato de apresentar grande potencial de cultivo de matérias-primas renováveis tendo em vista que dispõe de condições favoráveis tais como (CGEE, 2010): a) culturas agrícolas de grande extensão, com destaque para a indústria canavieira; b) maior diversidade do planeta; c) intensa radiação solar; d) água em abundância; e) diversidade de clima; f) pioneirismo na produção do biocombustível etanol; e g) grande recurso renovável, com excepcionais potencialidades: as microalgas para produção de biodiesel, produtos químicos, fármacos e alimentos.

Além dessas vantagens, a Indústria Química Nacional identifica entre as cinco principais oportunidades de investimento, ao longo do período de 2010 a 2020, o desenvolvimento de uma Indústria Química de base renovável. Esta oportunidade está relacionada com a Química Verde e o papel de liderança que o Brasil poderá desempenhar nesta área, cujo objetivo estratégico é “posicionar a indústria química brasileira entre as cinco maiores do mundo, tornando o país superavitário em produtos químicos e líder em química verde” (ABIQUIM, 2010).

A Química Verde pode ser conceituada como o projeto, o desenvolvimento, a produção e o uso de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente (CGEE, 2010). Com seu advento, procura-se delinear e concretizar um novo estilo de fazer a Química Industrial que a torne tão compatível quanto possível com o ambiente e a biosfera, mais precisamente, com a saúde e o bem estar dos seres humanos e de modo a garantir a sustentabilidade da civilização no futuro (MACHADO, 2004). Em termos muito gerais, a estratégia global desta mudança é traduzida pelos chamados "Doze Princípios da Química Verde" mostrados no Quadro 1.1.

Cabe destacar que a Química Verde está sendo objeto de estudo e difusão por meio de várias ações dos diversos atores envolvidos, tais como, universidades, centros de pesquisa, empresas e governos. Como exemplo de iniciativas que convergem para a adocão da Química Verde citar-se-á: (i) a adoção do *REACH* (*Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals*), a nova política da União Européia (UE) para os produtos químicos e (ii) a avaliação do ciclo de vida do produto (*Life Cycle*

Assessement) por parte das empresas de modo que se analise todas as implicações ambientais, do berço ao túmulo (MACHADO, 2004).

Prevenção	Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração
Economia de Átomos	Deve-se procurar projetar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final
Síntese de Produtos Menos Perigosos	Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente
Projeto de Produtos Seguros	Os produtos químicos devem ser projetados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos
Solventes e Auxiliares mais Seguros	O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes, etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas
Busca pela Eficiência de Energia	A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes
Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima	Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não-renováveis
Evitar a Formação de Derivados	A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos
Catálise	Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos
Projeto para a Degradação	Os produtos químicos precisam ser projetados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente
Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição	Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas
Química Segura para a Prevenção de Acidentes	As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios

Quadro 1.1 - Os Doze Princípios da Química Verde

Fonte: Anasta & Wagner (1998 *apud* LENARDÃO *et al*, 2003)

Para atingir o papel de liderança na construção de uma indústria de base renovável, o Brasil pode fazer uso de seu grande potencial de biomassas residuais

gerados disponíveis no país. O Brasil dispõe de uma grande variedade de resíduos agrícolas[1] cujo aproveitamento seria de grande interesse econômico e social, uma vez que possuem um valor econômico muito baixo e são encarados como um custo adicional dentro do processo de produção devido ao custo de sua disposição final (PEREIRA, 2006).

Na agricultura brasileira, dois tipos de cultivos se destacam: o de grãos (soja, milho, arroz e trigo) e o de cana-de-açúcar. Assim, as principais biomassas residuais de origem vegetal disponíveis no Brasil[2] são a palha e o bagaço da cana, a palha do arroz, talo com folhas do milho e a palha do trigo.

Tais biomassas lignocelulósicas são compostas de três frações principais: a hemicelulose, a celulose e a lignina. A celulose e a hemicelulose, ricas em carboidratos, encontram diversas aplicações, em especial a obtenção do etanol de segunda geração a partir da celulose que está em fase de estudos com vistas a comercialização. No tocante à lignina, segundo Gosselink *et al* (2004) ainda há um mercado muito pequeno para as grandes quantidades de ligninas industriais produzidas no mundo.

O fato de a lignina ser a segunda fonte mais abundante de matéria-prima natural, a maior fonte de polímeros aromáticos de natureza fenólica e apresentar ainda propriedades adesivas entre outras (LORA & GLASSER, 2002 *apud* CARROTT & RIBEIRO CARROTT, 2007) motivou o seu estudo na presente tese. Tais características mostram que a lignina pode se tornar uma valiosa matéria-prima renovável para a indústria química brasileira. A lignina apresenta diversas aplicações neste segmento como, por exemplo, na produção de produtos aromáticos, adesivos e como substitutos fenólicos em resinas.

Neste contexto, optou-se por desenvolver um estudo prospectivo sobre os usos e aplicações potenciais da lignina no Brasil relacionado as chamadas biorrefinarias, estruturas análogas as refinarias de petróleo que utilizam matérias-primas renováveis.

---

[1] Resíduo agrícola é definido como as partes não comestíveis da planta que são deixadas no campo após a colheita (sabugo de milho, palha de cultivos, bagaço de cana). Alguns pesquisadores incluem também na categoria genérica de resíduo agrícola restos que são gerados no enfardamento ou que são descartados durante o processamento do cultivo (RAMOS, 2000; LAL, 2005; VIANNA JR & VIEIRA, 2002)

[2] Alguns autores afirmam que os resíduos da soja se decompõem rapidamente no campo, o que cria obstáculos a sua coleta (LAL, 2005).

Assim, para organizar o estudo quanto à disponibilidade de novas tecnologias associadas ao uso da lignina em nível comercial, fruto da inovação e investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) por diferentes atores, faz-se necessário utilizar uma metodologia, baseada em ferramentas de mercado, que possa organizar as informações, de modo a transformá-las em conhecimento e posteriormente em inteligência de negócios, para orientar a tomada de decisão dos atores envolvidos nessa cadeia produtiva, promovendo assim a indústria nacional de produtos que utilizem a lignina na sua formulação.

O método *technology roadmapping* foi escolhido nesta tese por se mostrar uma ferramenta capaz de integrar e comunicar as estratégicas de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia com as metas do negócio ao longo do tempo. Além disso, auxilia a identificar, avaliar e selecionar alternativas tecnológicas, sendo, portanto, um processo complexo que requer consideração simultânea de mercados, produtos, tecnologias e suas interações (ALBRIGHT & KAPPEL, 2003; KAPPEL, 2001).

O método *technology roadmapping* permite na sua operacionalização o envolvimento de outras ferramentas de prospecção tecnológica comumente utilizadas (por exemplo: Delphi/painéis de especialistas, brainstorming, análise de impacto, inteligência competitiva e cenários) para atingir uma abordagem que é diferencial dos outros métodos: alinhar produto, mercado e tecnologia em determinado horizonte temporal.

Durante a pesquisa bibliográfica realizada foram encontrados poucos documentos publicados que contivessem uma descrição detalhada da aplicação do método com vistas a construção do *roadmap*. Dentre os documentos encontrados, cabe destacar a tese intitulada “O emprego do método *technology roadmapping* em adesivos e selantes aplicados à construção civil” (LOUREIRO, 2010) como um dos estudos pioneiros a explicar detalhadamente o processo de aplicação do método *technology roadmapping*.

A presente tese propõe e descreve de forma detalhada uma nova metodologia para a elaboração de *technology roadmap* conectando produto, mercado e tecnologia com relação ao tempo. Com este trabalho, pretende-se contribuir com especialistas (técnicos, pesquisadores, empresários) e demais agentes envolvidos no agronegócio

brasileiro e a indústria química (agências, governo) de modo a subsidiar os tomadores de decisão nacional na construção de um cenário favorável ao desenvolvimento do setor, visando a consolidação da posição brasileira no aproveitamento integral da biomassa.

A originalidade da tese está na metodologia utilizada para a construção do *technology roadmap* a partir das fontes de informações selecionadas que permite avaliar a potencialidade da lignina como matéria-prima renovável para a indústria química, considerando que a maior parte dos estudos está centrada nas demais frações lignocelulósicas. A inventividade reside no estudo dos usos da lignina e seus derivados para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.

Além disso, pode-se destacar como pontos que justificam a relevância desta pesquisa: (i) o desconhecimento da existência na literatura de um *technology roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina para os Estados Unidos (EUA) e Brasil (BR) (ii) o fato do método ser pouco conhecido e (iii) a relativa escassez de referências teóricas tratando deste tema e desta ferramenta de prospecção tecnológica no Brasil.

1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

A seguir são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que conduziram a realização da Tese.

1.2.1 **Geral**

O objetivo geral deste estudo consiste em fornecer, por meio do *technology roadmap* gerado, o direcionamento do desenvolvimento tecnológico que as biorrefinarias de produtos da lignina no Brasil podem alcançar durante os próximos 20 anos (2010-2030).

1.2.2 **Específicos**

A utilização do método *technology roadmapping* para estudar as biorrefinarias de produtos da lignina envolveu os seguintes objetivos específicos:

• Construir o *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil com base nas competências nacionais;

• Comparar o *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina dos EUA e Brasil;

• Propor diretrizes para a construção de uma agenda de C,T&I para a lignina no Brasil.

1.3 ESTRUTURA DO ESTUDO

A fim de atingir os objetivos estabelecidos, este estudo encontra-se organizado em 11 capítulos.

No primeiro Capítulo apresenta-se o objeto do trabalho, a sua importância, os objetivos a serem alcançados e a estrutura do trabalho.

No segundo Capítulo são abordadas as informações sobre a lignina, como sua estrutura química, as formas de obtenção das ligninas industriais, suas principais características, aplicações mais usuais, disponibilidade como matéria-prima para diversas aplicações industriais e dados sobre o mercado mundial e brasileiro de suas aplicações.

As definições básicas relacionadas a biorrefinaria, seus diferentes tipos, abordando mais profundamente aquelas que utilizam biomassa lignocelulósica como matéria-prima encontram-se no Capítulo 3.

No Capítulo 4 descreve-se o Método *Technology Roadmapping* (*TRM*) por meio da apresentação de sua definição, tipos, formatos e estruturas possíveis, os processos de operacionalização e adaptação do método propostos na literatura, benefícios e vantagens do método e exemplos de aplicações no Brasil, em especial aquelas relacionadas a fontes de energias renováveis, encontradas na revisão bibliográfica realizada.

Os procedimentos metodológicos são detalhados no Capítulo 5, abordando desde a estratégia geral adotada na pesquisa em si até as metodologias empregadas nas diferentes etapas da mesma, em especial o passo-a-passo da metodologia criada para a elaboração do *technology roadmap*.

Nos Capítulos 6, 7 e 8 são apresentados e analisados os principais resultados obtidos a partir de documentos de patente, artigos científicos e linhas de pesquisa, respectivamente, relacionados às aplicações das ligninas provenientes de materiais lignocelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais no Brasil.

No Capítulo 9 consta a construção, análise e comparação dos *roadmaps* para biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA e Brasil de acordo com as metodologias apresentadas no Capítulo 5.

A proposta de diretrizes para a construção de uma agenda nacional de C,T&I para a lignina é apresentada no Capítulo 10.

No décimo primeiro Capítulo deste trabalho são apresentadas as conclusões gerais e as limitações da presente tese, assim como são sugeridas propostas para a continuidade deste estudo.

1.4 PRODUÇÃO CIENTÍFICA

O desenvolvimento desta tese levou à produção científica listada a seguir:

Publicação em periódico internacional

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Biorefinery in Brazil: New Technological Trends Adopted by Domestic Companies**. Journal of Technology Management & Innovation, v. 5, p. 84-90, 2010. Disponível em: http://www.jotmi.org/index.php/GT/article/viewArticle/art158>.

Publicação em periódico nacional

✓ Santos, M. F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo**

e no Brasil. Revista Economia & Energia. Ano XV-No 82, Julho/Setembro de 2011. ISSN 1518-2932. (Disponível em http://ecen.com/eee82/eee82p/eee82p.htm).

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **O complexo agroindustrial da cana-de-açúcar no Brasil: uma discussão sobre aspectos atuais relacionados ao etanol biocombustível**. Economia & Tecnologia (UFPR), v. 24, p. 145-158, 2011. Disponível em: < http://www.economiaetecnologia.ufpr.br/boletim/Economia_&_Tecnologia_Ano_07_Vol_024.pdf>

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Monitoramento Tecnológico sobre Biorrefinarias a partir de fontes de matéria-prima renovável**. Revista Pensamento Contemporâneo em Administração (UFF), v. 7, p. 25-36, 2009. Disponível em: < http://www.uff.br/rpca/Ano09vol7.html>

Trabalho Completo publicado em Anais de Congressos

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Mapeamento Informacional: um Estudo relacionado a tecnologias sobre biorrefinarias**. Anais do 4º Congresso da Indústria Química do Mercosul e 8º Congresso Brasileiro de Petroquímica, 18 a 20 de maio de 2008, Rio de Janeiro.

Apresentação em Eventos Científicos

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Sucrochemistry Biorefineries: potential of chemicals produced from sugar cane in Brazil**. In: 1st BBEST - Brazilian Bioenergy Science and Technology Conference. Campos do Jordão, de 14 a 18 de agosto de 2011. Apresentação de Poster.

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Sugar Cane in Brazil: the case of Sucrochemistry Biorefineries**. In: Forum Bioraffinage Agricole, 17 de março de 2011, Quebec, Canadá. Apresentação de Palestra.

✓ Santos, M.F.R.F.; Borschiver, S.; Couto, M.A.P.G. **Tendências Tecnológicas Nacionais para o Aproveitamento de Biomassa no Contexto da Biorrefinaria**. Workshop: Biorefineries 2010 - Recent Advances and New Chalenges.. 10 a 12 de novembro de 2010, Rio de Janeiro, Brasil. Apresentação de Poster.

2 LIGNINAS

O objetivo deste capítulo é apresentar a estrutura química, as formas de obtenção das ligninas industriais, suas principais características e aplicações mais usuais, bem como informações do mercado mundial e brasileiro sobre tais aplicações.

2.1 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

Existem diversos tipos de biomassa e, dentre elas, destacam-se a de natureza lignocelulósica. Os materiais lignocelulósicos, ilustrados na Figura 2.1, são formados por estruturas duras e fibrosas, compostas majoritariamente pelos polissacarídeos celulose e hemicelulose (cerca de 70% da massa seca), entremeados por outra macromolécula formada por álcoois aromáticos, a lignina, aos quais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio.

A Tabela 2.1 mostra as características dos principais componentes da biomassa lignocelulósica: celulose, hemicelulose e lignina. Além destes três componentes majoritários, existem também outros constituintes em menor proporção, cujos percentuais variam de acordo com cada espécie de material, tais como resinas, taninos, ácidos graxos, fenóis, compostos nitrogenados, sais minerais, etc. (D'ALMEIDA, 1988).

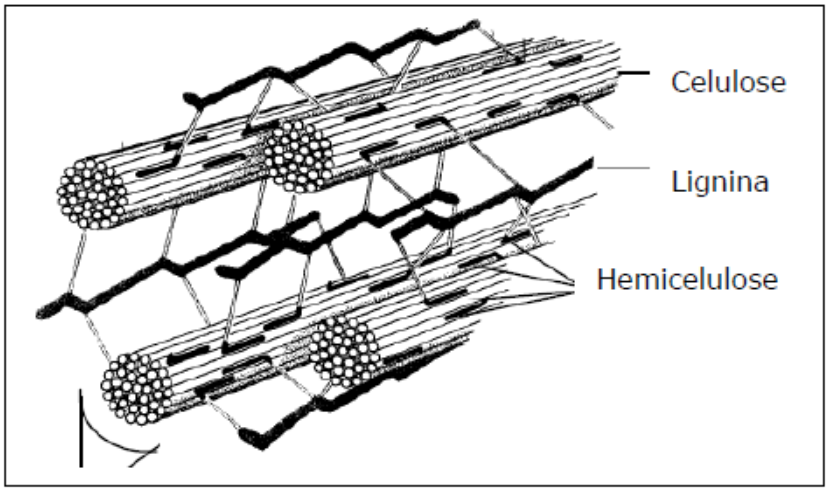


Figura 2.1 - Estrutura das Fibras do Material Lignocelulósico

Fonte: SHLESER (1994)

Tabela 2.1 - Características dos materiais lignocelulósicos

Componentes	Características	Composição	Processamento
Celulose	polímeros de glicose com alta massa molecular que são mantidos rigidamente juntos como feixes de fibras para fornecer força ao material. Presente em regiões cristalina e amorfa. Insolúvel em álcalis.	Cerca de 40% em peso da biomassa.	Podem ser quebrados em açúcares e eventualmente fermentados para produção de etanol.
Hemicelulose	polímeros pequenos de vários açúcares de celulose. Presente somente em regiões amorfas. Solúvel em álcalis.	Cerca de 25% em peso da biomassa.	
Lignina	polímero tridimensional de fenilpropânico que é infiltrado no componente hemicelulose.	Cerca de 20% em peso da biomassa.	Pode ser quimicamente processada para produzir aditivos de combustíveis, ou degradada por microorganismos, produzindo fenóis, vanilina e outros componentes.

Fonte: Elaboração própria a partir de LANGE (2007), SEABRA (2008) e PEREIRA JR. *et al* (2008A)

Conforme apresentado na Tabela 2.2, a composição dos materiais lignocelulósicos varia de acordo com a sua fonte; assim como a forma e o tamanho da parede celular de tais materiais variam de espécie para espécie; sua composição química apresenta-se distintamente entre representantes lignocelulósicos (SCHLITTLER, 2006).

Como o foco do presente trabalho é o estudo das possibilidades de aproveitamento da lignina, maior ênfase será dada a esta fração.

Tabela 2.2 – Composição química parcial de alguns materiais lignocelulósicos

Material lignocelulósico	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Farelo de cevada	23,0	32,7	24,4
Sabugo de milho	31,7	34,7	20,3
Folhas de milho	37,6	34,5	12,6
Bagaço de cana	40,2	26,4	25,2
Palha de arroz	43,5	22,0	17,2
Palha de trigo	33,8	31,8	20,1
Palha de sorgo	34,0	44,0	20,0
Casca de aveia	30,5	28,6	23,1
Eucalyptus grandis	40,2	15,7	26,9
Eucalyptus globulus	46,3	17,1	22,9

Fonte: TAMANINI & HAULY (2004), CANETTIERI *et al*. (2001). MUSSATO & ROBERTO (2002) *apud* SILVA (2010)

2.2 ESTRUTURA QUÍMICA E FORMAÇÃO DA LIGNINA

A lignina é a segunda fonte mais abundante de matéria-prima natural, atrás da celulose, e a maior fonte de polímeros aromáticos de natureza fenólica (LORA & GLASSER, 2002 *apud* CARROTT & RIBEIRO CARROTT, 2007).

Trata-se de um composto amorfo e ramificado, existente nos vegetais lenhosos, cuja função é dar rigidez, força e flexibilidade à parede celular, auxiliar no transporte de água, servir como uma barreira à degradação enzimática da parede celular e proteger contra ataques de insetos e microorganismos patogênicos. Ao contrário da celulose, a lignina apresenta uma estrutura molecular complexa e variável que depende da espécie vegetal, localização, idade da planta, estação do ano, etc (FERNANDES, 2005).

A composição elementar média da lignina é 53-65% de carbono, 6-9% de hidrogênio e 26-36% de oxigênio. Quando não modificada a lignina não apresenta enxofre, fósforo, nitrogênio ou outros elementos.

Esta macromolécula natural é constituída por vários éteres de arila, irregularmente conectados por uma variedade de ligações. A sua estrutura é fundamentada em três diferentes precursores ilustrados na Figura 2.2: álcool coniferílico, álcool sinapílico e álcool p-cumarílico. Também conhecidos como

monolignóis, conduzem a formação dos seguintes grupos na lignina que dependem do grau de metoxilação[3]: guaiacila (4-hidroxi-3-metoxifenila, G), siringila (4-hidroxi-3,5-dimetoxifenila, S) e p-hidroxifenila (4-hidroxifenila, H).

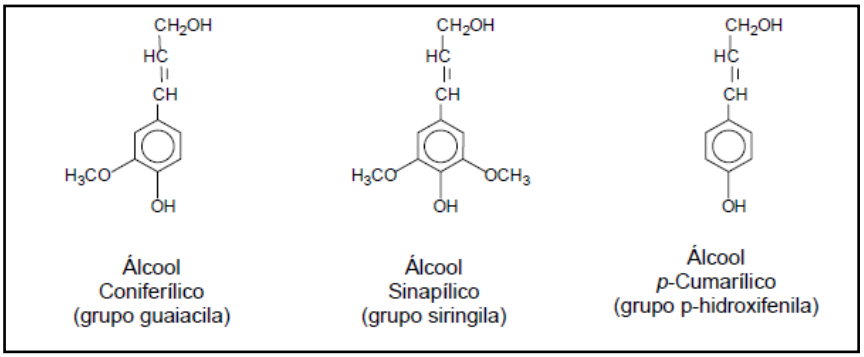


Figura 2.2 - Precursores da lignina

Fonte: DORRESTIJN *et al* (2000)

A formulação da lignina e a relação entre as três unidades se modifica de acordo com o tipo de célula e de planta. A Tabela 2.3 mostra a composição da lignina nas diferentes fontes de planta:

Tabela 2.3 - Composição da lignina nas diferentes fontes de planta

Fonte	% de lignina	Composição
Madeiras moles *Softwoods* (gimnospermas ou coníferas)	27-33	Lignina guaiacila (G) - contém principalmente as unidades de guaiacila – cerca de 90% derivada do álcool coniferílico
Madeiras duras *Hardwoods* (angiosperma ou folhosas)	18-25	Lignina guaiacila-siringila (GS) – contém quantidades semelhantes de unidades de guaiacila e siringila
Gramíneas *Grasses*	17-24	Lignina p-hidroxifenila-guaiacila-siringila (HGS) – contém maior quantidade de unidades de p-hidroxifenila do que a encontrada em madeiras coníferas ou folhosas, mas em proporções menores do que as outras unidades

Fonte: Elaboração propria a partir de BOZELL *et al* (2007), FENGEL & WEGENER (1989) e GLASSER & SARKANEN (1989)

[3] O grau de metoxilação (DM) é uma medida da proporção de grupos carboxílicos que estão presentes na forma esterificada.

As ligninas são sintetizadas nas madeiras por uma série de reações enzimáticas muito complexas seguindo várias rotas metabólicas. Uma das mais aceitas foi proposta por Wout Boerjan *et al*. (2003 *apud* HERNANDEZ, 2007), na qual parte-se da fenilamina e são consideradas algumas possíveis alternativas como a rota do ácido chiquímico ou ácido caféico (HERNANDEZ, 2007).

Tendo em vista a diversidade mencionada acima, Dorrestijn *et al* (2000) afirma que a estrutura química exata de qualquer lignina não pode ser completamente resolvida. Estes autores reportam a representação esquemática da lignina fornecida por Streitwiesser & Heathcook (1991 *apud* DORRESTIJN *et al*, 2000), mostrada na Figura 2.3. Tal ilustração revela que as unidades fundamentais da lignina estão ligadas entre si pelos anéis aromáticos e pelas cadeias alifáticas, formado estruturas tridimensionais muito complexas.

Além das ligações entre monômeros, existe uma grande variedade de grupos funcionais, que influem igualmente nas características, na reatividade e nas propriedades das ligninas, a saber, grupos metoxila, hidroxila, carbonila, carboxila, éter, éster, além das insaturações presentes (FERNANDES, 2005). Os teores de metoxila, hidroxila e carbonila são usualmente expressos com base nas unidades fenilpropânicas (C9) das ligninas.

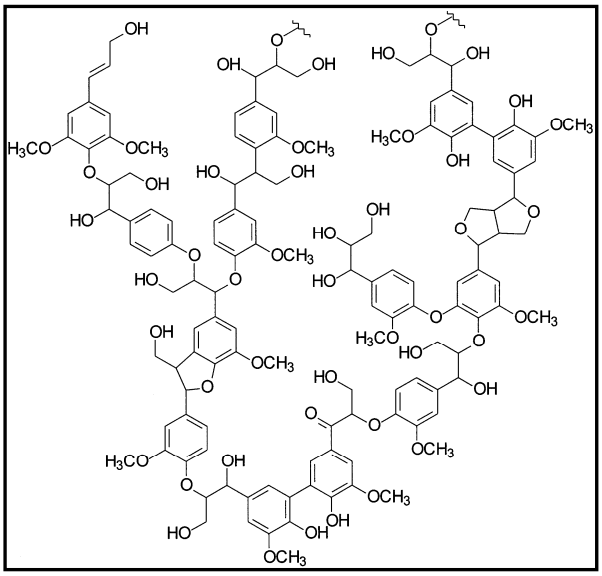


Figura 2.3 - Representação esquemática da lignina

Fonte: STREITWIESSER & HEATHCOOK (1991 *apud* DORRESTIJN *et al*, 2000)

Por fim, as ligninas podem ser classificadas como: (i) lignina nativa, ou seja, aquela que está presente na biomassa; e (ii) lignina técnica, também chamada industrial, em que a lignina é isolada a partir da biomassa por uma variedade de processos (BOZELL *et al*, 2007).

2.3 ISOLAMENTO/REMOÇÃO DA LIGNINA INDUSTRIAL

Existem diversos processos para o isolamento/remoção da lignina que podem ser utilizados para fins industriais. Cada um apresenta vantagens e desvantagens de caracter operacional e econômico que devem ser verificadas quando da escolha do melhor método, em especial dentro do conceito de biorrefinaria proposto nesta tese. Fatores como o perfil do produto de saída, a acessibilidade às matérias-primas, o modelo do negócios e o tipo de matéria-prima utilizada devem ser analisados cuidadosamente.

2.3.1 **Lignina Kraft**

A polpação Kraft é o processo químico mais utilizado no mundo (BOZELL *et al*, 2007) devido principalmente à sua versatilidade para processar praticamente qualquer matéria-prima lignocelulósica e as excelentes propriedades de resistência da polpa celulósica obtida. As principais desvantagens deste processo se derivam principalmente de seu impacto ambiental.

O agente químico de cozimento utilizado no processo Kraft é uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na_2S) com um pH de 13-14. A pressão e o tempo de cozimento podem variar de 7 - 10 bar e de 0,5 - 2 h, respectivamente, dependendo de parâmetros como a temperatura de operação e o tipo de polpa a produzir.

Um licor negro de natureza alcalina, contendo a fração não celulósica da madeira e os reagentes residuais, é obtido após o cozimento. Após ser concentrado, o resíduo é queimado para gerar energia, a qual é usada para a obtenção de vapor ou energia

elétrica, e os agentes químicos são recuperados para reutilização (HERNANDEZ, 2007).

No processo Kraft, a deslignificação ocorre através da ação do NaOH e do Na_2S sobre as ligações éter da molécula de lignina. A quebra dessas ligações libera grupos hidroxila fenólicos, que favorecem a dissolução da mesma no meio alcalino. A lignina neste processamento é fortemente hidrolisada e possui uma massa molar baixa.

Os licores negros Kraft contêm 15-18% de sólidos dissolvidos, sendo compostos majoritariamente de lignina, carboidratos degradados, extrativos e agentes químicos inorgânicos sem reagir. Porém, esta composição varia em função do tipo de madeira processada.

Para isolar a lignina Kraft pode se utilizar um método de precipitação ácida. O mais desenvolvido é feito em duas etapas. Na primeira, o gás carbônico é borbulhado no licor negro a quente, recuperando entre 75 e 80% da lignina por filtração. Após concentração, o filtrado é tratado com ácido sulfúrico, recuperando mais cerca de 10% de lignina (GARCÍA *et al*, 1984, NORTHEY, 1992 *apud* HERNANDEZ, 2007).

Embora quase toda a lignina produzida seja queimada para geração de energia e recuperação de agentes químicos, uma pequena parte é recuperada e vendida na forma de pó.

2.3.2 **Lignosulfonatos dos processos sulfito ácido**

Neste processo as matérias-primas lignocelulósicas são colocadas para reagir com uma mistura de dióxido de enxofre e uma base de sulfito, em altas temperaturas e pH baixo. Os licores residuais contêm majoritariamente polímeros de lignina sulfonada (lignosulfonatos), contendo em média de 70 a 75% destes compostos (HERNANDEZ, 2007).

As propriedades dos lignosulfonatos são afetadas de acordo com a matéria-prima utilizada no processo. Os lignosulfonatos de madeiras de folhosas e plantas anuais têm uma massa molar menor que os lignosulfonatos obtidos das madeiras de coníferas.

2.3.3 Lignosulfonatos de processos bisulfito

Estes lignosulfonatos são obtidos dos processos bisulfito, onde o material lignocelulósico é submetido a temperaturas de 150-175º C e pH de 3-5. O material dissolvido no licor contém de 40-50% de lignosulfonatos. Cabe destacar que tais lignosulfonatos não são comumente comercializados (HERNANDEZ, 2007).

2.3.4 Lignosulfonatos dos processos sulfito-neutro semi-químicos

O material lignocelulósico é tratado com sais de bisulfito/sulfito em pH de 6-9, depois são submetidos a um tratamento mecânico com refinadores. O material dissolvido nesses processos contém quantidade de lignosulfonatos menor que 50%. Os lignosulfonatos desses processos são comercializados em pequena escala (HERNANDEZ, 2007).

2.3.5 Lignina organosolv

A lignina é obtida como subproduto dos processos conhecidos como organosolv e que se caracterizam por utilizar como meio deslignificante solventes orgânicos, normalmente associados com água e às vezes um catalisador, ácido ou básico. A volatilidade do solvente utilizado facilita a sua recuperação por destilação do licor negro. Essa simplicidade do sistema de recuperação resulta em menor impacto ambiental, comparado com os processos convencionais (polpação kraft e aqueles envolvendo sulfitos) (BOZELL *et al*, 2007).

Outras vantagens deste processo são os altos rendimentos em polpa e pouca modificação da lignina recuperada, assim como a maior facilidade de branqueamento da polpa (GOYAL *et al*. 2002; PAN *et al*., 1992). Com esses solventes, as reações de condensação são reduzidas e favorecendo a difusão do licor nos cavacos, além da solubilidade da lignina (LINDNER e WEGENER, 1990).

No entanto, os processos organosolv possuem algumas desvantagens pois implicam custos mais elevados associados à manipulação e recuperação de solvente

orgânico. A lignina organosolv também tende a ser muito menos água solúvel, o que pode limitar seu uso em algumas aplicações (BOZELL *et al*, 2007). Atualmente, não existe uma fonte comercial de lignina organosolv.

2.3.6 **Lignina pirolítica**

Processos pirolíticos, podem ser usados para produzir um fluxo de lignina no contexto da biorrefinaria, uma vez que praticamente qualquer tipo de biomassa pode ser considerada como matéria-prima para a pirólise rápida. Cerca de 100 diferentes tipos de biomassa têm sido testadas por muitos laboratórios ao longo de um vasto leque de produtos agrícolas e florestais resíduos (BOZELL *et al*, 2007) .

É possível isolar um pó seco, denominado lignina pirolítica, pela adição de óleo de pirólise em água gelada sob agitação. Depois de lavar e secar sob vácuo, o pó marrom escuro é obtido sendo derivado principalmente de lignina, originalmente presente na biomassa pirolisada.

2.3.7 **Lignina obtida a partir da explosão com vapor**

O processo de explosão com vapor é um meio rápido de tratamento de materiais lignocelulósicos, que libera componentes da biomassa por meio de impregnação de vapor sob compressão e descompressão rápidas (AVELLAR & GLASSER, 1998).

O tratamento de madeira e bagaço é realizado utilizando vapor de alta pressão com tempos de contato curtos. Variantes contínuos e em batelada são conhecidas, e o processo tem sido utilizado, em geral, como um método para preparar a pasta de celulose. No entanto, a explosão com vapor também serve como uma excelente fonte de lignina. Quando as madeiras duras são empregadas, mais de 90% da lignina pode ser obtida a partir da produto da explosão por lavagem subseqüente com alcalinos ou por extração com solvente orgânico. As madeiras macias são mais recalcitrantes, mas também podem servir como uma fonte de lignina por tratamento da polpa explodida com peróxido alcalino (SHEVCHENKO *et al*, 1999).

O processo em si parece reter grande parte da estrutura da lignina original, mas algumas mudanças podem ocorrer após o isolamento (HUA *et al*, 1993). A lignina obtida da explosão a vapor parece ser semelhante à lignina organosolv nas propriedades gerais, apresentando uma menor massa molecular e maior solubilidade em compostos orgânicos do que a lignina kraft (SHIMIZU *et al*, 1998).

Sua estrutura é composta de oligômeros fenólicos com entre três e 12 anéis de benzeno por unidade de oligômero. Assim, tal lignina pode ser uma candidata interessante para a conversão seletiva da lignina em uma fração relativamente estreita de fenóis misto (BOZELL *et al*, 2007).

Uma vantagem decorrente do processo de explosão com a vapor é a ausência de preocupações ambientais relacionadas ao enxofre que existe nos processos kraft e sulfito. Semelhante aos processos organosolv, é capaz de coproduzir uma corrente de açúcar para a fermentação e/ ou conversão de produtos químicos, juntamente com a lignina. Desta forma, pode tornar-se um processo potencialmente atraente para uma biorrefinaria centrada fundamentada no álcool combustível, produtos químicos, derivados de lignina e polpa de celulose.

2.3.8 Lignina obtida a partir de tratamento com ácidos diluídos

O foco principal desses processos é o isolamento e a hidrólise da porção celulósica da biomassa como matéria-prima para produção de etanol. Entretanto, tais tecnologias também proporcionam lignina como subproduto (SUN & CHENG, 2002).

Os tratamentos com ácidos concentrados e diluídos são bem conhecidos como métodos para a hidrólise da celulose. Processos comerciais de hidrólise ácida foram conhecidos no início do século XX e têm a vantagem de serem quimicamente baratos e simples. No entanto, várias desvantagens destes processos foram relatados. Separações muito efetivas podem ser realizadas com altas concentrações de ácidos; mas reatores resistentes à corrosão e um processo de recuperação efetiva de ácido são necessários para a separação, o que eleva o custo total (SUN & CHENG, 2002).

Outra desvantagem associada a esta fonte de lignina é seu rendimento baixo, pois há a recuperação de apenas cerca de 50-70% da lignina disponível. A lignina geralmente contém contaminantes provenientes de açúcar (BOZELL *et al*, 2007).

A lignina obtida a partir da extração usando ácidos diluídos deve ser estudada como uma fonte de matéria-prima para produção de produtos químicos, em especial para novos usos da lignina. Atualmente, tais ligninas exibem propriedades suficientes para uso de combustível. No entanto, a lignina deve ser removida no início do processo e em condições mais brandas para ser utilizada como matéria-prima para a produção química. Prevê-se que a conversão dessa lignina em produtos de maior valor agregado irá compensar qualquer aumento do custo associado a remoção da mesma por métodos mais sofisticados (BOZELL *et al*, 2007).

2.3.9 **Lignina obtida a partir de oxidação alcalina**

A polpação também pode ser realizada via oxidação alcalina usando, por exemplo, oxigênio (O_2) ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Esses processos degradam e solubilizam a lignina via reações químicas que são diferentes da polpação kraft ou sulfito. A lignina alcalina pode ser facilmente recuperada pela redução do pH ou pela concentração, filtragem e secagem. Suas propriedades de solubilidade são bastante diferentes dos lignosulfonatos convencionais não encontrando assim muitas aplicações comerciais (BOZELL *et al*, 2007).

É verificado que as taxas de deslignificação da polpação alcalina oxidativa tendem a serem mais lentas e mais fracas do que a polpação kraft. Desta forma, este tipo de oxidação não é amplamente praticada e a lignina obtida não é facilmente disponível. Tal lignina tende a ter baixa massa molecular e também se caracteriza por apresentar mais funcionalidades de carbonila e carboxila de que a lignina kraft ou sulfito.

Por fim, a Tabela 2.4 apresenta uma consolidação dos principais processos de isolamento/remoção da lignina, apresentando suas vantagens e desvantagens do ponto de vista da utilização da lignina como matéria-prima para a produção de produtos químicos, energia e combustíveis.

Tabela 2.4 - Processos de isolamento/remoção da lignina a partir da biomassa

Tipo de lignina	Vantagens	Desvantagens
Kraft	- Processa praticamente qualquer matéria-prima lignocelulósica - Excelentes propriedades de resistência da polpa celulosica obtida	- Impacto ambiental
Lignosulfonatos	- Forma comercializada em âmbito mundial	- São impuros e contem de 70-75% de lignina
Lignosulfonatos de processos bisulfito	-	- Não são comercializados
lignosulfonatos dos processos sulfito-neutro semi-químicos	-	- Comercializados em pequena escala
lignina organosolv	- Volatilidade do solvente orgânico utilizado facilita a recuperação por destilação do licor negro - Menor impacto ambiental quando comparado com os processos convencionais	- Custos mais elevados associados à manipulação e recuperação do solvente orgânico - Não existe fonte comercial de lignina organosolv
lignina pirolítica	- Possibilidade de conversão de produtos aromáticos	- Elevado nível de consumo de carboidratos
lignina obtida a partir da explosão com vapor	- Ausência de preocupações ambientais relacionadas ao enxofre que existe nos processos kraft e sulfito	-
lignina obtida a partir de tratamento com ácidos diluídos	- Hidrolise ácida é um processo quimicamente barato e simples	- Necessidade de reatores resistentes a corrosão - Processo de recuperação efetiva do ácido torna os custos elevados
lignina obtida a partir de oxidação alcalina	- A lignina pode ser facilmente recuperada pela redução do pH ou pela concentração, filtragem e secagem	- Não apresenta muitas aplicações comerciais

Fonte: Elaboração própria

2.4 CARACTERÍSTICAS DA LIGNINA

As propriedades físicas e químicas da lignina dependem do método de isolamento/remoção utilizado. Por exemplo, os lignosulfonatos são hidrofílicos e dissolvem na água; já as ligninas oriundas da polpação kraft são hidrofóbicas e não dissolvem na água (PURE LIGNIN, 2011); os solventes utilizados incluem dioxano, acetona, piridina, e dimetil sulfóxido.

Além disso, tais características também dependem da sua estrutura química, de sua formação e da planta que lhe deu origem. Entretanto, de um modo geral a lignina apresenta algumas características padrões que são abordadas a seguir.

Tendo em vista sua natureza, a lignina é insolúvel na maioria dos solventes orgânicos; por isso o seu isolamento é difícil. No entanto, quando ocorre sua separação a estrutura molecular é sempre comprometida.

Embora não seja possível extrair a lignina sem degradá-la, estima-se que a massa molecular possa estar na faixa de 1.000-20.000 unidades. As ligninas isoladas apresentam uma cor escura e são facilmente oxidadas devido ao seu alto teor de compostos aromáticos. São relativamente estáveis em soluções de ácidos minerais e solúveis em bases aquosas quentes (PURE LIGNIN, 2011).

Outra característica marcante é observada quando exposta a luz ultra-violeta (UV): a lignina absorve grandemente a luz UV. Experimentos nos quais amostras de madeira e de materiais lignocelulósicos foram irradiadas com lâmpadas UV confirmaram que todos os componentes são atacados e que a presença de lignina retarda a degradação fotoquímica da celulose. Este comportamento é explicado pela alta capacidade que a lignina possui de absorver a luz UV e também pela sua grande capacidade de auto-oxidação (FERNANDES, 2005).

A lignina é sujeita a várias reações como oxidação, hidrólise, descoloração, redução e reações enzimáticas. O amarelamento do papel é um problema muito conhecido provocado pela lignina residual ou por seus derivados, podendo ser atribuído às estruturas quinóides e demais grupos cromóforos presentes na estrutura da lignina, tais como grupos OH fenólicos, carbonila, duplas ligações conjugadas, quinona, bifenil e radicais aromáticos (FERNANDES, 2005).

Cabe destacar ainda que o anel aromático de um ânion fenóxi é o local de adição eletrofílica, por exemplo, na metilação com formaldeído. O ânion fenóxi é altamente reativo com muitos oxidantes, como oxigênio, peróxido de hidrogênio, ozônio e ácido peracético. Muitas das reações químicas de modificação de lignina, utilizando a sua natureza aromática e fenólica, exploram esta propriedade química.

Com relação às suas propriedades térmicas, a lignina, por ser um polímero amorfo, se comporta como um material termoplástico passando por uma transição

vítrea em temperaturas que variam muito, dependendo do método de isolamento, água absorvida e tratamento de calor. A lignina armazena mais energia do que a celulose na madeira. Além disso, o amolecimento térmico da lignina em temperaturas elevadas aceleram as taxas de deslignificação na polpação química e aumenta a resistência das fibras de papel (FERNANDES, 2005).

Observa-se que a lignina apresenta geralmente um baixo nível de toxicidade. Extensivos testes em animais, bem como experiência humana direta, revelaram que toda a lignina livre de solvente orgânico, especialmente a lignina kraft e lignosulfonatos, são essencialmente não tóxico (BOZELL *et al*, 2007).

Cabe destacar que as ligninas ganharam a aprovação da *Food, Drugs and Administration* (FDA) para o uso seguro de fabricação e uso em uma ampla variedade de aplicações para alimentos.

2.5 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Para que as dificuldades associadas à utilização comercial da lignina. sejam vencidas há a necessidade de aprofundamento nas pesquisas para o desenvolvimento tecnológico e industrial de novos usos comerciais da lignina. A Tabela 2.5 relaciona as principais vantagens e desvantagens do uso da lignina para fins industriais.

Tabela 2.5 - Vantagens e desvantagens do uso da lignina para fins industriais

Vantagens	**Desvantagens**
- Produto disponível em grandes quantidades - Boas propriedades químicas como não toxicidade - Apresenta um grande número de pontos reativos favorecendo assim as reações de substituição e adição - Vasto leque de aplicações industriais - Oportunidade de agregar valor a cadeia produtiva - Reduzir o impacto ambiental da agroindústria	- Estrutura química complexa de difícil rompimento - Heterogeneidade das ligninas de acordo com os diferentes tipo de madeira - Custos elevados de purificação em especial para as ligninas kraft e lignosulfonadas - Alto custo ambiental - Necessidade de investimento em P&D para tornar viável algumas aplicações industriais da lignina

Fonte: Elaboração própria

A seguir serão abordados as principais aplicações das ligninas industriais: lignossulfonatos, lignina kraft e organosolv.

2.5.1 **Lignosulfonatos**

Na indústria de cimento e concreto

Os sais de lignosulfonato fornecem plasticidade e fluidez ao concreto, atuando assim como aditivos. Tais materiais competem com aqueles que atuam como retardadores da pega, como ácido glucônico e gluconatos; no entanto, são mais caros. Os lignosulfonatos em pó e líquido podem ser usados no processo de fabricação úmido de cimento Portland[4] em moinhos para aumentar o teor de sólidos de materiais em suspensão. Da mesma forma, lignosulfonatos são utilizados para retardar a pega de cimento puro em óleo quente (BOZELL *et al*, 2007).

Em pastilha de ração animal

Os lignosulfonatos são utilizados na alimentação animal, tanto como ligante nas pastilhas como diluente de melaço. Leveduras solúveis, cola animal, cereais e batata têm lignosulfonatos substituído em algumas formulações de pastilhas (BOZELL *et al*, 2007). Como diluente, são adicionados a mistura de melaço de modo a diminuir sua viscosidade para facilitar o transporte e manuseio.

Na indústria de pesticidas

Os lignosulfonatos são empregados como dispersante em pó ou úmido de grânulos dispersíveis em água ou secos e suspensão concentrada de produtos agrotóxicos Li *et al* (2009). Tal formulação contém um alta percentual (75 a 90%) de ingredientes ativos de pesticidas e aditivantes, como dispersantes e transportadores, que são adicionados principalmente para aumentar a eficiência dos ingredientes ativos

[4] O cimento Portland é definido como aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer portland com adição, durante a moagem, de pequena quantidade de sulfato de cálcio (gesso) para regular o tempo do início de hidratação dos componentes (tempo inicial de pega) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2011)

e reduzir a toxicidade. O autor ressalta ainda que os dispersantes usados nestas formulações são sulfonatos naftênicos de alquila, lignosulfonatos e policarboxilatos.

Em lamas de produção de petróleo

São usados intensivamente na formulação de lamas para a exploração de petróleo, uma vez que desempenham a função central de controle das perdas de filtração em regiões de baixa permeabilidade e na diminuição da consistência da lama (BOZELL *et al*, 2007).

Os compostos de lignina auxiliam no condicionamento de lamas devido às suas propriedades dispersantes e pela estabilização da dispersão daí em diante. Estes efeitos combinados provocam uma redução da viscosidade aparente da suspensão e no controle das propriedades de filtração devido à solvatação com a fase aquosa de lama (PADILLA *et al*, 2002).

Como dispersantes em geral

A natureza polieletrolítica da carga dos lignosulfonatos os tornam ativadores de superfície. Esse comportamento é potencializado pela ação eletrocinética da lignina carregada negativamente transferrindo carga para os sólidos causando repulsão mútua dos mesmos. Tal característica pode ser, em grande parte, devido a problemas físicos de adsorção em superfícies sólidas. O material resultante é suspensão estabilizadas e viscosidade reduzida (BOZELL *et al*, 2007).

Como emulsificantes e agentes umectantes em geral

Os lignosulfonatos quando modificados por hidroximetilação, carboxilação e sulfonilação do anel aromático são capazes de estabilizar as interações de óleo em água. Reduzem a tensão da interface petróleo-água e também adsorvem na interface sólido-líquido, facilitando o umedecimento por surfatantes convencionais. Suas estruturas rígidas em combinação com as suas propriedades polietrolíticas os tornam excelentes agentes modificadores da reologia de sistemas à base de água (BOZELL *et al*, 2007).

Como micronutrientes agrícolas

Os lignosulfonatos possuem poder quelante, sendo capaz de “seqüestrar” vários íons metálicos de ferro, zinco, cobre, manganês, magnésio e outros, levando-os à formação de complexos metálicos solúveis. Com isso, consegue conduzir para a planta metais na forma de micronutrientes e de uma forma paulatina (UNICAMP, 2010).

Além disso, os lignosulfonados são particularmente bons para o sequestro de íons Al^{3+}, sendo úteis para prevenir ou retardar o efeito negativo sobre o crescimento das plantas induzido por alumínio livre no solo.

Atividade antimicrobiana

A lignina apresenta alguma capacidade de retardar o crescimento bacteriano, e isso pode ter importância na sua utilização em embalagens de alimentos de contato e nos tratamentos do couro.

As propriedades antimicrobianas dos fragmentos fenólicos de lignina são bem conhecidas. A durabilidade natural de muitas espécies de madeira está relacionada com o potencial de toxicidade de compostos fenólicos para os microrganismos fitopatogênicos. Os compostos fenólicos têm sido muito utilizados como conservantes de alimentos para inibir o crescimento microbiano com ácidos fenólicos e flavonóides, sendo os dois principais grupos de conservantes (BAURHOO *et al*, 2007).

Em baterias ácidas de chumbo

São usados como extensores e agentes de modificação da superfície. Tais materiais reduzem a polarização da placa negativa e melhoram a vida útil da bateria (BOZELL *et al*, 2007).

No tratamento de água e agente de limpeza industrial

Água de torre de arrefecimento e caldeira são tratadas com lignosulfonatos para evitar a deposição em escala. Nesses sistemas, os lignosulfonatos seqüestram os sais que provocam dureza da água e também podem impedir a precipitação de algumas partículas coaguláveis (KIRK-OTHMER, 2007).

Em formulações de agentes de limpeza industrial, os lignosulfonatos funcionam como dispersantes e agentes de suspensão. As propriedades de lavagem são melhoradas, a corrosão é reduzida e a quantidade de agente umectante necessária é reduzida quando lignosulfonados são adicionados as formulações de limpeza industrial ácido e alcalino.

Na indústria de fertilizantes

A natureza orgânica da lignina permite obter, depois de uma primeira etapa de oxidação, material húmico. Tal material pode ser transformado posteriormente, por amoniação, em adubo ou fertilizante húmico nitrogenado de lenta liberação, ou combinado com outro tipo de adubo comercial para melhorar a seu desempenho (HERNANDEZ, 2007).

Na indústria de polímeros

A produção de poliolefinas pode ser uma aplicação para a lignina como materia-prima para a Indústria Química por meio da integração de blendas poliméricas. Estudos mostram que pequenas incorporações de lignina em polímeros melhoraram as suas características e seu desempenho. Por exemplo, a incorporação de lignosulfonato modificado em uma mistura de poliolefina binária de polipropileno (PP) e polietileno (PE) conferiu a mistura boas propriedades térmicas, físico-mecânica e de superfície (FELDMAN *et a*l., 1995 *apud* STEWART, 2008). Além disso, misturas de ligninas Kraft e aminadas com PP ou PE, respectivamente, produzem polímeros com melhor resistência, alongamento de ruptura e de outros índices elevados mecânica (WANG *et al*., 1992, SIMIONESCU *et al*, 1996 *apud* STEWART, 2008).

Adicionalmente, os estudos de Kadla & Kubo (2004) apontam que o desenvolvimento de polímeros termoplásticos baseados em lignina depende da alteração das propriedades viscoelásticas da lignina através da modificação química ou da mistura com o polímero.

Na indústria de cerâmicos

São utilizados para melhorar a plasticidade, resistência mecânica e propriedades de moldagem, ou seja, a produção mais rápida e com menos vazios na produção da peça. É empregado como aditivos em tijolos, refratários e cerâmicas (BOZELL *et al*, 2007).

Na indústria de corantes

Agem como dispersantes primários, diluentes, colóides protetores, e auxiliares de moagem. Os produtos fabricados pela reação de lignosulfonatos com álcoois benzílico têm baixa propriedades de redução do corante azo, baixas propriedades de fibra de coloração, elevada eficiência de dispersão, boas qualidades auxílio de moagem, e aumento da estabilidade térmica. (KIRK-OTHMER, 2007).

Na indústria de pigmentos

Os lignosulfonatos modificados possuem uma ampla gama de aplicações em pigmentos, tais como incluem dispersantes para sistemas de pigmento escuro usado para fibras têxteis de cores, revestimentos, tintas e licor negro. (KIRK-OTHMER, 2007).

2.5.2 **Lignina kraft**

Como fonte de energia

O maior uso da lignina kraft atualmente é sua utilização na geração de energia, na forma de eletricidade e vapor de processo, na produção de celulose. Sistemas de cogeração têm sido utilizados em fábricas para sua produção, em particular o processo Kraft, sendo responsável por aproximadamente 66% da matriz energética das indústrias de papel e celulose em 2008 de acordo com os dados da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2009).

O sistema geralmente usado é composto de caldeira de biomassa, queimando cavacos, cascas e resíduos de madeira, e caldeira de recuperação, queimando licor negro, que contém substâncias orgânicas (lignina) dissolvidas provenientes das fibras

de celulose. Esta queima visa reduzir o consumo energético, tornando menores os custos de produção (MELO *et al*, 2010).

Outra questão energética relevante refere-se à comparação entre o poder calorífico do licor negro, do bagaço da cana-de-açúcar, da palha do milho e da lignina, destacando que os dois primeiros são usados como fonte de energia através de sua queima. O efluente combustível produzido pelo processo de polpação celulósica tem um poder calorífico em torno de 13,4 MJ/Kg sendo produzido a uma taxa entre 1,0 a 1,4 kg de licor concentrado por quilo de celulose (SILVA *et al*, 2005). De acordo com Pereira Jr. (2007) o poder calorífico da lignina e do bagaço da cana é de 24 MJ/kg e 7 MJ/kg, respectivamente. Por fim, Quirino *et al* (2004) relatam que o valor do poder calorífico superior da palha do milho é de 3,6 MJ/kg.

Da análise destes valores, observa-se que o poder calorífico da lignina isolada é muito superior ao das demais fontes de lignina; quase o dobro do licor negro, cerca de 3,5 vezes o do bagaço da cana e oito vezes da palha do milho. Isto evidencia que a queima da lignina é mais eficiente e gera mais energia do que a queima dos demais. Neste contexto, a lignina presente na biomassa lignocelulósica pode ser utilizada como matéria-prima nas chamadas biorrefinarias, tendo em vista que os açúcares contidos em tais materiais podem ser separados por bioconversões e a lignina, devido ao seu poder calorífico, pode ser utilizada na co-geração dentro da usina em substituição ao bagaço da cana.

Na produção de resinas fenólicas

Segundo Tejado *et al* (2007), durante as últimas décadas, a lignina tem sido investigada como uma promissora alternativa natural a produtos petroquímicos na produção de resinas de fenol-formaldeído, devido à sua semelhança estrutural. O autor aponta que as características estruturais e térmicas sugerem que a lignina kraft seria um melhor substituto do fenol na síntese de resinas de fenol-formaldeído-lignina, uma vez que apresenta quantidades maiores de posições de anel livre ativado, maior massa molecular e temperatura de descomposição térmica maior.

As ligninas podem ser incorporadas em uma grande variedade de adesivos poliméricos, como resinas fórmicas, epóxidos, poli-isocianatos, poli-acrilamidas e pesquisas recentes para poliuretanos. (NIMZ, 1983 *apud* HERNANDEZ, 2007).

Como adsorvente natural

Segundo Carrott & Ribeiro Carrott (2007), diversos estudos publicados mostram que a lignina pode ser um bom adsorvente através de uma ampla faixa de concentração.Pó de lignina kraft de pinho foi usada como adsorvente por Crist *et al*. (2002 *apud* CARROTT & RIBEIRO CARROTT, 2007) em um novo processo para a adsorção de metais tóxicos.

A lignina também tem sido utilizada para remover outros materiais, como tintas, ácidos biliares, colesterol surfactantes, pesticidas, fenóis (DIZHBITE *et al*. 1999, LUDVÍK & ZUMAN, 2000, ALLEN *et al*., 2005 e VAN BEINUM *et al*., 2006 *apud* CARROTT & RIBEIRO CARROTT (2007).

Na obtenção de vanilina

A vanilina, um produto químico que pode ser obtido a partir da oxidação da lignina, é o principal componente do sabor de baunilha. Apresenta uma ampla gama de aplicações na indústria de alimentos como agente de sabor e em perfumaria como aditivo. Outras aplicações incluem aditivo antioxidante, agente antiespumante, inibidor de vulcanização e de precursores químicos para as industrias farmacêutica e de agroquímicos (SILVA *et al*, 2009).

Silva *et al* (2009) propõem um processo integrado que inclui as etapas de reação e separação para a produção de vanilina e poliuretanos à base da lignina Kraft, por meio de sua oxidação.

2.5.3 **Lignina organosolv**

As aplicações da lignina de origem organosolv ainda estão em desenvolvimento, e não estão atualmente disponíveis comercialmente. As ligninas produzidas nesses processos têm potenciais aplicações em adesivos para madeira, como retardadores de

chama, como agentes de liberação lenta para os produtos agrícolas e farmacêuticos, como surfactantes, como antioxidantes, como extensores de asfalto, e como fonte de matéria-prima para produtos químicos derivados da lignina.

2.5.4 **Outras aplicações das ligninas industriais**

No setor de adesivos

O principal ponto de entrada para a lignina no setor de adesivos é na produção de painéis de fibra de madeira (STEWART, 2008). Tecnologias têm sido testadas por diversos autores onde a reação cruzada *in situ* da lignina através de lacases (oxidoredutases) foram usadas em planta-piloto para fornecer placas comparáveis em força àquelas produzidas com adesivos de uréia-formaldeído.

No setor de pinturase revestimentos

Pinturas, incluindo as de proteção, podem ser preparadas através da polimerização enzimática de composições baseadas em lignina: uma mistura contendo uma solução de lignina mais um corante ou um pigmento, e a enzima (catecol oxidase, lacase, e peroxidase) é incubada em condições e período de tempo suficiente para atingir a viscosidade desejada (SENA-MARTINS *et al* 2008).

Os revestimentos podem ser preparados através da polimerização enzimática de composições baseadas em lignina. Este método leva a um processo ambientalmente seguro, compreendendo apenas as enzimas (como catecol oxidase, lacase, peroxidase) e derivados da lignina.

Pavimentação

A lignina úmida, apresenta uma textura pegajosa, permitindo que seja utilizada como aglomerante de partículas. Graças a esta propriedade, os licores negros do processo bisulfito têm sido utilizados como aditivos de asfalto para ruas e estradas. (GARCÍA *et al*, 1984 *apud* HERNANDEZ, 2007)

Por fim, a Tabela 2.6 sintetiza as diversas aplicações das ligninas industriais encontradas neste pesquisa, apontando as características aplicadas nos diferentes setores industriais.

Tabela 2.6 - Aplicações das ligninas industriais

Grupo de aplicação	Característica da lignina para a aplicação	Exemplos
Aditivos	Melhoria de alguma propriedade específica de um material através de seu uso.	- Na indústria de cimento e concreto - Pastilha de ração animal - Na indústria de polímeros - No setor de pintura
Ligantes, Aglutinantes e Adesivos	Adesivo muito eficaz e econômico, atuando como um agente de ligação ou "cola " em aglomerados ou materiais compactados.	- Pastilha de ração animal - Em substituição a resinas fenólicas - Na produção de painéis de fibra de madeira
Dispersante	Evitam o acúmulo e sedimentação de partículas não dissolvidas na suspensão.	- Na indústria de pesticida - Em lamas de produção de petróleo - Curtimento do couro - Na indústria de corantes
Emulsificante	Estabilizam emulsões de líquidos imiscíveis, como óleo e água, tornando-os altamente resistentes à ruptura.	- Na indústria de pesticida
Sequestrante	Associam-se a íons de metal, impedindo-os de reagir com outros compostos, tornando-se insolúveis.	- Micronutrientes agrícolas - Tratamento de água - Agente de limpeza industrial
Energia	Alto poder calorífico.	- Na geração de energia, na forma de eletricidade e vapor de processo
Adsorção	Promove a adsorção de metais.	- Como adsorvente natural
Produto Químico	Caráter aromático.	- Na obtenção da vanilina
Outros	Apresentam propriedades antimicrobianas dos fragmentos fenólicos de lignina.	- Atividade antimicrobiana

Fonte: Elaboração própria

2.6 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE LIGNINA COMO MATÉRIA-PRIMA RENOVÁVEL

Os cálculos apresentados a seguir foram estimados pela autora, porém não há referência de quanta lignina de fato foi produzida tanto nos EUA como no Brasil, nem quanto foi aplicada efetivamente em usos industriais.

2.6.1 **Nos EUA**

2.6.1.1 Na Indústria de celulose

Os EUA foram os maiores produtores mundiais de celulose no ano de 2009 com um pouco mais de 48 milhões de toneladas (ton), o que corresponde a cerca de 27% de toda a produção mundial. Verifica-se ainda de que 81% das pastas celulósicas são produzidas via processo kraft (BRACELPA, 2011).

Nogueira & Walter (1995) relatam que são produzidas de 1,0 a 1,4 kg de licor negro concentrado por kg de celulose fabricada.

Considerando que 1 kg de celulose pode resultar em 1 kg de licor, é possível estimar que, no ano de 2009, foram geradas cerca de 48 milhões de ton de licor negro. Considerando ainda que teor da lignina nos licores negros de processo kraft é de 45% (LIN & LIN, 1990), a quantidade total de lignina potencialmente produzida pelos EUA no ano de 2009 foi de 22 milhões de ton.

2.6.1.2 A partir de resíduos agrícolas

Estudos do US Department of Energy (USDOE) sugeriram que 1,3 bilhões de ton de biomassa estão disponíveis anualmente nos EUA (PERLACK *et al*, 2005). Considerando que uma das principais fontes de materiais lignocelulósicos é o agronegócio ligado ao milho, referente à produção de biocombustível, e adotando o teor de lignina no sabugo de milho de 20,3%, conforme mostrado na Tabela 2.2, chega-se a quantidade potencial de lignina de 264 milhões de ton de lignina que pode ser obtida a partir de resíduos lignocelulósicos nos EUA.

2.6.2 **No Brasil**

2.6.2.1 Na Indústria de celulose

O setor de celulose e papel é um dos setores que mais cresce no Brasil e no mundo. O Brasil é o maior produtor de celulose de fibra curta, o quarto maior de

celulose e o 12º produtor de papel no mundo (BRACELPA, 2011). O crescimento médio anual da produção de celulose no Brasil está em torno de 7,5% e de papel 5,8%.

Segundo Grossi (2002 *apud* MELO *et al*, 2010), aproximadamente 91% das pastas celulósicas produzidas são pelos processos químicos e semiquímicos alcalinos. Destes o processo Kraft ocupa lugar de destaque com cerca de 80% do total de pasta celulósica produzida no Brasil.

Os dados revelam que a produção de celulose e de papel para o ano de 2009 foram 13,3 milhões de ton e 9,4 milhões de ton respectivamente (BRACELPA, 2011).

De forma similar a estimativa apresentada no item 2.6.1.1 é possível verificar que no ano de 2009 foram geradas no Brasil 13,3 milhões de ton de licor negro, que equivalem a 6 milhões de ton de lignina.

O valor estimado do potencial de produção de lignina nos EUA (22 milhões de toneladas), somados ao potencial do Brasil convergem com os dados reportados por Gosselink *et al* (2004). Estes autores estimaram para a indústria do papel e celulose mundial a geração de mais de 50 milhões de ton de lignina/ano, sem contar outras possíveis fontes como a biomassa.

2.6.2.2 A partir de resíduos agrícolas

Tendo em vista a vasta biodiversidade encontrada em seu território, o Brasil dispõe de uma grande variedade de resíduos agrícolas e agroindustriais cujo bioprocessamento desperta um grande interesse econômico e social (RAMOS, 2000).

Segundo Pereira Jr. (2006), a quantidade de resíduos lignocelulósicos gerada no Brasil para o ano de 2005 foi de, aproximadamente, 350 milhões de toneladas. Adotando o teor de lignina no bagaço da cana de 25,2%, conforme mostrado na Tabela 2.2, chega-se a quantidade potencial de lignina de 88 milhões ton de lignina que pode ser obtida a partir de resíduos lignocelulósicos no Brasil.

2.7 MERCADO MUNDIAL DA LIGNINA E SUAS APLICAÇÕES

Tradicionalmente, a lignina tem sido visto como um resíduo ou um subproduto da polpação celulósica de baixo valor com a sua utilização predominantemente limitada ao seu uso como combustível para alimentar as caldeiras de polpação e na recuperação de produtos químicos.

Mas há ainda um mercado pequeno e pouco explorado para as grandes quantidades de ligninas industriais produzidas. Estimativas revelam que apenas 2% das ligninas disponíveis a partir da indústria de papel e celulose são comercializadas, compreendendo cerca de 1 milhão de ton/ano provenientes de lignosulfonatos provenientes da polpação sulfito e menos de 100 mil ton/ano de ligninas kraft produzidas no processo kraft (GOSSELINK *et al*, 2004).

Com base nos estudos e características técnicas dos produtos derivados das ligninas, o montante estimado pode ser eficientemente usado para substituir os recursos fósseis. As principais dificuldades para alcançar esse objetivo são os padrões de baixa pureza das ligninas comerciais existentes e o fato de que a maior parte da lignina kraft é usada para produção de energia e portanto, não estando disponível plenamente para uso industrial.

As dificuldades demandam o desenvolvimento de tecnologias de modo a obter melhoramentos da lignina, buscando ampliar o mercado de suas aplicações em produtos de maior valor agregado dentro do conceito de biorrefinaria, sem desconsiderar a sua potencialidade com fonte de energia (GOSSELINK *et al*, 2004).

Com relação ao mercado, observa-se que a demanda por produtos naturais e sustentáveis tem aumentado, bem como a pesquisa por aplicações da lignina produzida em grandes quantidades, em novos campos como a saúde, alimentos, cosméticos, farmacêuticos e higiene.

A lignina deve ser considerada não somente como um subproduto das indústrias de papel e celulose e sucroalcooleira, mas também ser percebida com uma matéria-prima renovável importante e como uma oportunidade de mercado que precisa ser explorada dentro do conceito de Química Verde.

Gosselink *et al* (2004) aponta que o novo volume de negócios global que pode ser criado a curto prazo (dentro de dez anos) pela venda da lignina é estimado em dois bilhões de euros. Para a Europa, incluindo o efeito de multiplicação por várias vendas em diferentes níveis de distribuição, o adicional de vendas de produtos de lignina pode chegar a um montante similar de pelo menos dois bilhões de euros.

Além disso, o melhor uso de produtos agrícolas nas indústrias de celulose e outras biomassas pode induzir efeitos multiplicadores significativos. Novas instalações de produção para o processamento de fibras ou etanol pode se tornar economicamente viável graças aos produtos obtidos a partir da lignina.

2.7.1 **Mercado mundial das ligninas industriais**

2.7.1.1 Lignina kraft

De acordo com um dos cenários traçados por Bozell *et al* (2007) a lignina é usada como energia, fornecendo um valor de crédito de combustível de US$ 11,2 bilhões. Isso pressupõe que a lignina tem um valor do combustível de US$ 0,04 por libra em base seca (BTU em substituição ao carvão), mas é descontada US$ 0,025 dólares por libra quando molhada.

2.7.1.2 Lignossulfonatos

Quase toda a lignina usada comercialmente é obtida dos lignossulfonatos produzidos a partir dos licores de polpação sulfito. Westvaco e Lignotech da Suécia também produzem lignossulfonatos pela sulfonação da lignina kraft, mas esse processo produz um produto com uma massa molecular muito menor. As vendas totais de lignosulfonato em 1996 foram US $ 600 milhões a uma capacidade de 975 milhões ton (LEBO *et al*, 2001).

A produção mundial é dominada por Borregaard-LignoTech (Noruega) e Tembec (Canadá). MeadWestvaco, LignoTech e Georgia Pacific são os principais produtores dos EUA, com a MeadWestvaco sendo o único produtor comercial da lignina kraft não

sulfonada globalmente. Os usos desta lignina estão sendo geralmente limitados a aplicações em que as propriedades estruturais, tais como solubilidade, atividade de superfície e teor de sólidos são aceitáveis ou importante (BOZELL *et al*, 2007).

Misturas para concreto é o principal mercado para lignosulfonatos, respondendo por 38% do consumo mundial em 2008. O seu consumo como ligante na mineração de cobre, licor negro e carvão é o segundo maior mercado mundial, respondendo por 12% do consumo mundial em 2008 (BIZZARI *et al*, 2009). A Tabela 2.7 ilustra o consumo mundial de lignossulfonatos.

Tabela 2.7 – Consumo de Lignossulfonatos* e taxa de crescimento média

Países	**2001**	**2006**	**Taxa de crescimento anual**
EUA	291	284	-0,5
Canadá	58	64	2,0
Japão	90	87	-0,7
Europa Ocidental	318	338	1,2
Resto do Mundo	297-315	262-287	-2,5
Total	1.053 – 1.074	1.035-1.060	-0,3

* 1000 ton, base sólida

Fonte: Chemical Economics Handbook (*apud* BOZELL *et al*, 2007)

Aplicações dos lignossulfonatos como dispersante foram responsáveis por 67,5% do consumo mundial em 2008, seguido dos usos como ligante e adesivo com 32,5%. Os principais mercados de destino incluem a construção, mineração, alimentos para animais e agricultura (BIZZARI *et al*, 2009). A Figura 2.4 mostra principais aplicações mundiais dos lignosulfonatos para o ano de 2001.

Os principais usos do lignosulfonatos foram em misturas de concreto, pellets de ração animal, dispersantes em corantes e ligantes aplicados em estradas. Ainda segundo Bozell *et al* (2007), reforçando a tendência de crescimento verificado na Tabela 2.7, a Europa Central e Oriental deverão se tornar o maior mercado para lignosulfonatos em 2013, respondendo por cerca de 20% do consumo mundial, com aumento da demanda na maioria das aplicações, incluindo a construção, de produção de petróleo e mineração.

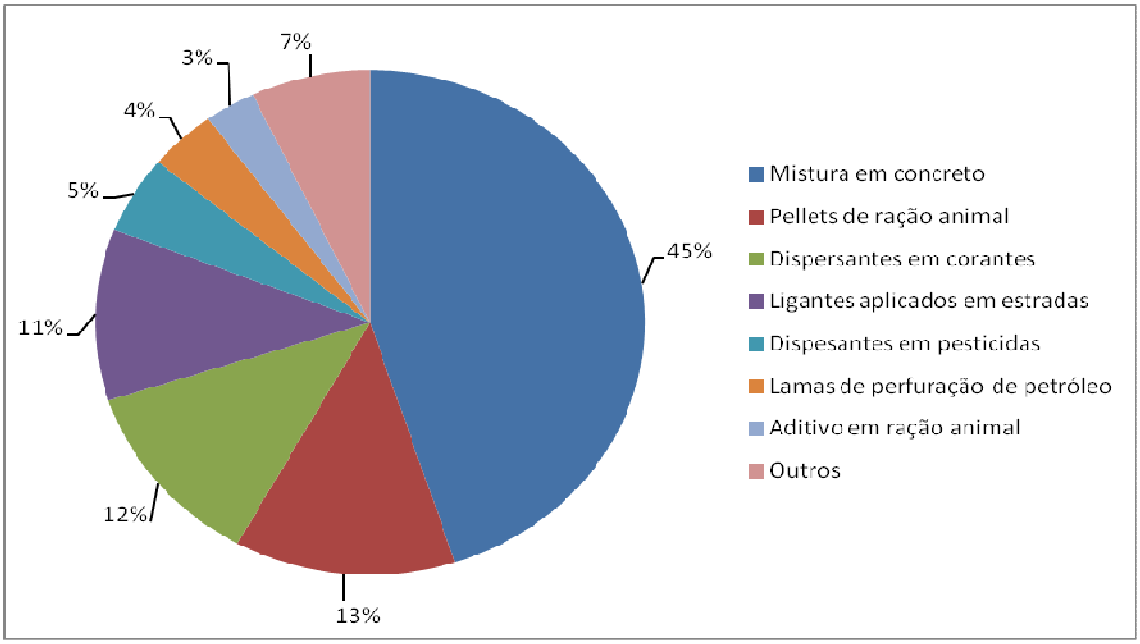


Figura 2.4 - Consumo mundial de lignosulfonatos em 2001

Fonte: Chemical Economics Handbook (s/d *apud* BOZELL *et al*, 2007)

2.7.2 **Mercado mundial dos aplicações da lignina**

<u>Na produção de concreto e cimento</u>

Empresas americanas como a W. R. Graça e Master Builders usam extensivamente produtos de lignina nesta aplicação. Lignosulfonatos para aplicações em concreto podem custar US$ 4.00-5.00/gal de solução aquosa. Um cálculo aproximado (8 lb/gal, assumindo 50% de solução aquosa) dá um preço de venda de US $ 1.00-1.25/lb de lignosulfonatos (BOZELL *et al*, 2007).

Além disso, a empresa Eastman Chemical distribui um material chamado Vinsol, um produto de alto valor de mercado, que também apresenta alta concentração de lignina e de materiais semelhantes a lignina. Como um aditivo de concreto, o Vinsol tem um preço de venda de US$ 3.50-4.00/gal em uma forma concentrada aquosa. Mais amplamente, a lignina e Vinsol podem ser intercambiáveis em algumas aplicações, dada a semelhança de sua estrutura química.

Como adesivos

O mercado de resina epóxi é economicamente ativo, com referência específica a resinas de fenol-epoxi, na qual a lignina pode aparecer como um agente de reticulação. Em 1999, o valor estimado para a produção de resina epóxi nos Estados Unidos, Europa Ocidental e Japão foi de US $ 2 bilhões.

O crescimento do consumo de resina epóxi nos EUA e na Europa Ocidental apresentou uma média de 3,5-4% por ano de 1999 a 2004. Os três principais produtores de resinas epóxi são Hexion (antiga Resinas Epoxi da Shell), Dow e Huntsman. Juntos representam aproximadamente 75% da capacidade do mundo. Dado que o mercado está se expandindo, e continua a fazê-lo no médio e longo prazo, haverá oportunidades distintas especialmente para a lignina como suas propriedades inerentes, também refletida no produto final (STEWART, 2008).

No setor de poliolefinas

O mercado mundial de poliolefinas é enorme com o PE e PP representando aproximadamente 60% de todas as resinas termoplásticas produzidas e vendidas no mundo. Por exemplo, o polietileno de baixa densidade continua a ser um grande negócio global com um valor de US$ 19 bilhões para o ano de 2001. A demanda global para todos os tipos de PE foi de aproximadamente 63.4 milhões de toneladas em 2006. Resinas de PP tiveram um consumo de 38 milhões de toneladas em 2005, representando um valor de cerca de US$ 42 bilhões (STEWART, 2008). Pesquisas prevêem que os países em desenvolvimento vão migrar de uma economia agrária para uma industrial, criando oportunidades de crescimento para o PP substituir o papel, metal, vidro, madeira e fibras naturais. Neste contexto, é muito provável que, dada as propriedades distintivas associadas a lignina, algumas incursões sejam feitas neste mercado, especialmente pela abordagem do polímero misturado levando a produtos com o características exclusivas diretamente atribuídas à lignina.

Em resinas fenólicas

Segundo Stewart (2008), a partir de uma análise puramente econômica, a introdução da lignina no mercado de compostos fenólicos é viável. A produção mundial

de fenol é quase exclusivamente baseada no processo de co-produção de acetona baseada em cumeno e produziu cerca de 8,25 milhões de toneladas em 2004, dos quais 30,6% foram para uso como resinas fenólicas. Ainda segundo o autor, toda a produção mundial de fenol foi avaliada em cerca de US$ 107 bilhões e as previsões para o futuro indicam que o preço atual de 1.380 euros/toneladas aumentará de acordo com a demanda anual prevista. Além disso, o aumento da pressão em torno da gestão eficiente de resíduos e no seu uso em outras aplicações, leva a provável conclusão de que o emprego de novas aplicações da lignina serão estimuladas pelo mercado.

Na produção de compostos aromáticos - Benzeno-Tolueno-Xileno (BTX)

A lignina é a única fonte renovável de uma classe de produtos químicos aromáticos de alto volume que podem ser obtidos, por exemplo, por meio da pirólise rápida da biomassa. A Tabela 2.8 mostra a estimativa da substituição para os EUA dos derivados aromáticos.

Tabela 2.8 – Estimativa da substituição para os EUA dos derivados aromáticos

Derivado Aromático	**Produção anual (10^9 kg)**	**Lignina requerida(10^9 kg)**
Benzeno	9,2	41,1
Tolueno	5,0	
Xileno	6,3	
Ácido tereftálico	5,0	5,8
Fenol	2,3	4,4
Total	27,8	51,3

Fonte: FRANCO & GARZON (2010)

É possível observar que a conversão direta e eficiente da lignina em moléculas discretas ou classes de alto volume e moléculas aromáticas de baixa massa molecular é uma meta atraente do ponto de vista de mercado. Como as fontes de petróleo diminuem e os preços aumentam, este objetivo é muito desejável, sendo talvez a mais desafiadora barreira tecnológica envolvendo a lignina (BOZELL *et al*, 2007).

Na produção de vanilina

A síntese da vanilina a partir do guaiacol petroquímico responde por 85% do abastecimento mundial, com os 15% restantes sendo produzidos a partir de lignina

(TRIUMPH LTD. VENTURE CAPITAL, 2004). Apesar do fato da rota do guaiacol petroquímico produzir vanilina, com quase ausência de subprodutos, esta é dependente de compostos derivados do petróleo, em oposição ao processo de oxidação da lignina obtida na biomassa.

O aromatizante natural vanilina representa menos de 5% do mercado mundial. Considerando sua aplicação como aromatizante e ingrediente de perfumaria, a demanda mundial de vanilina sintética é atualmente de cerca de 16.000 ton/ano. No entanto, a vanilina pode ser utilizada para a síntese de vários produtos de química fina de segunda geração e de vários produtos químicos farmacêuticos (BJORSVIK & LIGUORI, 2002 *apud* TRIUMPH VENTURE CAPITAL LTD., 2004).

Com relação a cotação da vanilina, em meados de 2005, os preços chegaram a US$ 15/kg. Uma vez que é produzido principalmente a partir do guaiacol, seu preço é sensível as oscilações do mercado mundial de petróleo As aplicações da vanilina oriunda da lignina em produtos mais finos, particularmente na indústria de perfumes, chocolates e outros alimentos, faz com que seu preço se torne mais alto, em torno de US$ 100-200/kg, bem acima da vanilina de origem petroquímica. (HALLIDAY, 2008).

2.8 MERCADO BRASILEIRO DA LIGNINA, SUAS APLICAÇÕES E POTENCIALIDADES

De modo a obter informações sobre o mercado brasileiro das ligninas industriais, suas aplicações e potencialidades foi consultado o Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet, denominado ALICE-Web, da SECEX, vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), que permite a consulta de dados estatísticos sobre exportações e importações de produtos brasileiros.

O acesso ao ALICE WEB é gratuito e a consulta é realizada com base nos oito dígitos da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), obtida na Tarifa Externa Comum (TEC) disponibilizada no site do portal do exportador (PORTAL DO EXPORTADOR, 2011). A Tabela 2.9 ilustra os códigos de NCM referentes aos produtos que foram encontrados relacionados à lignina e suas aplicações, de modo a verificar as

potencialidades e janelas de oportunidades quanto as ligninas industriais, bem como quanto aos produtos que podem ser obtidos a partir das mesmas.

Tabela 2.9 - Códigos NCM referentes aos produtos consultados

NCM	Descrição
38.04.0020	Lignossulfonatos
35.06.9120	Adesivo à base de polímeros
39.09.4011	Fenol-formaldeído
29.07.1100	Fenol
27.07.1000	Benzeno
27.07.2000	Tolueno
27.07.3000	Xileno
29.12.4100	Vanilina

Fonte: PORTAL DO EXPORTADOR (2011)

A partir de cada código do NCM, e para o período de 2000 a 2010, foram obtidos os valores de importação e exportação (em US$ FOB) e os seus respectivos pesos líquidos (em Kg), bem como os principais países importadores e exportadores.

2.8.1 Lignosulfonatos

A Figura 2.5 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para os lignosulfonatos para o período de 2000 a 2010. É possível observar que no ano de 2000 o deficit da balança comercial era muito elevado; o mesmo diminui e a balança comercial se tornou superavitária nos anos de 2005 e 2006. No entanto, a partir de 2007 a balança voltou a se tornar deficitária, com um crescimento contínuo devido a um aumento constante nas taxas de importação.

Ainda de acordo com os dados do ALICE WEB (2011) os principais países exportadores para o Brasil em 2010 foram Espanha, Noruega e EUA respondendo por cerca de 33,72%, 33,43%, e 15,27% respectivamente, que corresponde a cerca de 82,42% do total das importações brasileiras.

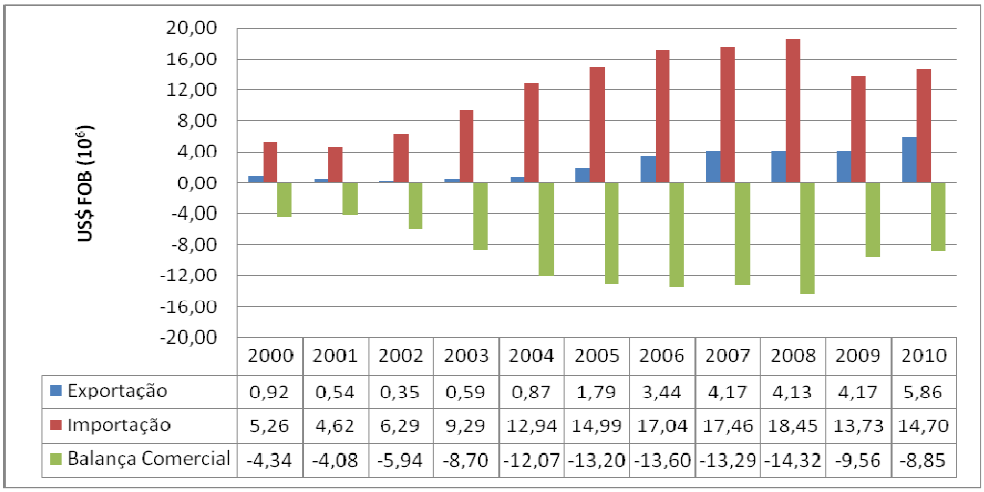
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	0,06	0,20	0,30	0,77	1,39	1,58	2,32	2,49	3,01	3,46	3,17
Importação	17,81	1,66	1,44	1,11	1,51	1,28	1,66	3,48	5,35	5,79	1,03
Balança Comercial	-17,75	-1,47	-1,14	-0,35	-0,12	0,30	0,65	-0,99	-2,33	-2,32	2,14

Figura 2.5 - Balança Comercial Brasileira – lignosulfonatos - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

2.8.2 **Adesivo a base de polímeros**

A Figura 2.6 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para os adesivos à base de polímeros para o período de 2000 a 2010. Apesar de se mostrar deficitária, nos últimos anos verifica-se uma redução no déficit associada a redução nos valores das importações.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	0,92	0,54	0,35	0,59	0,87	1,79	3,44	4,17	4,13	4,17	5,86
Importação	5,26	4,62	6,29	9,29	12,94	14,99	17,04	17,46	18,45	13,73	14,70
Balança Comercial	-4,34	-4,08	-5,94	-8,70	-12,07	-13,20	-13,60	-13,29	-14,32	-9,56	-8,85

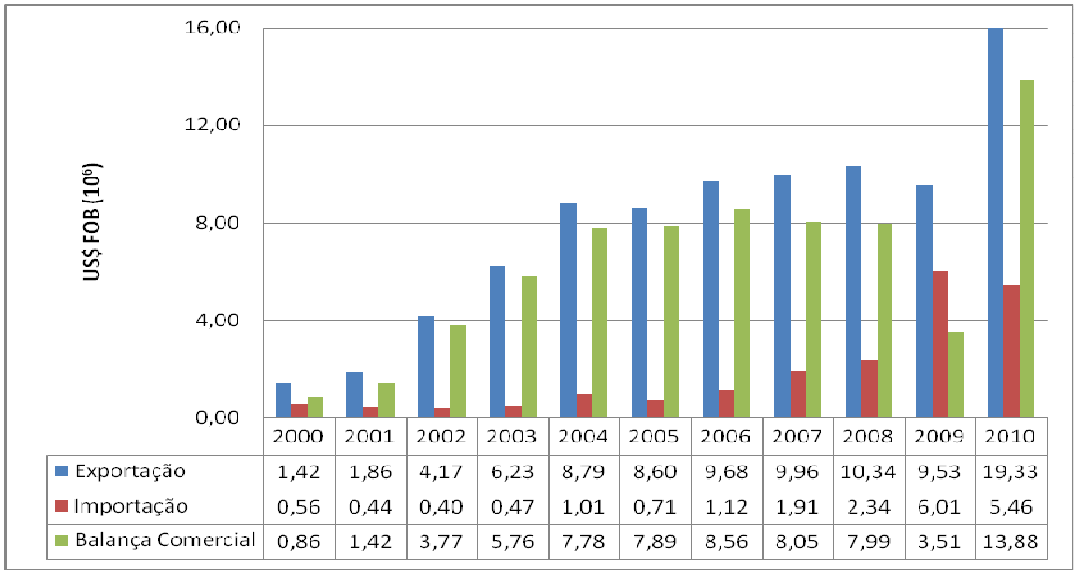
Figura 2.6 - Balança Comercial Brasileira – adesivo à base de polímeros - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

Os principais países exportadores para o Brasil em 2010 foram EUA, Alemanha e Argentina respondendo por cerca de 35,75%, 25,33% e 19,21% respectivamente, que corresponde a cerca de 80,29% do total das importações brasileiras.

2.8.3 **Resinas fenol-formaldeído**

A Figura 2.7 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para as resinas fenol-formaldeído para o período de 2000 a 2010. Neste caso, é possível notar que sempre foi superavitária; mas no ano de 2010 houve um aumento expressivo devido ao aumento das exportações.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	1,42	1,86	4,17	6,23	8,79	8,60	9,68	9,96	10,34	9,53	19,33
Importação	0,56	0,44	0,40	0,47	1,01	0,71	1,12	1,91	2,34	6,01	5,46
Balança Comercial	0,86	1,42	3,77	5,76	7,78	7,89	8,56	8,05	7,99	3,51	13,88

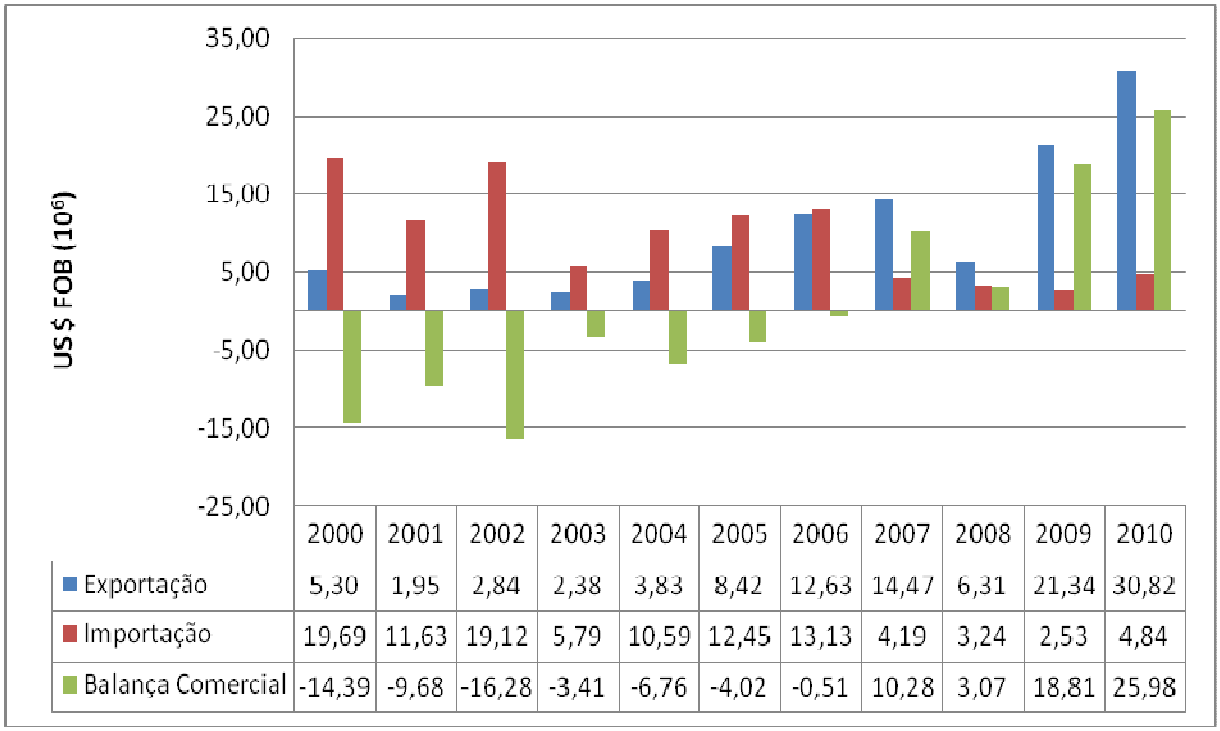
Figura 2.7 - Balança Comercial Brasileira – resinas fenol-formaldeído - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

Os principais países importadores das resinas fenol-formaldeído oriundas do Brasil no ano de 2010 foram França, Itália e Argentina respondendo por cerca de 50,66%, 16,45% e 8,29% respectivamente, que corresponde a cerca de 75,40% do total das exportações brasileiras.

2.8.4 **Fenol**

A Figura 2.8 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para o fenol para o período de 2000 a 2010, que se mostrou deficitária até 2006. A partir de 2007, este quadro se reverteu, em especial devido ao aumento constante das taxas de exportações, que já vunham crescente desde 2003.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	5,30	1,95	2,84	2,38	3,83	8,42	12,63	14,47	6,31	21,34	30,82
Importação	19,69	11,63	19,12	5,79	10,59	12,45	13,13	4,19	3,24	2,53	4,84
Balança Comercial	-14,39	-9,68	-16,28	-3,41	-6,76	-4,02	-0,51	10,28	3,07	18,81	25,98

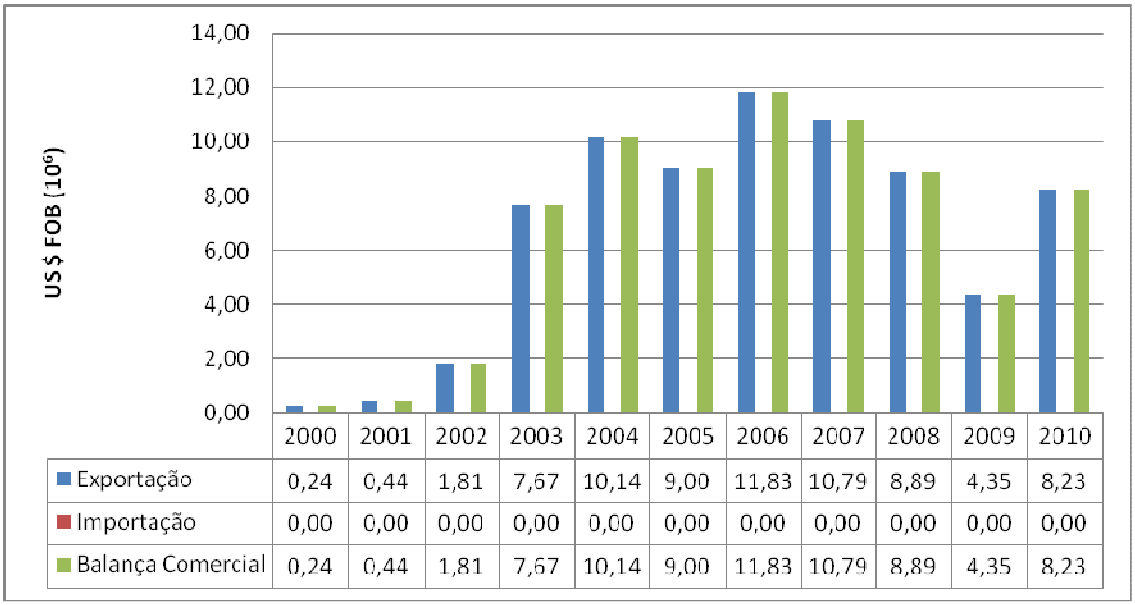
Figura 2.8 - Balança Comercial Brasileira – fenol - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

Os principais países importadores do fenol brasileiro Brasil no ano de 2010 foram três países da América do Sul – Argentina, Chile e Colômbia – e Índia respondendo por cerca de 59,50%, 14,26%, 13,18% e 10, 15% respectivamente, que corresponde a cerca de 97,10% do total das exportações brasileiras.

2.8.5 **Benzeno**

A Figura 2.9 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para o benzeno no período de 2000 a 2010, evidenciando que as importações de benzeno são desprezíveis quando comparadas com as taxas de exportação; por esta razão a balança comercial deste produto é superavitária. Cabe destacar ainda que todo o benzeno exportado pelo Brasil no ano de 2010 teve como destino a Alemanha.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	0,24	0,44	1,81	7,67	10,14	9,00	11,83	10,79	8,89	4,35	8,23
Importação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Balança Comercial	0,24	0,44	1,81	7,67	10,14	9,00	11,83	10,79	8,89	4,35	8,23

Figura 2.9 - Balança Comercial Brasileira – benzeno - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

2.8.6 **Tolueno**

A Figura 2.10 mostra que as exportações brasileiras do tolueno foram expressivas apenas nos anos de 2001, 2002 e 2005; nos demais anos, a balança comercial apresentou um leve superávit – apenas no ano de 2008 houve um leve deficit, devido as oscilações nas taxas de exportação e importação. Ressalta-se ainda que todo o tolueno importado pelo Brasil no ano de 2010 foi oriundo dos EUA.

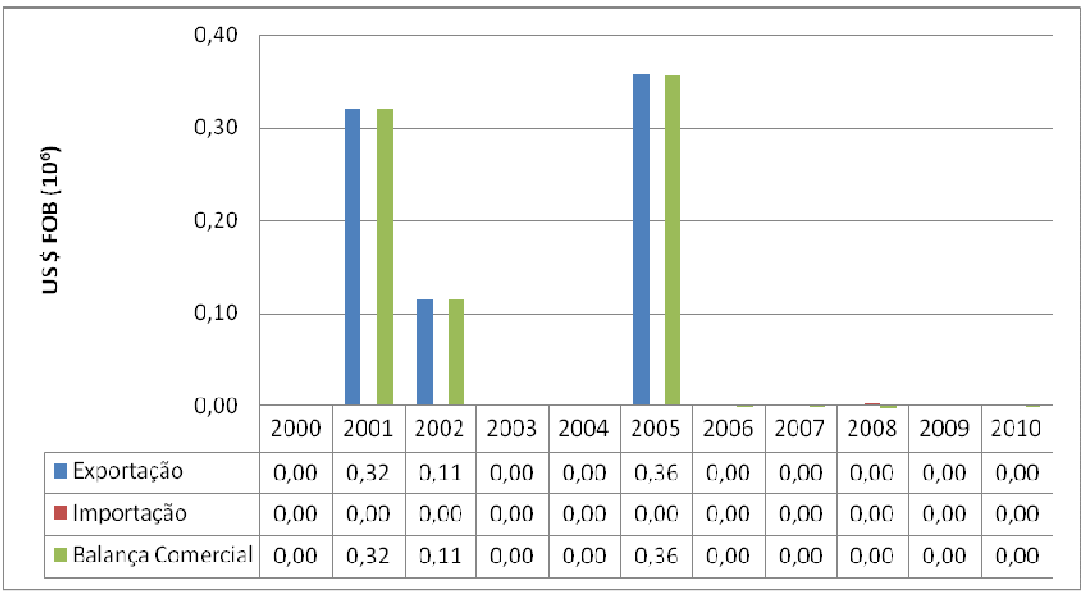


Figura 2.10 – Balança Comercial Brasileira – tolueno - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

2.8.7 **Xileno**

A Figura 2.11 ilustra dados sobre a balança comercial brasileira para o xileno no período de 2000 a 2010.

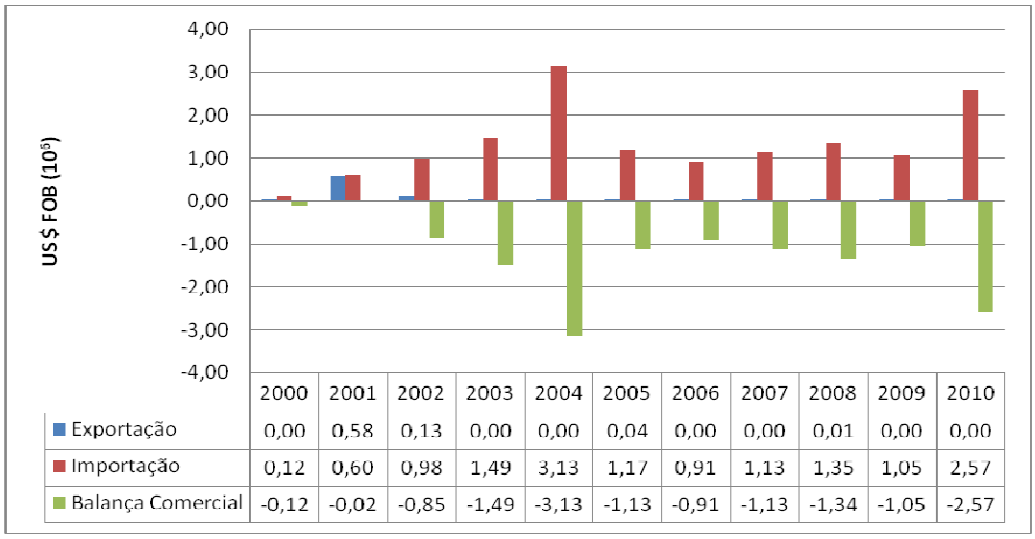


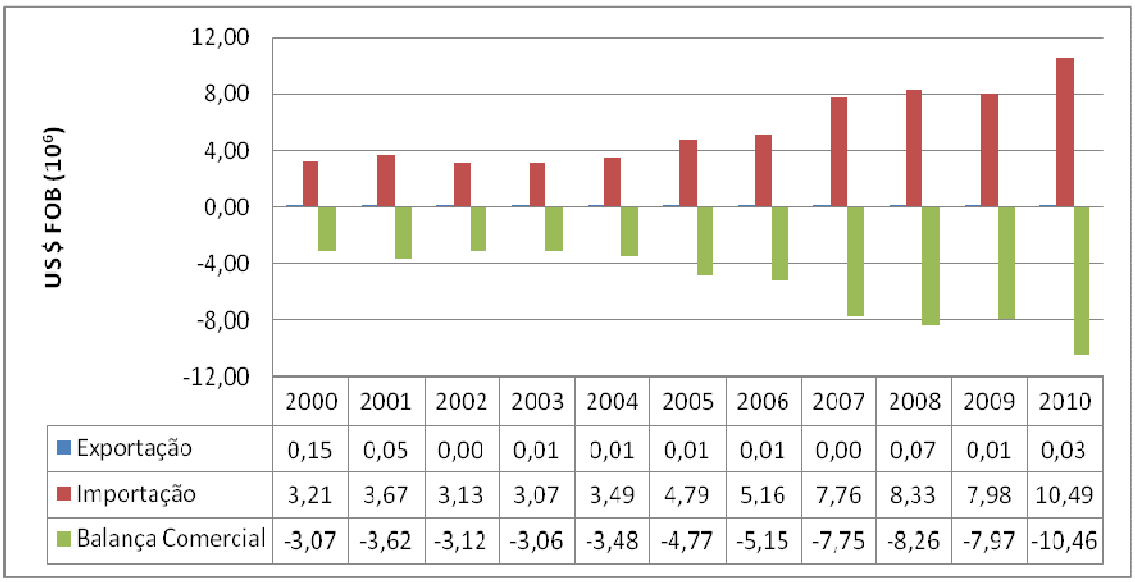
Figura 2.11 – Balança Comercial Brasileira – xileno - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

Da análise do Gráfico 2.7 é possível observar que a Balança Comercial do xileno no Brasil é deficitária; com destaque para o período entre 2001 a 2004 em que as importações apresentaram um crescimento constante. Entre 2005 e 2009, as taxas de importações oscilaram entre o valor de US$ 1.000.000; já em 2010, verificou-se um aumento expressivo para uma valor em torno de US $ 2.500.000. Destaca-se ainda que quase todo o xileno importado pelo Brasil em 2010 (US$ 2.573.687) foi originado da Argentina.

2.8.8 **Vanilina**

A Figura 2.12 revela que a balança comercial brasileira da vanilina sempre foi deficitária. Até o ano de 2004, a mesma se manteve flutuando em torno de US$ 3.000.000; no entanto, a partir de 2005 verifica-se um crescimento contínuo que levou a uma valor de cerca de US$ 10.000.000 no ano de 2010.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportação	0,15	0,05	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07	0,01	0,03
Importação	3,21	3,67	3,13	3,07	3,49	4,79	5,16	7,76	8,33	7,98	10,49
Balança Comercial	-3,07	-3,62	-3,12	-3,06	-3,48	-4,77	-5,15	-7,75	-8,26	-7,97	-10,46

Figura 2.12 - Balança Comercial Brasileira – vanilina - 2000 a 2010

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos no ALICEWEB (2011)

Os principais países exportadores para o Brasil em 2010 foram EUA, China e França respondendo por cerca de 46,39%, 37,58% e 12,28% respectivamente, que corresponde a cerca de 96,23% do total das importações brasileiras.

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lignina, maior fonte de polímeros aromáticos de natureza fenólica, tem como. funções dar rigidez, força e flexibilidade à parede celular, minimizar a degradação enzimática da mesma e proteger a planta contra ataques de insetos e microorganismos. Pode ser classificada como nativa e industrial,

Apesar de apresentar diversas aplicações, algumas já em uso e outras potenciais, pesquisas sobre novas aplicações industriais em produtos de maior valor agregado vem sendo desenvolvidas.

A lignina ainda é vista como um resíduo de baixo valor da polpação celulósica, sendo usada predominantemente como combustível na indústria do papel e da celulose. Apenas cerca de 2% das ligninas oriundas desta indústria são comercializadas. As principais dificuldades encontradas para sua plena comercialização estão associadas ao seu padrão de baixa pureza. Cabe destacar ainda que quase toda a lignina comercializada hoje é obtida a partir de lignossulfonatos.

Foram apresentadas informações sobre o comércio exterior brasileiro de alguns produtos que podem ser produzidos ou ainda que possam utilizar a lignina em suas formulações de modo a verificar a potencialidade do uso da mesma no mercado nacional.

Embora o Brasil tenha uma indústria de papel e celulose e também um agronegócio forte, gerando uma grande quantidadde de materiais lignocelulósicos, em especial a lignina, a sua balança comercial é deficitaria para produtos como lignossulfonatos.

Outros mercados em que a lignina pode ser explorada como materia-prima são os de adesivo a base de polímeros, benzeno, xileno e vanilina, uma vez que também apresentam deficit em sua balança comercial no Brasil. Além disso, até os produtos que apresentam podem seus mercados externos e internos fortalecidos pela disponibilidade de uma fonte de matéria-prima abundante.

3 BIORREFINARIAS DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

O objetivo deste capítulo é apresentar as várias definições de biorrefinaria, seus diferentes tipos e abordar mais profundamente aquelas que utilizam biomassa lignocelulósica como matéria-prima, considerando que a presente tese trata de uma fração em especial deste material – a lignina.

3.1 CONCEITO DE BIORREFINARIA

A definição de biorrefinaria apareceu pela primeira vez na legislação americana recentemente, na *Farm Bil*[5], de 2002, com o significado de instalações, equipamentos e processos que convertem a biomassa em biocombustíveis e produtos químicos e ainda podem gerar eletricidade (BASTOS, 2007).

Para Pereira Jr. (2006) biorrefinaria é um termo que se refere ao uso de matérias-primas renováveis e de seus resíduos (denominados de forma geral de biomassas), de maneira integral e diversificada, para a produção, por rota química ou biotecnológica, de uma variedade de substâncias e energia, com a mínima geração de resíduos e emissões de gases poluidores.

A biorrefinaria, por integrar os diferentes processos de conversão de biomassa para produção de diferentes produtos, como combustíveis, produtos químicos e eletricidade, permite um alcance de maiores eficiências no curto e no longo prazo, tanto do ponto de vista termodinâmica quanto do ponto de vista econômico e ambiental (JONG *et al*, 2005; ONDREY, 2006; RAGAUSKAS *et al*, 2006).

[5] *Farm Bill* é o nome popular dado à legislação agrícola dos Estados Unidos da América, geralmente renovada a cada quatro anos, que possui como objetivo consolidar em um único documento os programas de política agrícola do Departamento de Agricultura dos EUA (VERDIER & LEMBO, 2008).

O conceito de biorrefinaria faz sentido se for empregada uma matéria-prima renovável, abundante, barata e específica, como a biomassa lignocelulósica que, ao contrário das diversas fontes fósseis, não são afetadas pelas oscilações do mercado[6]. Para a consolidação desta nova plataforma tecnológica faz-se necessário o apoio do governo de modo que as biorrefinarias sejam capazes de competir economicamente com as refinarias de petróleo (BASTOS, 2007).

De acordo com Fernando *et al* (2006) o conceito de produzir produtos a partir de *commodities* agrícolas, como a biomassa, não é novo; no entanto, utilizar a biomassa como insumo na produção de vários produtos de maneira similar a uma refinaria de petróleo onde combustíveis fósseis são usados como *input* é relativamente novo.

Seu principal objetivo é transformar os materiais biológicos em produtos utilizáveis nas indústrias de transformação usando uma combinação de tecnologias e processos biotecnógicos. A Figura 3.1 apresenta os elementos de uma biorrefinaria proposta por tais autores.

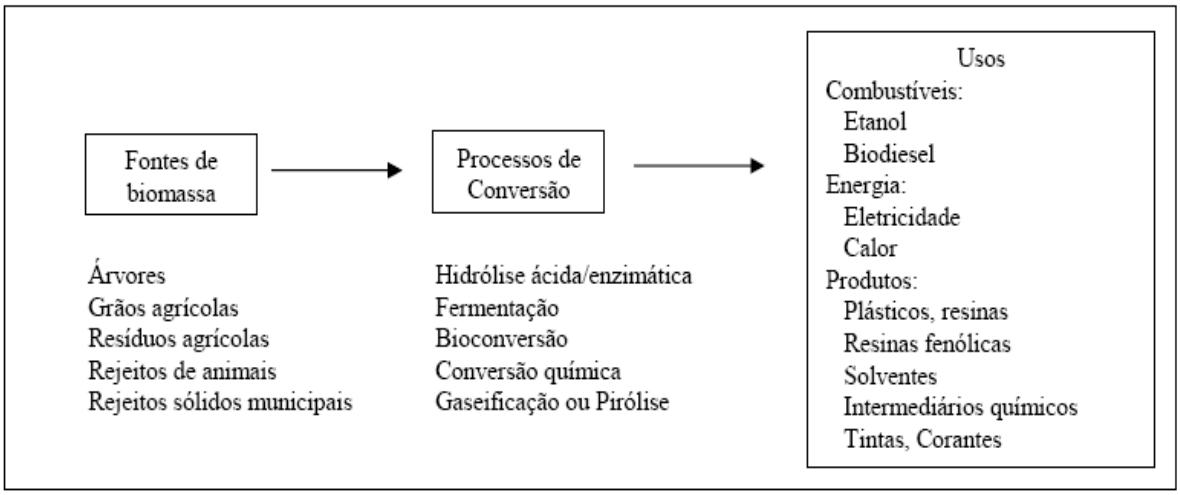


Figura 3.1 - Diagrama de uma biorrefinaria – biomassa – processo – produto

Fonte: FERNANDO *et al* (2006)

[6] No entanto, a matéria-prima lignocelulósica também são sujeitas a flutações de mercado. Em seus estudos Satolo & Bacchi (2009) avaliam o papel de choques de oferta e de demanda na evolução recente da produção de cana-de-açúcar. Os resultados indicam que os choques de oferta têm impacto acumulado permanente sobre a produção de cana-de-açúcar, enquanto choques de demanda apresentaram efeitos temporários. Constatou-se que os estímulos advindos da oferta foram os mais importantes para explicar as flutuações na produção de cana-de-açúcar.

De acordo com o USDOE (NREL, 2006 *apud* BASTOS, 2007) as biorrefinarias – semelhante as refinarias de petróleo – integram nas mesmas instalações equipamentos e processos de conversão de biomassa, com vistas a produzir combustíveis, energia e produtos químicos. Tal qual uma refinaria de petróleo, deve ser capaz de produzir múltiplos produtos e, com isso, tirar vantagem das diferenças nos componentes e intermediários da biomassa, maximizando valor ao produzir produtos químicos em pequenos volumes, mas alto valor unitário, além de grandes volumes de combustíveis líquidos de baixo valor, e ao mesmo tempo gerar eletricidade. A Figura 3.2 correlaciona o conceito de biorrefinaria ao de uma refinaria convencional de petróleo, de modo a possibilitar a analogia dos dois conceitos

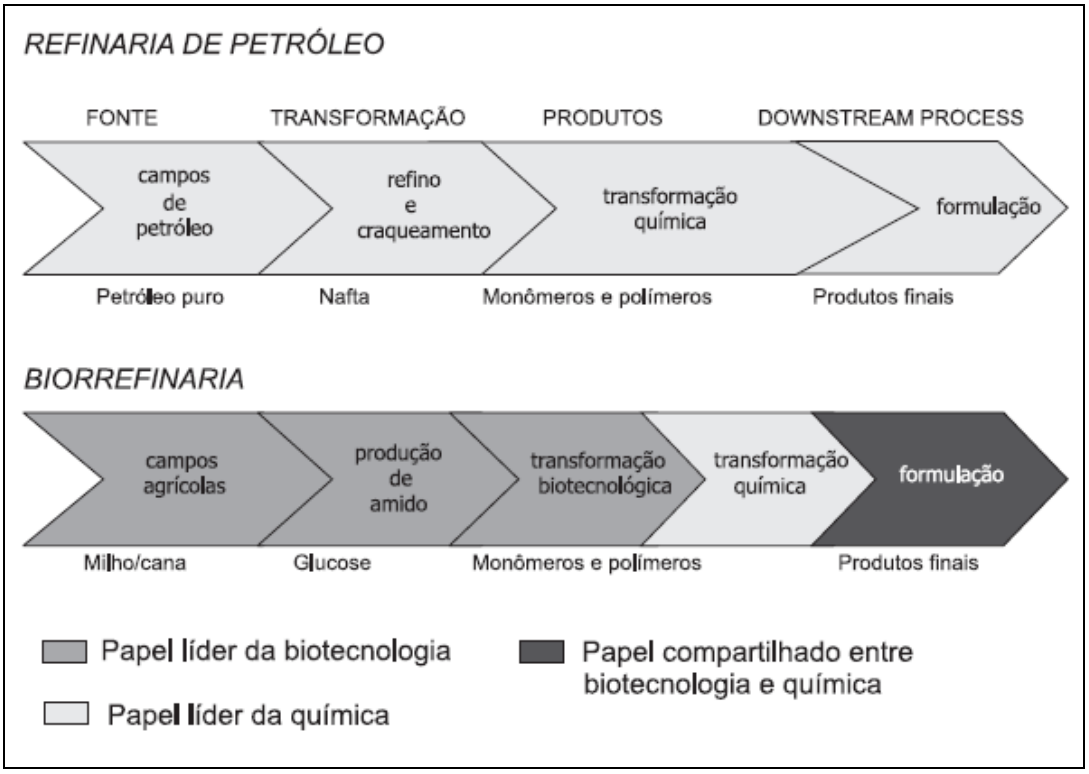


Figura 3.2 - Esquema comparativo – Refinaria de Petróleo e Biorrefinaria
Fonte: ROQUETTE, 2006 (*apud* BASTOS, 2007)

Segundo Koutinas *et al* (2007) a comercialização de biorrefinarias a base de biomassa como substitutos viáveis para processos petroquímicos é altamente dependente da exploração do potencial total da biomassa.

A exploração de cada um destes componentes pode levar a produção de vários produtos como: (i) *commodities* - produtos comercializados em grandes escalas de produção e baixo valor de mercado – exemplos: os biocombustíveis e plásticos biodegradáveis; (ii) moléculas intermediárias - produtos comercializados em escala intermediária e que apresentam valor de mercado – exemplos: ácido succiníco e ácido lático; e (iii) especialidades químicas – produtos comercializados em pequena escala e que apresentam grande valor de mercado – exemplos: ingredientes funcionais e produtos farmacêuticos. Adicionalmente, maximizando o uso de componentes da biomassa poderia levar a um aumento significativo de economia de processo e minimização de desperdício.

A Figura 3.3 ilustra um exemplo de plataformas baseadas em fontes renováveis, onde diferentes biomassas são utilizadas para produção de moléculas, para posterior utilização em processos industriais, que poderão levar a substituição gradativa da plataforma petroquímica. Cabe destacar que os chamados blocos de construção (*building blocks*) são moléculas com múltiplos grupos funcionais, que podem ser transformados em outros grupos moleculares (FRANCO & GARZON, 2010).

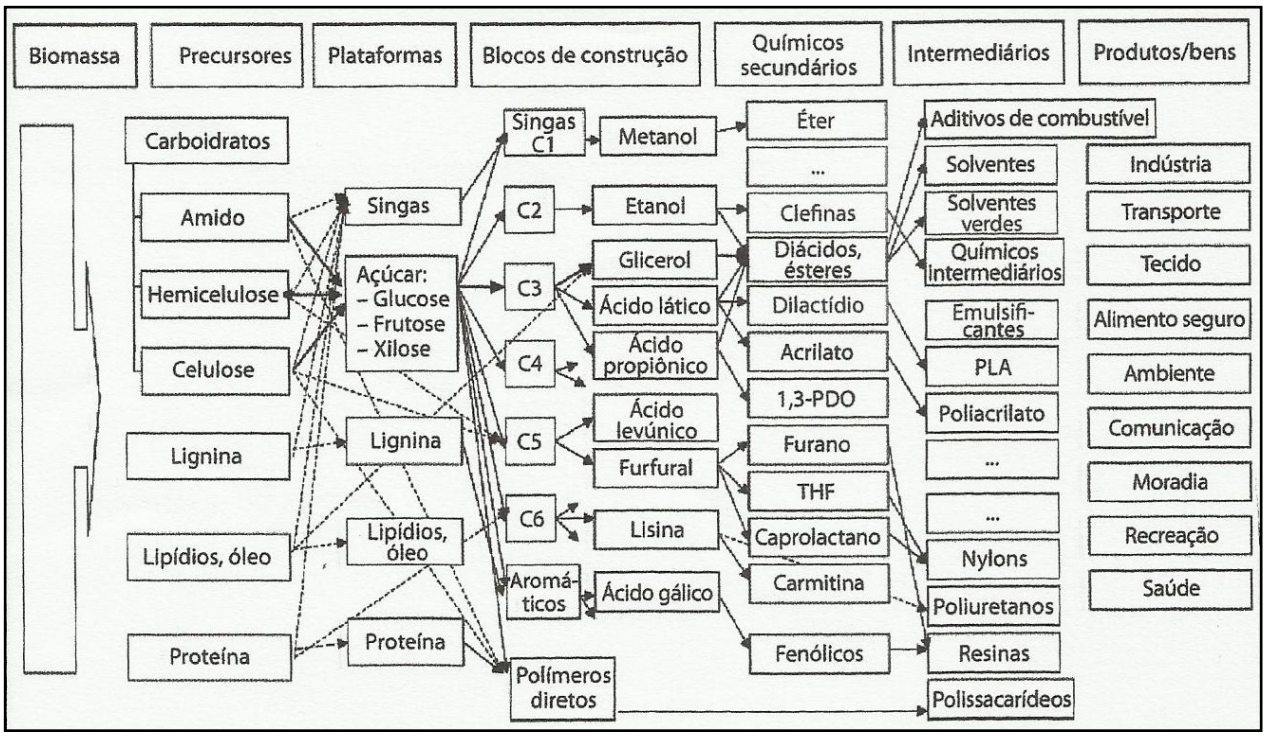


Figura 3.3 - Plataforma baseada em fontes renováveis

Fonte: KAMM *et al* (2006)

É possível constatar que as biomassas oferecem uma diversidade de precursores, com destaque para aquelas frações da biomassa lignocelulósica, dentre elas, a lignina. Por meio de diversas plataformas podem ser obtidos os chamados blocos de construção que permitem a produção diversos produtos químicos com aplicações nos mais variados tipos de indústria, desde transporte até na saúde.

3.2 TIPOS DE BIORREFINARIA

Na literatura, é possível encontrar diferentes categorias de biorrefinaria. Os autores Ree & Annevelink (2007) classificam sete tipos de biorrefinarias conforme descrição a seguir:

Biorrefinarias Convencionais ou *Convencional biorefineries* (*CBR*)

Utilizam as tecnologias tradicionais para processamento da biomassa obtendo diferentes subprodutos. As atuais usinas de açúcar e etanol, indústrias de papel e celulose, complexo da soja, usinas de milho podem ser exemplos de *CBR*.

Biorrefinarias Verdes ou *Green Biorefineries* (*GBR*):

Utilizam biomassa fresca e, através de processos de pressurização da biomassa úmida, aproveitam o caldo e a torta, sendo mais estudada para gramíneas. A primeira etapa deste tipo de biorrefinaria é o tratamento da biomassa verde em que há a produção de torta prensada rica em fibra e um suco verde rico em nutrientes. A torta prensada contém substâncias como celulose, amido, corantes e pigmentos que podem servir de matérias-primas para a produção de produtos químicos; enquanto o suco verde inclui carboidratos, proteínas, aminoácidos livres, ácidos orgânicos, corantes, enzimas dentre outras substâncias que podem servir de insumos para a produção de ácido lático e etanol por exemplo (FERNANDO *et al*, 2006).

Biorrefinarias de Cereais ou *Whole Crop Biorefineries* (*WCBR*)

A primeira etapa do biorefino de cereais é a separar a semente da palha. As sementes (milho, por exemplo) podem ser convertidas em amido, e depois a uma grande variedade de produtos, incluindo etanol e bioplásticos. A palha pode ser processada em produtos via processos de conversão lignocelulósicos ou gás de síntese (FERNANDO *et al*, 2006).

Biorefinaria de Lignocelulósicos ou *Ligno Cellulosic Feedstock Biorefinaries* (*LCFBR*)

As biorrefinarias de lignocelulósicos baseiam-se no fracionamento de biomassa rica nestes materiais para a produção de correntes intermediárias de celulose, hemicelulose e lignina, que podem ser posteriormente processadas para obtenção de um portfólio de produtos finais, conforme esquematiza a Figura 3.4. Consiste no aproveitamento das três frações química básicas: hemicelulose, celulose e lignina, (FERNANDO *et al*, 2006).

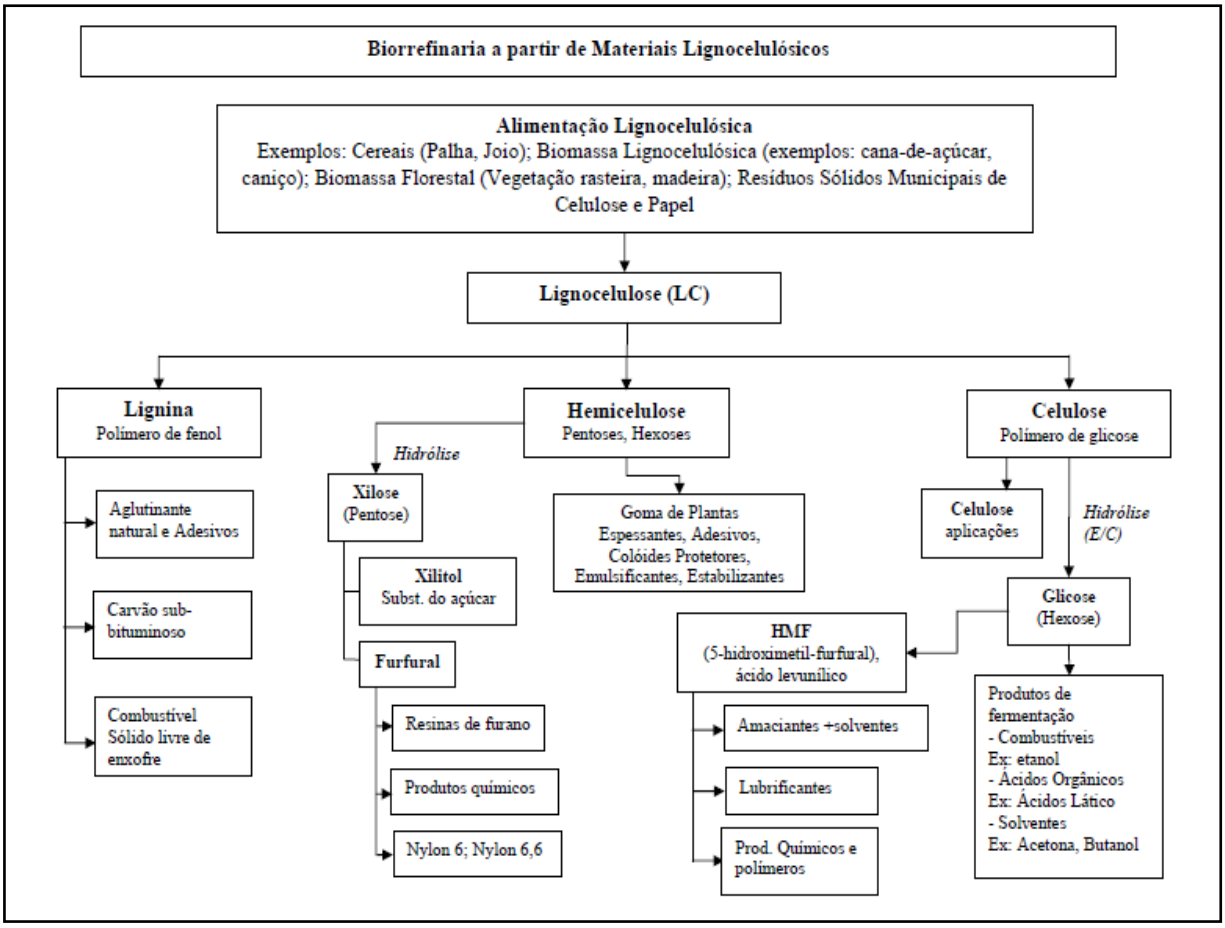


Figura 3.4 – Esquema geral para uma biorrefinaria a partir de materiais lignocelulósicos

Fonte: KAMM & KAMM (2004)

<u>Biorrefinarias de Duas Plataformas ou *Two Platform Concept Biorefineries* (*TPCBR*)</u>

Promovem o fracionamento da biomassa em frações de açúcares (celulose e hemicelulose) e lignina conforme ilustrado na Figura 3.5. A fração de carboidratos é bioquimicamente convertida através da chamada “Plataforma de Açúcar”, também conhecida como Sucroquímica, produzindo um portfólio de potenciais bioprodutos, enquanto a fração de lignina e os resíduos do processo bioquímico serão termoquimicamente convertidos a gás de síntese através da chamada “Plataforma de Gás de Síntese”, também conhecida como Termoquímica, produzindo uma gama de

produtos oriundos de biomassas, incluindo calor e energia para satisfazer as demandas internas do processo

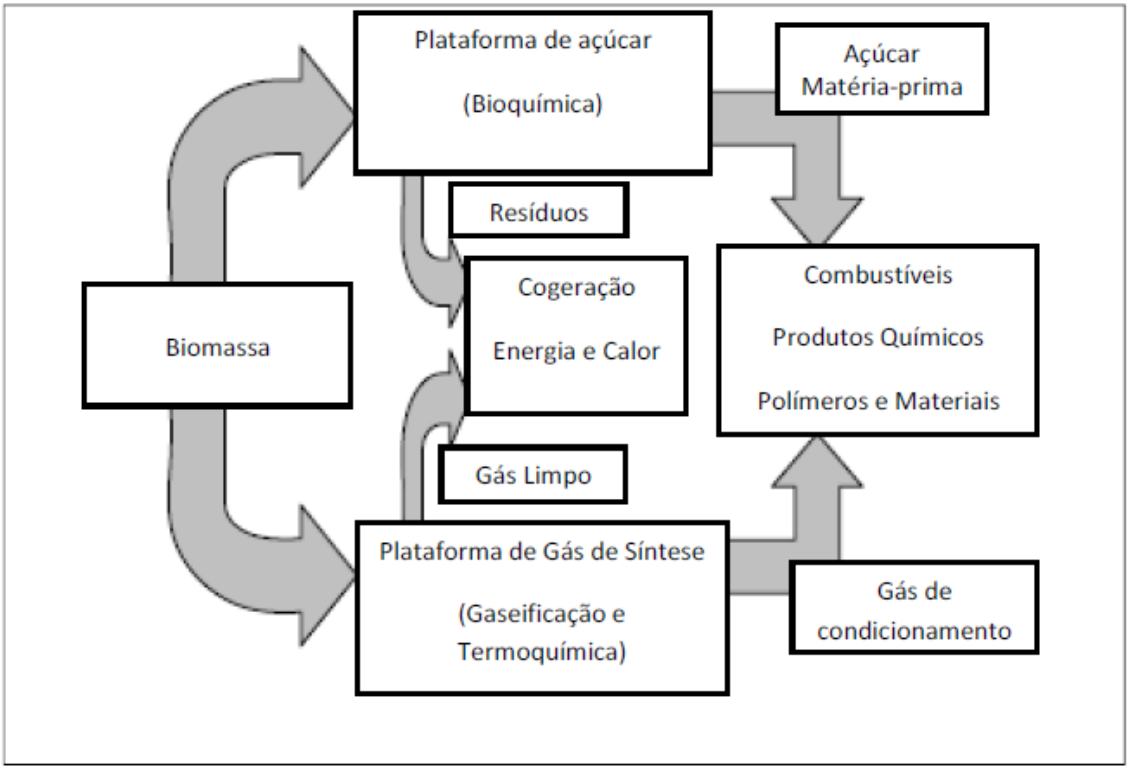


Figura 3.5 - Esquema de uma Biorrefinaria de Duas Plataformas
Fonte: KAMM *et al* (2006)

Biorrefinarias Termoquímicas ou *Thermo Chemical Biorefinaries* (*TCBR*)

Utilizam processos térmicos como a pirólise e a gaseificação para gerar um portfólio de produtos como exemplo ilustrado na Figura 3.6. A partir da geração do gás de síntese é possível gerar produtos como uréia, metanol, amônia, diesel, etc. Essa rota pode ter sinergias com os combustíveis fósseis.

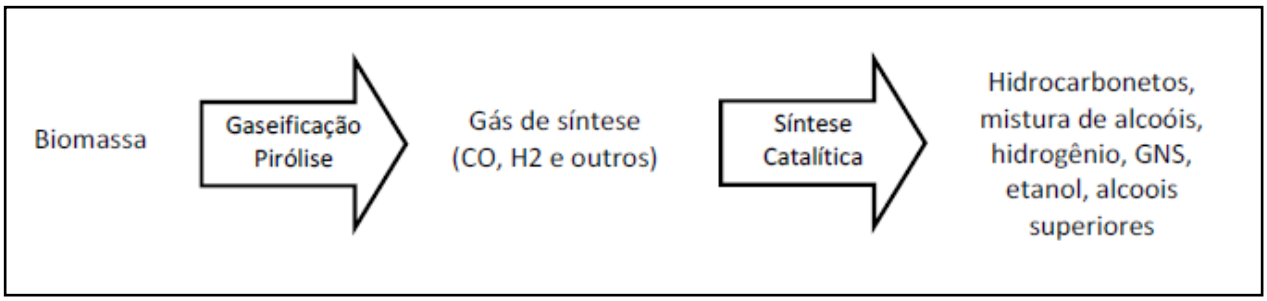


Figura 3.6 – Esquema de uma Biorrefinaria Termoquímica

Fonte: Elaboração própria a partir de ECN (2006)

Biorrefinarias Aquáticas ou *Marine Biorefinaries* (*MBR*)

Realizam o processamento de biomassa aquática, como as micro e macroalgas, para a obtenção, por exemplo, de óleos para a produção de biodiesel, pigmentos carotenóides, biomassa alimentar e ainda o chamado etanol de terceira geração Ree & Annevelink (2007).

Por fim, a Tabela 3.1 mostra os principais aspectos relacionados aos conceitos dos novos tipos de biorrefinaria. A partir dos dados mostrados na referida Tabela é possível observar que as biorrefinarias ainda estão em um estágio de planta piloto e P&D.

Tabela 3.1 - Resumo das características dos conceitos das biorrefinarias

Conceito	Tipo de matéria-prima	Tecnologia predominante	Fase de desenvolvimento
Biorrefinarias verdes	biomassa úmida: gramas verdes e as colheitas verdes	pré-tratamento, prensagem, fracionamento, separação de digestão	Planta piloto (e P&D)
Biorrefinarias de Cereais	cereais como trigo, centeio e milho	moagem a seco ou úmida, conversão bioquímica	Planta piloto (e Demonstração)
Biorefinarias de Lignocelulose	Biomassa rica em lignocelulósica: por exemplo, palha, junco, madeira	pré-tratamento, hidrólise química e enzimática, fermentação, separação	P&D/Planta piloto e Demonstração (EUA)
Biorrefinarias de Duas Plataformas	Todos os tipos de biomassa	combinação da plataforma de açúcar (conversão bioquímica) e uma plataforma de gás de síntese (conversão termoquímica)	Planta Piloto
Biorrefinarias Termoquímicas	Todos os tipos de biomassa	conversão termoquímica: torrefação, pirólise, gaseificação, separação de produtos, síntese catalítica	Planta piloto (P&D e Demonstração)
Biorrefinarias Aquáticas	Biomassa aquática: microalga e macroalga	rompimento celular, extração de produtos e separação	P&D (e Planta Piloto)

Fonte: REE & ANNEVELINK (2007)

3.2.1 **Biorrefinarias Convencionais no Brasil**

No caso brasileiro, e para o objetivo da presente tese, as biorrefinarias convencionais referentes à indústria da cana-de-açúcar e a indústria da celulose serão abordadas, tendo em vista que já se encontram plenamente consolidadas no Brasil.

3.2.1.1 Indústria da cana-de-açúcar

A Figura 3.7 ilustra o diagrama esquemático de produção de açúcar e etanol, a partir da cana-de-açúcar em usinas na Brasil. Os principais produtos da cana são o açúcar e o álcool cuja produção apresenta fases em comum. Cabe destacar ainda que

a usina também gera um outro tipo de “produto” – a energia elétrica obtida a partir do bagaço para uso na própria usina e para venda do excedente.

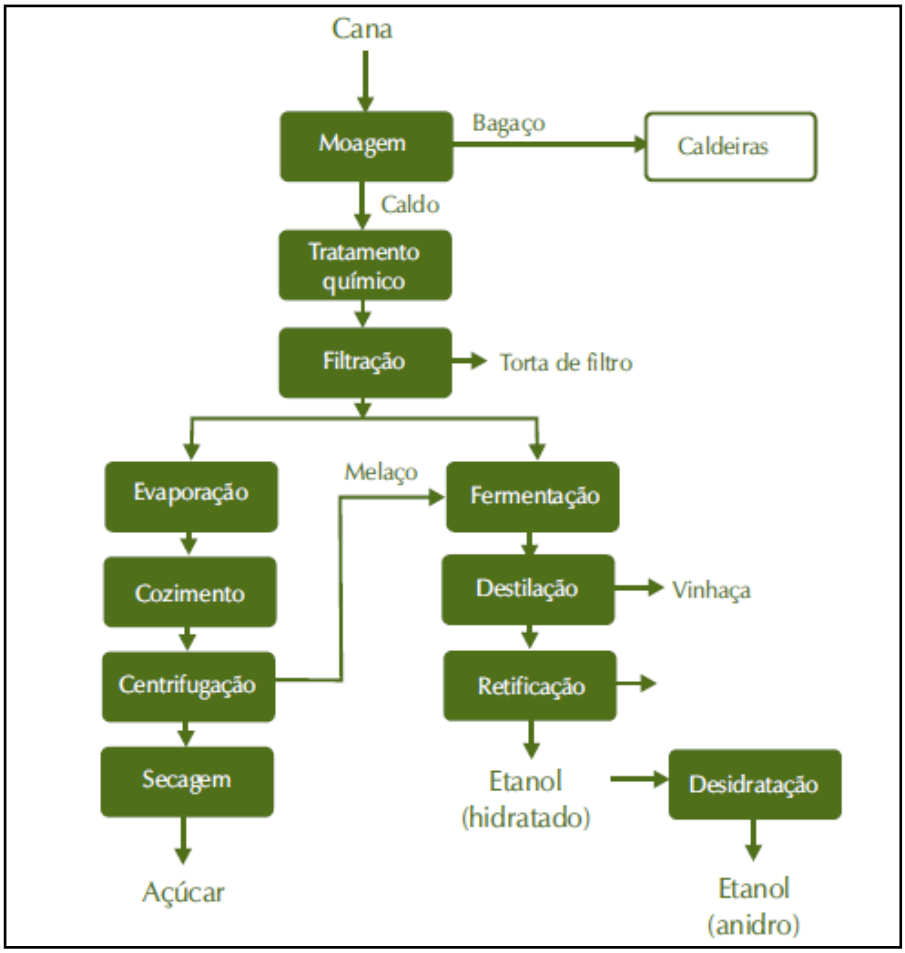


Figura 3.7 - Diagrama esquemático da produção de açúcar e etanol da cana-de-açúcar

Fonte: BNDES & CGEE (2008)

Durante o seu processamento agroindustrial, a cana-de-açúcar oferece uma diversificada gama de subprodutos como o melaço, a aguardente, o bagaço, a levedura, a torta de filtro, CO_2, óleo fúsel e a vinhaça. A Tabela 3.2 apresenta as principais utilizações dos seus co-produtos tradicionais.

Tabela 3.2 - Principais utilizações dos subprodutos da cana-de-açúcar

Co-produto	Principais Utilizações
Melaço	Resíduo da cristalização do açúcar, produzido na proporção de 40 a 60 quilos por tonelada de cana processada. É usado para produção de etanol nas destilarias anexas, em alimentação animal, em outros processos de fermentação, p. ex. na produção do fermento de panificação.
Levedo	Extrato seco das células de leveduras, constituindo um suplemento protéico de baixo custo, empregado como componente de ração animal e na indústria de alimentos. Para cada litro de bioetanol, são produzidas entre 15 e 30 gramas de levedura seca.
Bagaço	Resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas. A quantidade produzida média é de 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada. É usado como combustível e como fonte de celulose para as indústrias de papel e papelão. Pode ser tratado para melhorar sua digestibilidade e incorporar fontes de nitrogênio para seu uso na alimentação bovina.
Vinhaça	Resíduo da destilação do vinho. Sua produção é de 12 a 18 litros de vinhaça por litro de álcool. Suas principais aplicações são para a alimentação de animais, produção de proteínas (biomassa), produção de metano e fertilização de solos, sendo esta última a mais utilizada.
Torta de filtro	Resíduo da filtração mecânica do lodo na fabricação do açúcar e também na do álcool direto, quando o caldo é submetido ao tratamento de clarificação. A torta de filtro é produzida na proporção de 20 a 40 quilos por tonelada de cana, apresentando, em média, 75% de umidade e é utilizada como fertilizante.
CO_2	Produzido na fermentação é, geralmente, lavado para recuperar o bioetanol arrastado e liberado na atmosfera, mas pode ser purificado, desodorizado, liquefeito e armazenado sob pressão para outros fins, como na produção de refrigerantes e gelo seco, na fabricação de bicarbonato de sódio e no tratamento de efluentes. Na fabricação de mil litros de bioetanol anidro, são produzidos até 760 kg de gás carbônico.
Palha	30% é deixada no campo para atuar como importante proteção verde ao solo.
Óleo fúsel	Constituído de álcoois (álcool etílico e superiores), furfural, aldeídos, ácidos graxos etc.,é produzido na proporção de 0,05 a 0,2 litros para 100 litros de álcool. É matéria-prima para processamento de refinação, de onde se extraem álcoois com diversos graus de pureza e para obtenção de outras substâncias químicas, como, por exemplo, solventes.
Álcool bruto	Mistura impura de água e álcool, é produzido na proporção de um a cinco litros por 100 litros de álcool. Encontra aplicação na produção de álcoois extra-fino e neutro, e como combustível.

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES & CGEE (2008) e AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA CANA-DE-AÇÚCAR, 2009

Mercado agroindustrial da cana-de-açúcar

O Brasil é o país líder mundial na produção de cana-de-açúcar e açúcar e o segundo maior produtor de bioetanol com 572,7 milhões de toneladas, 31,3 milhões de toneladas e 27,7 bilhões de litros, respectivamente, na safra de 2008/2009 (CORTEZ, 2010).

Em média, 50% da cana colhida é destinada a produção de álcool e os demais 50% são destinados a produção de açúcar. Cerca de 2/3 do açúcar produzido é destinado ao mercado externo enquanto que o restante atende ao mercado interno. Quanto a produção de álcool, cerca de 85% é direcionado ao mercado interno, sendo que destes 90% é destinado ao seu uso como carburante, e o restante atender ao mercado externo (BASTOS, 2007).

3.2.1.2 Indústria da celulose

A matéria-prima para produção de papel é a pasta de celulose, que por sua vez é produzida a partir da madeira. O gênero *Eucalyptus* tem-se constituído na principal fonte de celulose de fibra curta no Brasil, sendo bastante pesquisado e aperfeiçoado mediante programas de melhoramento florestal (CARDOSO, 2002).

As etapas da produção de madeira constituem-se basicamente na produção de mudas e seu plantio, que pode ser mecanizado, manual ou semi mecanizado (ARACRUZ, 2009 *apud* SILVA, 2010). Após o corte a madeira é encaminhada para a produção de celulose, que consiste nas etapas que vão desde o descascamento até o branqueamento conforme mostrado na Figura 3.8.

A polpação, referente à produção da polpa de celulose, consiste nas seguintes etapas (FROHARD, 2009):

- Cozimento: consiste em submeter os cavacos a uma ação química do licor branco forte (soda caustica – NaOH e sulfeto de sódio – Na_2S) e do vapor de água no

digestor a fim de dissociar a lignina existente entre a fibra e a madeira[7]. As fibras liberadas são, na realidade, a celulose industrial.

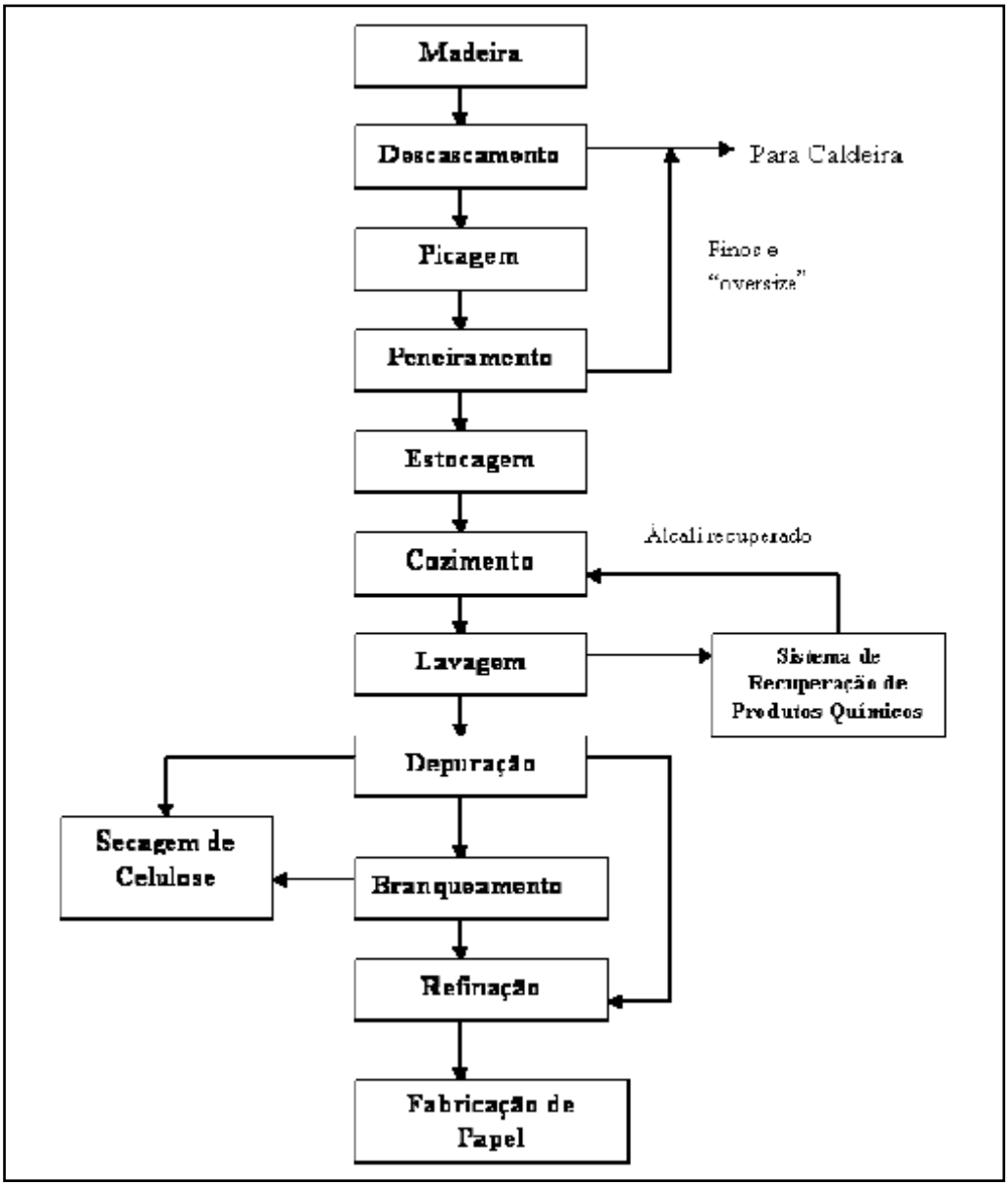


Figura 3.8 - Diagrama de blocos da produção da pasta de celulose

Fonte: POLOWSKI (2009)

[7] Segundo Frohard (2009) apresentou-se este processo químico de extração da fibra, também conhecido como Kraft, por ser o mais utilizado no Brasil. Existem também os processos semiquímicos; de sulfato; e de sulfito, além dos mecânicos e térmicos.

- Lavagem e limpeza da polpa: do centro até a parte inferior do digestor, realiza-se uma operação de lavagem, a fim de retirar a solução residual – o licor negro fraco (licor branco forte usado no cozimento mais lignina dissociada da madeira). Cabe destacar que o licor negro fraco é encaminhado a um Sistema de Recuperação de Produtos Químicos, ilustrado na Figura 3.9 de modo a recuperar parte do licor branco forte (álcali recuperado).

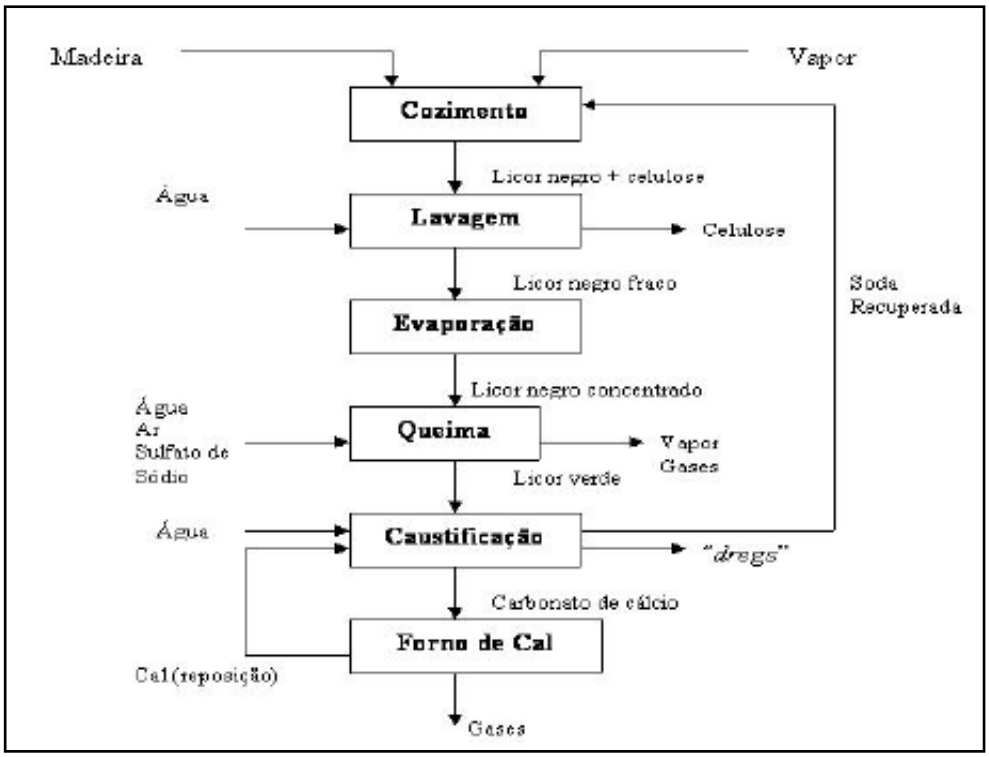


Figura 3.9 - Sistema de Recuperação de Produtos Químicos

Fonte: CASEY (1980 *apud* POLOWSKI, 2009)

- Depuração: após a lavagem, a celulose é retirada do digestor, sendo enviada ao processo de depuração em que são eliminadas as impurezas sólidas existentes (pois as impurezas solúveis foram já removidas na lavagem).

Após a polpação, se procede ao branqueamento, normalmente com o uso de cloro, seguido de uma extração com soda cáustica. Atualmente, as técnicas de branqueamento utilizam uma etapa denominada de deslignificação com oxigênio, ou

pré-branqueamento, destinada a reduzir o teor de lignina da polpa antes de receber os compostos oxidantes.

A última etapa consiste na secagem, na qual a água é retirada da celulose, até que esta atinja o ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ambiente (90% de fibras e 10% de água), obtendo-se assim a pasta de celulose pronta para venda e uso na produção de papel

Dentre os resíduos da indústria de celulose, estão os resíduos da madeira, provenientes do descascamento e picagem das toras e do peneiramento dos cavacos; os resíduos do digestor, como alcali ativo, licor negro e inúmeros insumos químicos; resíduos celulósicos do sistema de decantação, oriundos da etapa de polpação e branqueamento; e resíduos de outras etapas, como resíduos florestais, lama de cal, ClO_2, lodo biológico e cinza. Estima-se que para cada 100 toneladas de celulose produzida, 48 toneladas de resíduos sejam geradas (PEDRAZI, 2005).

A Tabela 3.3 apresenta as principais utilizações dos resíduos gerados no processamento para obtenção da celulose.

Tabela 3.3 - Principais utilizações dos resíduos gerados na produção da celulose

Resíduos	**Utilização**
Cascas e cavacos residuais	Geração de energia elétrica para a produção da celulose e venda do excedente de energia elétrica. Venda do excedente de biomassa.
Licor negro	Grande parte das fábricas produzem energia a partir de sua queima e/ou o reutilizam no processo após um tratamento que o converte novamente a licor branco
Cinza da caldeira de biomassa	As cinzas são ricas em potássio o que as conferem um grande potencial para reutilização e aplicação nos solos
Dregs	Oriundos da clarificação do licor verde, constituído de impurezas tais como partículas de combustão incompleta, óxido de cálcio, ferrugem, sílica. São encaminhados para o aterro industrial ou em algumas fábricas são misturados com outros resíduos e utilizados como condicionadores de solos.
Grits	Provenientes do apagador de cal e constituem-se de impurezas de cal, $CaCO_3$, SiO_2, Al_2O_3. São encaminhados para o aterro industrial ou em algumas fábricas são misturados com outros resíduos e utilizados como condicionadores de solos.

Fonte: Elaboração própria a partir de SILVA (2010) e MIELI (2007)

Mercado da celulose no Brasil

A indústria brasileira de celulose em 2010 teve uma produção estimada de 14,1 milhões de toneladas de celulose, aumentando 11% em relação a 2008, quando o Brasil ocupou a quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose. Em relação à exportação brasileira de celulose em 2009, 8,2 milhões de toneladas foram destinadas ao mercado externo, principalmente para os países europeus, seguido de China e América do Norte com 46%, 24% e 18% respectivamente (BRACELPA, 2010).

O setor de celulose, juntamente com o setor de papel, é formado por 222 empresas instaladas em 539 municípios de 18 estados brasileiros, mantendo 115 mil empregos diretos (68 mil nas atividades industriais e 47 mil pessoas dedicadas à área florestal). O faturamento do setor de celulose e papel em 2009 foi de 28,4 bilhões de reais e foi responsável pela arrecadação de 2,1 bilhões de reais de impostos (BRACELPA, 2010).

3.3 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA ASSOCIADA ÀS BIORREFINARIAS

Segundo Pereira Jr. *et al* (2008B) a utilização de biomassa lignocelulósica no contexto de biorrefinarias é fundamentada em duas plataformas distintas – Plataforma Sucroquímica e Termoquímica, conforme apontado por Kamm *et al* (2006) na Figura 3.5), que podem trabalhar separadamente ou integradas.

A plataforma sucroquímica é fundamentada em processos de conversão química e bioquímica de açúcares extraídos da biomassa por processos de hidrólise (química ou enzimática), nas quais se procede ao fracionamento limpo em que são obtidas as frações de celulose, hemicelulose e lignina.

Já a plataforma termoquímica é fundamentada em processos de conversão termoquímica pela reação de matéria-prima em altas temperaturas com uma quantidade de oxigênio controlada (gaseificação) para produzir gás de síntese ($CO + H_2$) ou na ausência de oxigênio (pirólise) para produzir bio-óleo, que depois de um processo de hidrodesoxigenação produz uma mistura líquida de hidrocarbonetos similar aqueles presentes no petróleo.

Cabe destacar ainda que o gás de síntese oriundo da gaseificação pode ser submetido a uma síntese química através do processo chamado Fischer-Tropsch para geração de biocombustíveis.

3.3.1 **Plataforma Sucroquímica**

3.3.1.1 Separação dos componentes lignocelulósicos - Hidrólise

Na plataforma sucroquímica, a obtenção dos diversos compostos demanda a separação de seus componentes principais. Para isto, o pré-tratamento é essencial, visando a desorganização do complexo lignocelulósico e como conseqüência aumento da acessibilidade das enzimas às moléculas de celulose (PEREIRA JR *et al*., 2008A).

O pré-tratamento, que consiste em submeter o material lignocelulósico a uma série de operações, visa promover a quebra das ligações que unem as macroestruturas. Tais operações são responsáveis pela adequação da matéria-prima, como por exemplo o bagaço da cana-de-açúcar, às condições de transformação por parte dos microorganismos. Estas podem ser classificadas como físicas, físico-químicas, químicas e biológicas, conforme o agente que atua na alteração estrutural (SCHLITTLER, 2006). A Figura 3.10 mostra um esquema simplificado para a separação dos principais componentes dos materiais lignocelulósicos.

Os pré-tratamentos físicos são caracterizados pela fragmentação do material através de uma ação mecânica, seja por trituração, moagem ou esfarelamento, e esta fragmentação não altera a sua composição química (SZCZODRAK & FIEDUREK, 1996).

Os pré-tratamentos físico-químicos são aqueles em que há a submissão do material a altas temperaturas, catalisados ou não, por agentes químicos; caracterizam-se pelas condições rústicas e até brandas de temperatura que são utilizadas. Segundo SCHLITTLER (2006), entre os pré-tratamentos físicos destacam-se: Explosão a vapor ou auto-hidrólise; Explosão por amônia – AFEX; Explosão por CO_2; Tratamento alcalino – LIME; e Hidrotermólise.

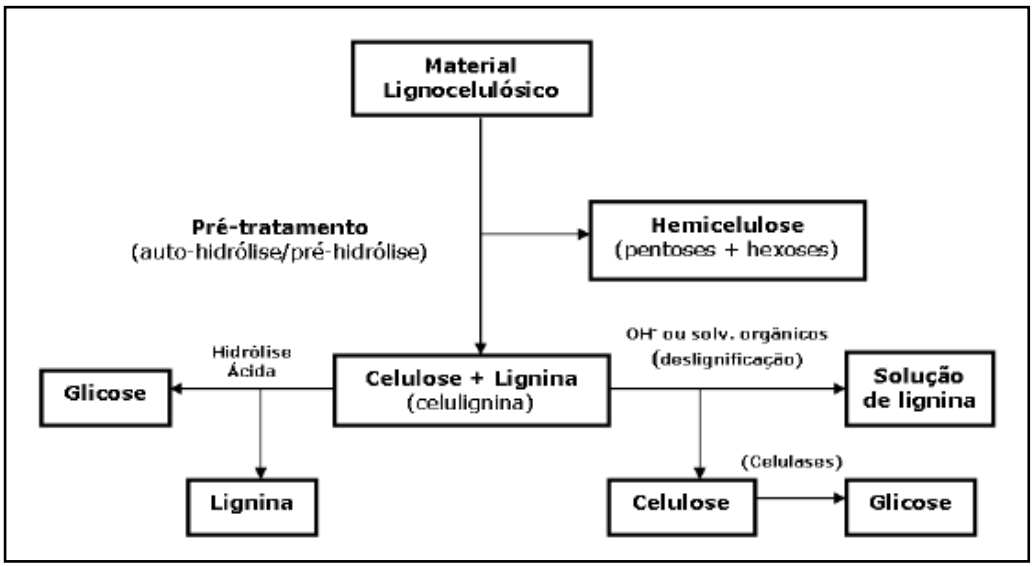


Figura 3.10 - Separação dos componentes lignocelulósicos

Fonte: PEREIRA JR. *et al.* (2008A)

Com relação aos pré-tratamentos químicos, cabe destacar que existe uma infinidade de possibilidades para se pré-tratar os materiais lignocelulósicos, tendo cada uma características e resultados variados. Não existe um processo universal, pois cada material requer um tipo de tratamento devido às diferenças em sua estrutura química. Os mais conhecidos e desenvolvidos são: Hidrólise Ácida, Ozonólise, Deslignificação oxidativa, Processo organosolv, entre outros.

Nos pré-tratamentos biológicos são utilizados biocatalisadores para hidrolisar as fibras. Tais agentes são de natureza microbiana e/ou enzimática, principalmente fungos filamentosos e actinomicetos.

Pereira Jr. (2006) observa que a decisão de usar um ou outro processo de hidrólise depende também do tipo de material lignocelulósico empregado. Na hidrólise da hemicelulose (que ocorre em condições mais brandas do que no caso da celulose), a estratégia tem sido a utilização de ácido sulfúrico diluído. No caso da celulose, como a hidrólise química requer condições de alta severidade (elevadas temperaturas, grandes tempos de exposição e altas concentrações de ácido), pela maior resistência ao ataque hidrolítico, o uso da hidrólise enzimática seria mais indicado (pela ausência de condições severas); tal estratégia tecnológica difere da concepção de processos

antigos em que se buscava a hidrólise química conjunta da celulose e da hemicelulose, pois são polissacarídeos com diferentes suscetibilidades ao ataque hidrolítico.

Uma vez separadas as três frações do material lignocelulósico, as mesmas podem ser processadas para gerar diferentes produtos de acordo com o conceito de biorrefinaria conforme ilustrado na Figura 3.4.

Segundo Gallezot (2007), as moléculas extraídas da biomassa contêm grupos funcionais que, em alguns casos, podem possibilitar a síntese de produtos químicos com um menor número de etapas do que a partir de alcanos oriundos do petróleo.

Alguns produtos como o ácido levulínico, xilitol e alguns álcoois já são produzidos comercialmente no mundo a partir do fracionamento de biomassa, em especial de resíduos da indústria madeireira (DEMIRBAS, 2009). No entanto, são necessários investimentos em P&D para disseminação do uso da biomassa lignocelulósica, uma vez que o processamento de alguns bioprodutos é muito mais dispendioso do que os processos convencionais a partir de hidrocarbonetos, tornando-os assim produtos não competitivos em custos (GALLEZOT, 2007). Os produtos de cadeias aromáticas ou naftalênicos, que podem ser obtidos a partir da lignina, se enquadram nesta categoria.

3.3.2 **Plataforma Termoquímica**

Os principais processos de conversão termoquímica a partir da biomassa lignocelulósica são a pirólise e a gaseificação que serão detalhados a seguir.

3.3.2.1 Pirólise

Segundo Perez *et al* (2010 p. 733) a pirólise rápida caracteriza-se “pela degradação do combustível sólido em ausência de oxigênio em um curto tempo de reação, da ordem de poucos segundos”. O principal produto da pirólise é o bio-óleo, mas também podem ser produzidos o carvão em pó, extrato ácido e gases. De acordo

com os dados da unidade piloto Planta de Pirólise Rápida (PPR-200)[8] utilizando palha de cana-de-açúcar (base matéria orgânica seca) foram obtidos os seguintes rendimentos percentuais dos produtos da pirólise: carvão (20%), bio-óleo (30%), extrato ácido (10%) e gases (40%) (PEREZ *et al*, 2010).

Tais produtos apresentam aplicações potencialmente importantes, tanto como intermediários em outros processos industriais, como produto final após transformações químicas para adequar-se em outras aplicações conforme indicado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Aplicações pontenciais dos produtos da pirólise rápida

Produto da Pirólise Rápida	**Aplicações**
Bio-óleo	Emulsões para asfalto
	Como combustível renovável em substituição ao diesel e ao óleo combustível na geração de energia em sistemas termoelétricos
	Aditivo para emulsionar bio-óleo em derivados de petróleo – geração de energia em sistemas termoelétricos
	Substituição parcial do fenol petroquímico para produção de resinas fenólicas
	Transporte de petróleo de alta viscosidade
Carvão vegetal	Substituição do carvão e da lenha, uso em altos fornos na indústria siderúrgica (carvão compactado, briquetado)
	Pelotização de minério de ferro
	Queima em suspensão
Extrato ácido	Inseticida natural, adubo orgânico, fungicida
	Matéria-prima para produção de biodiesel leve

Fonte: Elaboração própria a partir de PEREZ *et al* (2010)

A Figura 3.11 mostra o diagrama de blocos com as principais etapas associadas a pirólise da biomassa desde a estocagem da biomassa até a realização da pirólise, que são brevemente discutridas a seguir:

- Estocagem: os resíduos devem ser tratados como matérias-primas para evitar que durante o seu manuseio ocorra a incorporação de materiais inorgânicos (terra, pedras, etc.) que são elementos desfavoráveis no pré e no pós-tratamento.

[8] Desenvolvida pela UNICAMP em parceria com a empresaBioware incubada e graduada pela Incamp (Incubadora de Empresa da UNICAMP).

- Secagem: precisa ser evitada ou feita de forma natural nos casos em que a biomassa seja um resíduo normalmente espalhado, como no exemplo da palha da cana que é seca em três dias no próprio terreno onde foi cortada e transportada em forma de fardos para a usina.

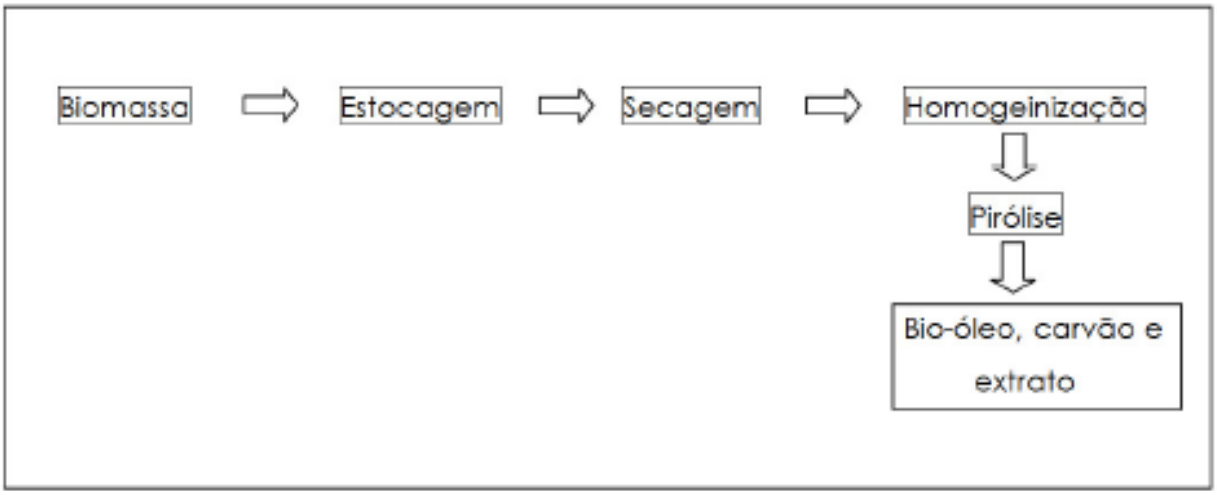


Figura 3.11 – Diagrama de blocos das etapas necessárias para a realização da pirólise

Fonte: Elaboração própria a partir de PEREZ *et al* (2010)

- Homogeneização: envolve as operações de picagem, moagem e peneiração e tem o intuito de promover a redução e a uniformização do tamanho das partículas, exigidas pela pirólise rápida; o controle sobre a distribuição de tamanho é necessária e crítica, garantindo assim uma estreita faixa de tamanhos.

- Pirólise: consiste na obtenção do bio-óleo. No Brasil, os estudos apontam que a escala de 200 kg/h e plantas de 20 a 40 toneladas por dia são possíveis de funcionar satisfatoriamente.

No entanto, ainda existem uma série de gargalos tecnológicos que precisam ser vencidos para que tal tecnologia entre em um estágio comercial, tais como: problemas ligados a fluidodinâmica do reator de leito fluidizado, operações estáveis do reator devido à temperatura e ao tempo de residência e recuperação do bio-óleo.

3.3.2.2 Gaseificação – Tecnologia *XTL*

A Tecnologia *XTL* consiste na transformação de qualquer fonte de carbono (X) em frações líquidas de alto valor agregado (*TL = to liquids*); assim, *XTL* engloba tecnologias tradicionais tais como *GTL* (*gas-to-liquids*) e *CTL* (*coal-to-liquids*), como também outras mais inovadoras do tipo *BTL* (*biomass-to-liquids*) e *PTL* (*petroleum-to-liquids*). A Figura 3.12 apresenta o conceito de uma refinaria *XLT*.

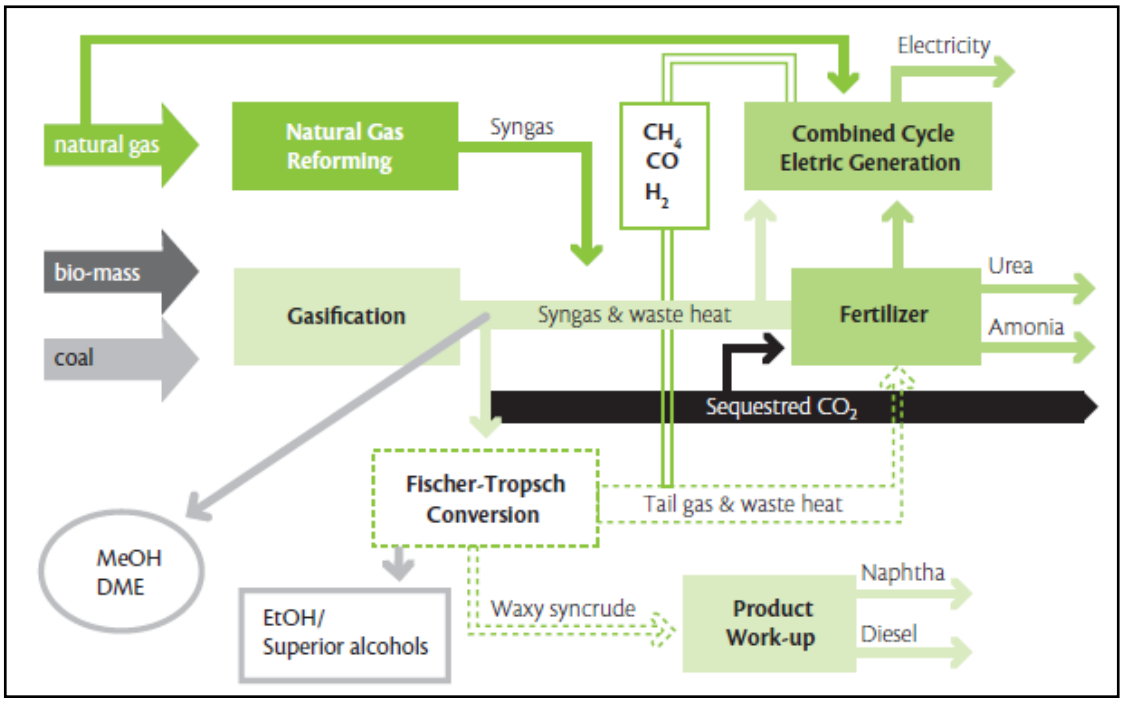


Figura 3.12 - Conceito de refinaria *XLT*

Fonte: CGEE (2010)

Com foco apenas na parte relativa a biomassa, constata-se que, independentemente de sua origem (sacarínea, amilácea, celulósica ou oleaginosa) ou forma (bagaco, palha, rama seca, óleo, cavacos,etc.), a biomassa, com umidade em torno de 10% base úmida, é gaseificada com oxigênio num gaseificador pressurizado, gerando gás de síntese (CO + H_2). A partir do gás de síntese, um petroquímico básico, uma extensa arvore de produtos podem ser obtidos tais como mistura de alcoóis, parafinas diesel, olefinas, aldeídos, etc.

3.4 TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS SOBRE BIORREFINARIAS E MATÉRIA-PRIMA LIGNOCELULÓSICA

A Figura 3.13 mostra as tendências internacionais com relação aos biocombustíveis nos próximos anos. As projeções sinalizam que as biorrefinarias integradas irão se tornar uma realidade. Especialistas acreditam que as biorrefinarias possam vir a constituir uma indústria-chave do século XXI, responsável até mesmo por uma nova revolução industrial, em virtude da importância das tecnologias que empregam e dos efeitos sobre o paradigma industrial.

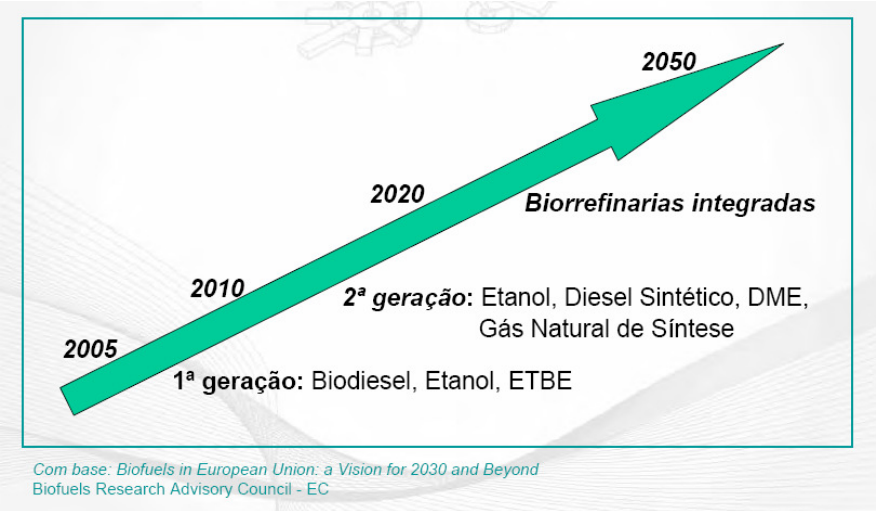


Figura 3.13 - Tendências Internacionais

Fonte: BARATELLI JR. (2007)

Cabe ressaltar que os principais tipos de biocombustíveis de primeira geração (bioetanol e biodiesel) apresentam baixa complexidade tecnológica e possuem predominância de matéria-prima cultivada (BARATELLI JR., 2007). Em contrapartida, os chamados biocombustíveis de 2ª geração, cujas características são apresentadas na Tabela 3.5, apresentam uma alta complexidade tecnológica, com muitos desafios a serem superados, e possuem uma predominância de rejeitos como matéria-prima (BARATELLI JR., 2007). As novas tecnologias de processamento envolvendo biomassas são fundamentais principalmente nos países desenvolvidos, em que as

matérias-primas hoje utilizadas competem com a produção de alimentos e os custos de produção são ainda altos em comparação com o petróleo (BASTOS, 2007).

Tabela 3.5 - Características dos Biocombustíveis de 2ª geração

Biocombustíveis de 2ª Geração		
Tipo	**Matéria-prima**	**Processo**
Bioetanol	Material lignocelulósico	Hidrólise e fermentação avançada
Biocombustíveis sintéticos (BTL)	Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese
Biodiesel	Óleos vegetais e gordura animal	Hidrogenação (refino)
Biogás	Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese
Biohidrogênio	Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese

Fonte: BARATELLI Jr. (2007)

Além dos biocombustíveis de 1ª e 2ª geração existe o biocombustível de 3ª geração que corresponde ao biodiesel produzido a partir de macroalgas e o de 4ª geração baseado na conversão de óleos vegetais e biodiesel em biogasolina (DEMIRBAS, 2009).

3.4.1 **Projetos de biorrefinarias de biomassa lignocelulósica**

3.4.1.1 No mundo

Sucroquímica

Apesar de atualmente não existir nenhuma planta comercial para produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, muitas plantas piloto e de demonstração já foram desenvolvidas, e diversos projetos comerciais estão em desenvolvimento conforme ilustrado nas Tabelas 3.6 e 3.7. A maior parte das plantas está localizada nos EUA, mas países como Canadá, Brasil e Japão também são sedes de algumas iniciativas. Cabe destacar que diversas configurações tecnológicas estão sendo pesquisadas e desenvolvidas para produção do etanol a partir da biomassa lignocelulósica, incluindo os processos de hidrólise enzimática dentre outros.

Nos EUA são realizados investimentos portentosos nesta área, sendo que no período entre 2002-2005 foram gastos US$ 111,9 milhões para implantação de biorrefinarias no país, como pode ser observado na Tabela 3.8.

Tabela 3.6 - Plantas piloto e de demonstração de etanol celulósico

Companhia	Local	Biomassa	Capacidade ou alimentação	Data de início
Plantas pilotos				
Iogen	Otawa, Canadá	Cavaco de madeira	900 kg/dia	1985
Iogen	Otawa, Canadá	Palha de trigo	900 kg/dia	1993
Masada/TVA	Muscle Shoals, EUA	Madeira	ND	1993
SunOpta	Norval, Canadá	Vários (não madeira)	450 kg/dia	1995
Arkenol	Orange, EUA	Vários	900 kg/dia	1995
Bioengineering Resources	Fayetteville, EUA	Madeira mole e casca de árvores	ND	1998
NREL/DOE	Golden, EUA	Palha de milho, outros	900 kg/dia	2001
Pearson Technologies	Aberdeen, EUA	Resíduos de madeira, palha de arroz	27 Mg/dia	2001
NEDO	Izuni, Japão	Cavaco de madeira	300 L/dia	2002
Dedini	Pirassununga, Brasil	Bagaço	1.600 m^3/ano	2002
Tsukishima Kikai Co.	Ichikawa, Chiba, Japão	Resíduos de madeira	900 kg/dia	2003
Etek Etanol Teknik	Ornskoldsvik, Suécia	Serragem de abeto	500 L/dia	2004
Pure Vision	Ft. Lupton, EUA	Palha de milho, Bagaço	900 kg/dia	2004
Universal Entech	Phoenix, EUA	Lixo municipal	100 L/dia	2004
Sicco A/S	Odense, Diamarca	Palha de trigo	100 kg/hora	2005
Abegoa Bioenergy	York, EUA	Palha de milho[a]	2.000 m^3/ano	2006
Plantas de demonstração				
Iogen	Otawa, Canadá	Palha de trigo, aveia e cevada	3.000 m^3/ano	2004
Clear Fuel Technologies	Kauai, EUA	Bagaço e resíduo de madeira	11.400 m^3/ano	2007
Celunol	Jeannings, EUA	Bagaço e casca de arroz[a]	5.000 m^3/ano	2007
Etek Etanol Teknik	Suécia	Resíduos de madeira mole (pinho e abeto)	30.000 m^3/ano	2009

[a] (em conjunto com uma planta de etanol em grãos)

Fonte: SOLOMON *et al*, 2007

Tabela 3.7 - Futuras plantas comerciais de etanol celulósico (em m^3/ano)

Companhia	Local	Biomassa	Capacidade (m^3/ano)	Data de início
Bioethanol Japan Kansai	Sakai, Japão	Resíduos de madeira de construção	1.400-4.000	2007
Abengoa Bioenergy & SunOpta	Babilafuente, Espanha	Palha de trigo[a]	5.000	2007
Iogen	Shelley, EUA	Palha de trigo, cevada e arroz	110.000	2008
Wethanol & Spring Hope	Spring Hope, EUA	Cavacos de madeira dura, resíduos de madeira, outros	130.000	2007
BioFuels Xethanol & Coastal	Augusta, EUA	Resíduos de madeira, outros	190.000	2007
Maui Ethanol	Kauai, EUA	Bagaço	45.000	2007
Dedini	Brasil	Bagaço	20.000	2007
Colusa Biomass Energy	Colusa, EUA	Palha e casca de arroz, palha de milho	38.000	2007
Future Fuels	Toms River, EUA	Resíduos de madeira, outros	200.000	2008
Genahol	Orrville, EUA	Lixo municipal	15.000	2008
Pencor-Masada OxyNol	Middletown, EUA	Lixo municipal	34.000	2008

[a] (em conjunto com uma planta de etanol em grãos)

Fonte: SOLOMON *et al*, 2007

Tabela 3.8 - Biorrefinarias de planta sucroquímica nos EUA – 2002-2005

Projeto	Contratado	Valor (milhões de US$)
Integrated Corn-Based Biorefinery	E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc.	18.2
Making Industrial Biorefining Happen	Cargill-Dow LLC	26.0
A New Biorefinery Plataform Intermediate	Cargill, Inc.	6.0
Advanced Biorefinering of Distillers'Grain and Corn Stover Blends: Precommercialization of a Biomass-Derived Process Technology	Abengoa S.A.	17.7
A Second Geeration Dry Mill Biorefinery	Broin & Associates	5.6
Separation of Corn fiber and Conversation to Fuels and Chemicals Phase II: Pilot-Scale Operation	NCGA-National Corn Growers Association	2.4
Cellulase Cost-Reduction for Corn-derived Lignocellulosics	Genencor International	18.0
Cellulase Cost-Reduction for Corn-derived Lignocellulosics	Novozymes	18.0
TOTAL		111.9

Fonte: EERE (2006 *apud* PEREIRA JR., 2006)

Além disso, foi implantado o Programa de Biomassa do Departamento de Energia para criar nos Estados Unidos uma nova indústria – a indústria da biomassa, ou bioindústria –, consolidada com a instalação de biorrefinarias capazes de transformar vários tipos de biomassa, a preços competitivos em relação às atuais fontes fósseis, em combustíveis, produtos químicos, eletricidade e calor. As biorrefinarias e o uso da biomassa celulósica emergem como fundamentais para alcançar as metas de produção/consumo de etanol, em função das limitações das fontes atualmente empregadas (BASTOS, 2007).

Neste contexto, os EUA pretendem investir US$ 385 milhões em seis biorrefinarias de etanol celulósico capazes de produzir 480 milhões de litros de etanol celulósico por ano como parte do plano do governo norte-americano e tornar o etanol celulósico competitivo em 2012 a fim de reduzir o consumo de gasolina nos EUA nos próximos 20 anos (BASTOS, 2007). A Tabela 3.9 apresenta os seis projetos selecionados pelo USDOE.

Tabela 3.9 - Investimentos do USDOE em projetos de produção de etanol celulósico nos EUA 2007-2010

Empresa	**Localização da planta**	**Matéria-prima**	**Capacidade (milhões de litros/ano)**	**Investimentos (milhões US$)**
Abegoa Bioenergy Corp.	Kansas	Sabugo de milho, resíduos de trigo, etc	43,1	76
ALICO, Inc.	Flórida	Resíduos de vegetais diversos	52,6	33
BlueFire Ethanol, Inc.	Califórnia	Resíduos vegetais e de madeira	71,9	40
Broin Companies of Sioux Falls	Iowa	Resíduos de milho	94	80
Iogen Biorefinery Partners	Idaho	Resíduos agrícolas	68	80
Range Fuels	Geórgia	Resíduos de madeira	151	76

Fonte: BARROS (2007)

Pirólise

Alguns tipos de reatores já são testados no mundo para realizar a pirólise rápida de biomassa: o reator de leito fluidizado borbulhante da empresa Wellman, na Inglaterra, com capacidade de alimentação de 250 kg/h de biomassa. Para a mesma tecnologia também podem ser empregados reatores de 75 kg/h e 400 kg/h (em construção) da empresa Dynamotive e o de 20 kg/h da empresa RTI, ambas localizadas no Canadá (PEREZ, 2010).

Existem ainda vários reatores de leito fluidizado com capacidade de até 3.300 kg/h pertencentes à empresa americana Red Arrow, um de capacidade de 650 kg/h, na empresa ENEL, na Itália, e um de 20 kg/h no Instituto VTT na Finlândia, todos fornecidos pela empresa canadense Ensyn. Um reator de leito circulante de capacidade de 10 kg/h de biomassa está operando na fundação CRES da Grécia. Podem ser mencionados ainda: um reator experimental de leito rotativo do Instituto BTG, na Holanda, com capacidade de 250 kg/h, e um outro em projeto, de 2.000 kg/h; dois reatores de pirólise: um no NREL, laboratório do governo americano, e outro na Universidade de Aston, na Inglaterra, ambos com capacidade de 20 kg/h de alimentação de biomassa. Um sistema de pirólise a vácuo de 3.500 kg/h pertence à empresa Pyrovac no Canadá (PEREZ, 2010).

BTL

De acordo com Ushima (2010) ainda não há nenhuma unidade no mundo para produção de combustível líquido a partir de biomassa em escala comercial via rota *BTL*; no entanto, existem diversas unidades em escala piloto ou de demonstração em fase de desenvolvimento. A Tabela 3.10 lista unidades no mundo que empregam tecnologias *BTL* em fase de desenvolvimento.

Tabela 3.10 - Projetos empregando tecnologias *BTL* em fase de desenvolvimento no mundo

Entidade	Combustível	Produção de combustível	Tecnologia	País
Choren	Óleo diesel	18 milhões l/ano	Pirólise e gaseificação	Alemanha
Chemrec	DME	5 ton/dia	Gaseificação do licor negro obtido no processo kraft	Suécia
Range Fuels	etanol	38 milhões l/ano	Gaseificação indireta	EUA
Alico, Inc.	Etanol	27 milhões l/ano	Síntese biológica	EUA
Enerkem	Etanol	5 milhões l/ano	Gaseificação em leito fluidizado	Canadá
Chrisgas	Hidrogênio	3500 N, 3/h	Gaseificação leito arraste pressão	Suécia

Fonte: Elaboração própria a partir de USHIMA (2010)

Da Tabela 3.10 cabe destacar o projeto da Chemrec, mantido por um consórcio de empresas suecas e que se encontra em um estágio avançado de desenvolvimento, que se fundamenta na gaseificação de licor negro, gerado no processo Kraft, no lugar de biomassa, com oxigênio. Pelo fato de ser líquido, o licor negro simplifica drasticamente o sistema de alimentação no gaseificador pressurizado, eliminado um dos gargalos existente para biomassa sólida (USHIMA, 2010).

Teve início, em setembro de 2008, a construção de uma unidade de produção de DME a partir de gás de síntese, ao lado de um gaseificador de licor negro em escala piloto instalado em Pitea na Suécia, com recursos financeiros da ordem de 28,4 milhões de euros e capacidade de produção de 5 ton/dia de DME (USHIMA, 2010).

3.4.1.2 No Brasil

Uma das empresas brasileiras que mais investem em P&D sobre biorrefinarias, em especial a partir de resíduos da cana-de-açúcar, é a Petrobras S.A. no segmento de energias renováveis (PETROBRAS, 2011). Segundo Baratelli Jr. (2007) a estratégia competitiva da empresa é expandir a participação no mercado de biocombustíveis liderando a produção nacional de biodiesel e ampliando a participação no negócio de etanol. A Tabela 3.11 apresenta as rotas para produção de biocombustíveis e o estágio

do esforço tecnológico empreendido pela Petrobras/CENPES para o desenvolvimento das tecnologias.

Tabela 3.11 - Estágio do esforço tecnológico empreendido pela Petrobras/CENPES

Combustível	**Fonte/Biomassa**	**Estágio da Tecnologia**	**Esforço tecnológico**
Primeira geração			
Etanol de grãos e cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar, trigo, milho, beterraba	Comercial	médio
Biodiesel	Óleos vegetais e gorduras	Comercial	alto
Diesel verde (hidrotratamento)	Óleos vegetais, gorduras e petróleo	Rumo a comercial no Brasil e Europa	alto
Butanol	Milho, sorgo, trigo e cana-de-açúcar	Projeto BP e Dupont para produzir	monitoramento
Segunda geração			
Etanol celulósico	Resíduos agrícolas, lascas de madeira	Projeto IOGEN anuncia planta comercial	alto
Combustíveis da Pirólise (bio-óleo)	Qualquer biomassa celulósica	Projeto BIOCOUP – consórcio europeu de 16 empresas desde 2006 até 2011	médio
Combustíveis de Gás de Síntese - BTL	Qualquer biomassa celulósica	Demonstrado em larga escala com fósseis. Projeto CHOREN para biomassa anuncia planta commercial.	alto
Futuro			
Diesel de algas	Microalgas cultivadas	Escala de laboratório em Universidades	baixo
Hidrocarbonetos de biomassa	Carbohidratos	Escala de laboratório em Universidades	prospecção

Fonte: BARATELLI Jr. (2007)

A Tabela 3.11 aponta que os biocombustíveis que demandam um esforço tecnológico elevado por parte da PETROBRAS são de segunda geração, o etanol de celulose e os combustíveis de pirólise e de gás de síntese – *BTL* que, por sua vez, utilizam como fonte de biomassa matérias de origem celulósica – matéria-prima para as biorrefinarias lignocelulósicas.

Bioetanol lignocelulósico

Com o projeto de desenvolvimento do bioetanol de lignocelulósicos a Petrobras entra na produção dos chamados biocombustíveis de segunda geração (PETROBRAS, 2011). Depois da etapa de testes em laboratório, o projeto passou para a fase de testes em escala piloto, por meio de uma unidade experimental instalada no Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES). Desenvolvida em parceria com a empresa brasileira Albrecht, a planta piloto é única no Brasil utilizando a tecnologia enzimática. O projeto foi desenvolvido pela PETROBRAS em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e outras universidades brasileiras.

A planta experimental é capaz de produzir cerca de 220 litros de etanol por tonelada de bagaço de cana-de-açúcar. Nesta etapa do projeto de pesquisa, os pesquisadores trabalham na otimização deste processo de produção e tem como objetivo alcançar a marca de 280 litros por tonelada de bagaço no mesmo equipamento. Como resultado desta pesquisa, a Petrobras já efetuou o depósito de dois pedidos de patentes (BR 0605017-4 e BR 0505299-8) junto ao Instituto Brasileiro de Propriedade Industrial (INPI).

Desta forma, a produção de biocombustíveis, em futuro próximo, também poderá ser complementar à produção de alimentos. A Petrobras projeta a construção de uma planta semi-industrial de bioetanol.

Há ainda o interesse da Petrobras em rotas termoquímicas, como a Pirólise e as Tecnologias BTL. A empresa, por meio do CENPES, assinou um acordo de cooperação com a empresa americana de tecnologia KIOR Inc. para o desenvolvimento do processo BCC (sigla em inglês para Craqueamento Catalítico de Biomassa), tecnologia de produção de bio-óleo (PETROBRAS, 2011).

Desde 2006, o CENPES vem estudando o processamento de biomassa para a geração de bio-óleo a partir do resíduo da palha de cana-de-açúcar. Já foram realizados testes de bancada e estão em andamento estudos em planta piloto. Os primeiros testes em unidades semi-industriais estão programados para acontecer em 2009.

Gerado a partir de matérias-primas como serragem de madeira, capim-elefante e principalmente palha ou bagaço de cana-de-açúcar, o bio-óleo, também chamado de *bio-crude*, é produto do processo de pirólise rápida de biomassa. O bio-óleo é considerado inadequado para uso direto como combustível veicular, sendo utilizado para geração de eletricidade ou como aromatizante na indústria de alimentos. A KiOR Inc., uma *joint venture* americana entre as empresas Khosla Ventures e BIOeCON, possui notória expertise internacional na área de desenvolvimento da tecnologia de BCC.

Cabe destacar ainda outras iniciativas adotadas no Brasil com relação à rota termoquímica:

- A planta de pirólise rápida com capacidade de 200 Kg/h de biomassa cuja tecnologia baseada em leito fluidizado foi desenvolvida pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em parceria com a empresa Bioware incubada e graduada pela Incamp (Incubadora de Empresa da UNICAMP), sendo o primeiro reator de pirólise rápida de biomassa no Brasil para produzir bio-óleo (PEREZ *et al*, 2010); e

- O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) tem desenvolvido processos de gaseificação, em escala piloto, para a geração de gás de síntese, utilizando oxigênio e vapor d'água como agente de gaseificação, em pressões ligeiramente superiores à atmosférica. Durante o período entre 1999 e 2004, foram realizados diversos testes de gaseificação com geração de gás de síntese em leito fluidizado borbulhante, utilizando pellets de bagaço de cana e oxigênio, e em gaseificador concorrente, empregando pellets de eucalipto e oxigênio, com vazão de alimentação em torno de 100 kg/h nos dois gaseificadores (USHIMA, 2010).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de biorrefinaria está se firmando à imagem do que representa a refinaria de petróleo, onde a biomassa é usada como *input* de modo a produzir por meio de sistemas integrados diferentes produtos como combustíveis, químicos e energia.

A literatura aponta para sete tipos de biorrefinarias. Com exceção das chamadas biorrefinarias convencionais, todas se encontram em fase de planta piloto e/ou com grandes esforços de P&D.

No Brasil, existem diversos exemplos de biorrefinarias convencionais em pleno funcionamento, tais como os exemplos das usinas de açúcar e etanol e a indústria de celulose e papel que foram apresentadas neste estudo por sua estreita relação com a lignina, objeto de estudo da tese.

A remoção da lignina, conhecida como deslignificação, ocorrida durante a polpação e o branqueamento da polpa de celulose é uma etapa chave na indústria de celulose, independente do processo químico utilizado para a extração da celulose.

A utilização da biomassa lignocelulósica dentro do contexto de uma biorrefinaria pode ser fundamentada em duas plataformas distintas: a sucroquímica e a termoquímica, que podem ser usadas separadamente ou em conjunto.

A sucroquímica é baseada em processos de conversão química e bioquímica de açúcares extraídos da biomassa por processos de hidrolise química ou enzimática. É caracterizada pelo fracionamento limpo das três frações lignocelulósicas.

Uma vez separadas as três frações do material lignocelulósico podem ser processadas para gerar diferentes produtos dentro do conceito de biorrefinaria. No entanto, algumas barreiras de ordem tecnológica precisam ser vencidas para disseminar o uso destas frações, uma vez que o processamento de alguns bioprodutos é mais dispendioso do que os processos convencionais.

Já a plataforma termoquímica é fundamentada em processos de conversão termoquímica pela reação de matéria-prima em altas temperaturas com uma quantidade de oxigênio controlada (gaseificação) para produzir gás de síntese ou na ausência de oxigênio (pirólise) para produzir bio-óleo.

Da mesma forma observada na plataforma sucroquímica, é necessário vencer uma série de gargalos tecnológicos para que estas tecnologias possam entrar em um estágio comercial.

As tendências internacionais sobre biorrefinarias que utilizam matéria-prima lignocelulósica mostram que as mesmas vão se tornar uma realidade dentro dos próximos anos, em especial os chamados biocombustíveis de segunda geração como o etanol, os *BTL*, o biogás e o biohidrogênio.

No Brasil, a Petrobras é umas das empresas lideres em P&D sobre biorrefinarias, em especial a partir dos resíduos do processamento da cana-de-açúcar. Esta empresa tem mostrado um esforço tecnológico médio para elevado nas plataformas sucroquímica (etanol obtido a partir da celulose) e termoquímica (combustíveis de pirólise e gás de síntese).

Por fim, considerando que são geradas grandes quantidades de lignina no Brasil e no mundo, novas formas para o seu uso, na forma de fração isolada ou conjugada com a celulose e a hemicelulose, dentro do conceito de biorrefinaria, deverão ser criadas visando o aproveitamento desta nova matéria-prima renovável.

4 MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING*

O objetivo deste capítulo é descrever o Método *Technology Roadmapping* (TRM) através da apresentação de sua definição, tipos, formatos e estruturas possíveis, o processos de operacionalização e adaptação do método propostos na literatura, benefícios e vantagens do método e exemplos de aplicações no Brasil, em especial aquelas relacionadas a fontes de energias renováveis, encontrados na revisão bibliográfica realizada.

4.1 DEFINIÇÕES PARA *ROADMAP* E *ROADMAPPING*

Segundo Lee & Park (2005) a literatura tem apresentado o termo *technology roadmap* em diferentes maneiras, tais como *technology roadmap*, *technology road map* ou somente *roadmap*, ou ainda na forma abreviada *TRM*.

Usualmente, a expressão *road map* refere-se a um *layout* de caminhos ou rotas que existem ou podem existir em um espaço geográfico particular para ajudar os viajantes no planejamento da viagem a fim de atingir um destino específico (SCHALLER, 2004). Tal definição auxilia a compreender o método *technology roadmapping (TRM)*, que consiste em representar graficamente a rota de evolução das tecnologias, produtos e mercados existentes (hoje) e que será construída (futuro), auxiliando os líderes (viajantes) de uma organização no planejamento e alinhamento das ações de desenvolvimento com as metas do negócio (destino) (MATTOS NETO, 2005).

As raízes do TRM podem ser creditadas à indústria automobilística norte-americana. Entretanto, as primeiras organizações a aplicá-lo com sucesso foram as grandes corporações de tecnologia Corning e Motorola, no final da década de 70, início dos anos 80 (DRUMMOND, 2005). A primeira publicação acadêmica sobre o *technology roadmapping* data do final da década de 1980, de autoria de Willyard & McCless (1987), apresentando o método e suas vantagens no planejamento tecnológico para empresas.

Kappel (2001) afirma que apontar uma definição para *roadmapping* tem se tornado uma tarefa desafiadora, dada a enorme popularidade dos termos empregados, onde qualquer tipo de documento prospectivo recebe a denominação de *roadmap*.

De acordo com Phaal *et al* (2004), o *technology roadmapping* representa uma técnica poderosa para suportar o gerenciamento e planejamento tecnológico, especialmente para explorar e comunicar interações dinâmicas entre recursos, objetivos organizacionais e mudanças no ambiente. Visa ajudar a identificar, selecionar e desenvolver alternativas tecnológicas para satisfazer um conjunto de necessidades do produto (GARCIA & BRAY, 1997).

Para Petrick & Echols (2004), o TRM é uma ferramenta que capacita organizações a tomarem decisões mais sustentadas, previne desperdício de tempo e de recursos preciosos e ajuda a reduzir o risco associado a incertezas, proporcionando um aumento do número de decisões acertadas.

Assim como visto para o termo *roadmapping* existem diversas conceituações para o *roadmap*. Muller (2005) descreve que o *roadmap* é uma visualização do futuro integrando todos os aspectos relevantes do negócio (mercado, produtos, tecnologia, processo e pessoas) considerando a dimensão de tempo. Kappel (2001) relata que o diferencial dos *roadmaps* perante os demais documentos estratégicos numa corporação nada mais é do que a revelação explícita do domínio de tempo para cada elemento que o *roadmap* contém.

Ainda com relação aos termos *roadmap* e *roadmapping*, a tradução para o português mais adequada seria mapa e mapeamento, respectivamente, conferindo uma idéia de objeto e ação. Entretanto, verifica-se na literatura que os trabalhos escritos em português empregam na maioria das vezes os termos em inglês.

Por fim, de uma forma geral, a definição do método *Technology Roadmapping* adotada neste trabalho é a de um método flexível cujo objetivo principal é auxiliar no planejamento estratégico de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia de maneira integrada ao longo do tempo (ALBRIGHT & KAPPEL, 2003; KAPPEL, 2001; PHAAL *et al*., 2001, 2004), enquanto que o termo *technology roadmap* consiste no documento gerado pelo processo.

4.2 OBJETIVOS E BENEFÍCIOS

Os *technology roadmaps* fazem parte das ferramentas que visam explorar a dinâmica das tecnologias emergentes nas indústrias, em um horizonte de longo prazo e, especialmente, desenvolver, implantar e executar mapas estratégicos de modo a alinhar a estratégia da empresa às suas capacidades tecnológicas (PHAAL *et al.*, 2001, 2004).

Os *technology roadmaps* são uma ferramenta de apoio que fornece a uma organização encarregada do desenvolvimento de um produto ou processo, fornecendo o método para ligar sua estratégia às ações futuras e incorporar explicitamente um plano para que a infra-estrutura, as competências e as tecnologias necessárias estejam disponíveis no momento adequado.

Desse modo, é um método impulsionado pelo mercado (*market pull*), isto é, pelas inovações tecnológicas necessárias para as empresas atenderem a mercados futuros, e não pela tecnologia em si mesma (*technology push*). O que se busca construir é uma visão de futuro (onde a organização pretende chegar) e quais são as tecnologias necessárias para se chegar até lá.

Existem muitas aplicações para os *roadmaps*, desde pesquisas científicas de ciência e tecnologia, previsão para políticas governamentais ou para determinado setor industrial, até estudos da evolução de produtos ou tecnologias. Algumas vezes o uso do *roadmapping* pode ser utilizado para comunicar consumidores e fornecedores.

Um importante aspecto do processo de planejamento estratégico consiste no acúmulo e partilha de informação em relação a clientes e fornecedores. A Motorola utiliza como estratégia de planejamento os chamados *collaborative roadmaps* reunidos em uma biblioteca. Estes *roadmaps* incluem necessidades de consumidores, informações de fornecedores, assim como inteligência competitiva, capturando todo o ambiente de negócio em torno das estratégias da corporação, aumentando o potencial para comunicação, análise de dados e formulação de decisões de negócio mais precisas (RICHEY & GRINNELL, 2004).

Organizações que usam *TRM* como um processo de planejamento estratégico se beneficiam pelas seguintes possibilidades (PHAAL *et al*., 2004, 2001; ALBRIGHT & KAPPEL, 2003; KAPPEL, 2001, MATTOS NETO, 2005 e SENAI/PR, 2007a):

- prover o desenvolvimento, comunicação e implantação das estratégias ao longo do tempo de maneira a integrar as áreas de mercado, produto e tecnologia. Essa integração consiste em nortear o desenvolvimento de novos produtos. Estes, por sua vez, orientam a seleção de tecnologias que precisarão ser desenvolvidas a partir de necessidades, desejos e problemas identificadas no mercado e nas prioridades do negócio, permitindo investimentos consistentes, ao longo do tempo.
- fortalecer e estruturar o processo de planejamento e monitoramento do ambiente tecnológico e de mercado, orientando e auxiliando o processo de tomada de decisão de desenvolvimento numa perspectiva de médio e longo prazo.
- promover visibilidade/transparência da lógica de planejamento ao explicitar as conexões entre mercado, produto e tecnologia por intermédio de um mapa estratégico.
- facilitar a visualização das deficiências (*gaps*) no processo de alinhando das metas de médio e longo prazo e nas atividades presentes na empresa.
- possibilitar a integração do *market pull* (puxado pelo mercado) com o *technology push* (empurrado pela tecnologia); ou seja, incluir tanto os produtos demandados pelo mercado quanto os ofertados pela capacidade tecnológica.
- auxiliar na definição das prioridades para o desenvolvimento e, por conseqüência, na tomada de decisões relativas a investimento. Isso se torna viável, pois o *roadmap* funciona como uma espécie de inventário de projetos de desenvolvimento de produtos e de suas respectivas tecnologias, ao longo do tempo, possibilitando atingir as metas de mercado e de negócio estabelecidas.
- Gerenciar dados, planos de produto e objetivos em alto nível.
- Capacitar descoberta de reuso da tecnologia e oportunidades de sinergismo.
- Revelar lacunas, desafios e incertezas em relação a produto, tecnologia e planos de capacitação.
- Revelar fraquezas de estratégia em longo prazo antes que se tornem críticas.

- Comunicar e prover visibilidade na direção de programa estratégico em torno da organização
- Habilitar crescimento de portfólio de produto em linha com demandas corporativas e de mercado.
- Prover direcionamento para projetar grupos de pessoas e capacitá-las a enxergar rapidamente mudanças em eventos ou direções estratégicas.

Para finalizar, observa-se ainda que a principal contribuição do método é o processo de construção do mapa (*roadmapping*), e não o documento final gerado (*roadmap*).

4.3 TIPOS E FORMATOS DE *ROADMAPS*

Os *roadmaps* podem ter várias formas, mas a aproximação mais comum é a apresentada na Figura 4.1. O *roadmap* genérico é uma representação gráfica baseada no tempo, compreendendo um número de camadas que tipicamente incluem perspectivas comerciais e tecnológicas (PHAAL *et al*, 2001). Para KAPPEL (2001), os *roadmaps* devem conter os parâmetros-chave mercado, produto e tecnologia ao longo do tempo para uma parte do negócio.

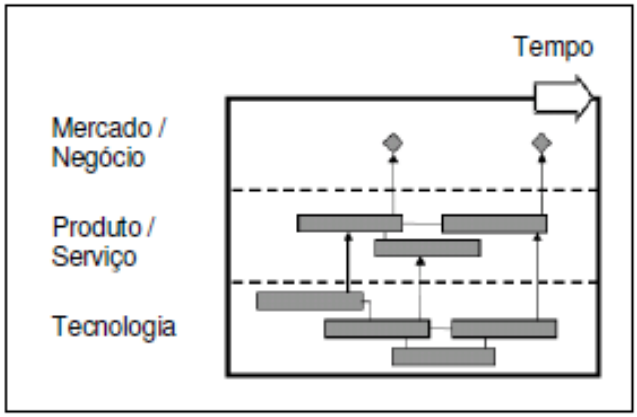


Figura 4.1 - Esquema do *Technology roadmap* mostrando como a tecnologia pode ser alinhada a desenvolvimento de produto e serviço, estratégia de negócios e oportunidades de mercado

Fonte: Phaal *et al* (2001 *apud* LOUREIRO, 2010)

Estudos de Kappel (2001) e Garcia & Bray (1997) sugerem que o *roadmap* pode ser representado em dois níveis: industrial ou corporativo. Algumas organizações fazem o *technology roadmapping* internamente, como um aspecto de seu planejamento tecnológico (*technology roadmapping* corporativo). Entretanto, a nível industrial, o *technology roadmapping* envolve múltiplas organizações, sejam individualizadas ou em consórcio (*technology roadmapping* industrial).

Uma característica marcante dos *roadmaps* está na sua apresentação concisa. A sua natureza visual tem ajudado especialmente na discussão estruturada e construtiva de processos de prospecção tecnológica. Para melhor compreender as variedades de *roadmaps* encontrados na literatura, alguns autores adotaram critérios de classificação quanto aos seus tipos e formatos.

Garcia & Bray (2007) classificam os *roadmaps* em três tipos: (i) *roadmap* de produto, que é dirigido pelas necessidades de produto e/ou processo; (ii) *roadmap* orientado para uma determinada tecnologia, que foca a previsão de desenvolvimento e comercialização de uma nova ou emergente tecnologia, a posição competitiva da empresa com relação à tecnologia e como esta tecnologia emergente e a posição competitiva da empresa irão se desenvolver; e (iii) *roadmap* orientado a um determinado assunto, que objetiva identificar problemas e suas conseqüências para o planejamento estratégico e orçamento.

Albright & Kappel (2003) apontam que, quanto ao formato, os *roadmaps* devem possuir quatro áreas: mercado, produto, tecnologia e plano de ação.

Phaal *et al* (2004) examinaram um conjunto de aproximadamente quarenta *technology roadmaps* e então os agruparam em dezesseis grandes áreas representados na Figura 4.2. Destas dezesseis grandes áreas, oito são relativas aos propósitos (tipos) e oito são relativas aos formatos dos *roadmaps*.

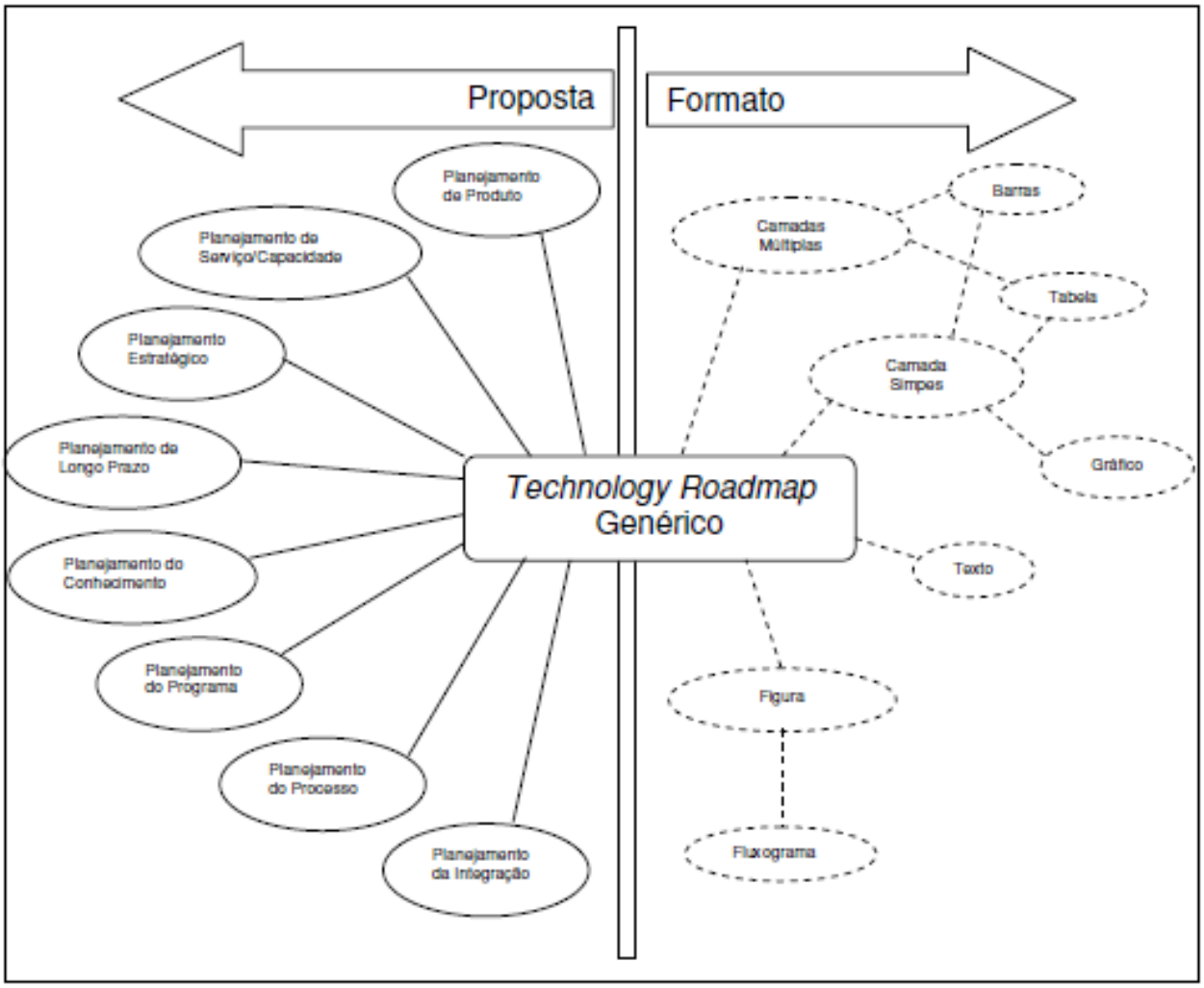


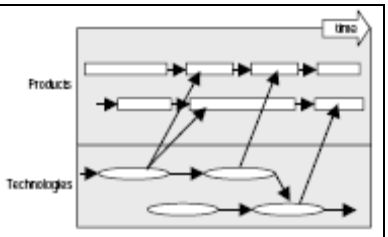
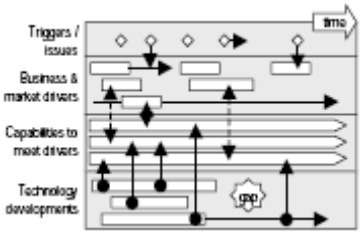
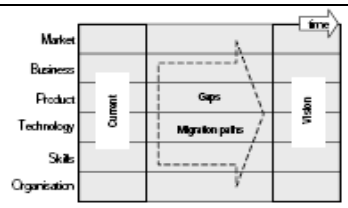
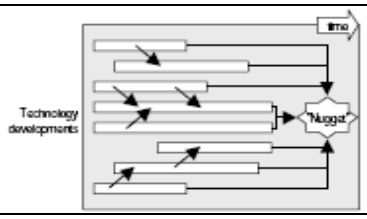
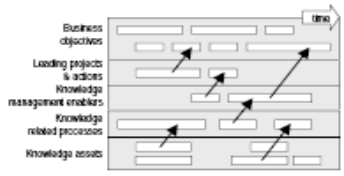
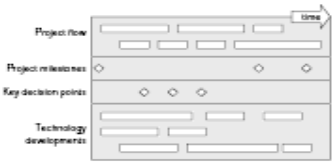
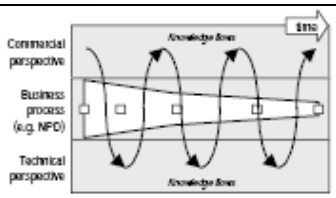
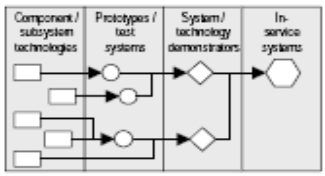
Figura 4.2 - Tipos de *technology roadmap* classificados em função do propósito e formato

Fonte: Phaal *et al* (2004 *apud* LOUREIRO, 2010)

Quanto aos propósitos, os *roadmaps* são classificados em planejamento de produto, serviço/capacidade, estratégia, longo prazo, conhecimento, programa, processo e integração. Estas variações de *technology roadmappings* em termos de propósitos encontram-se descritas na Tabela 4.1.

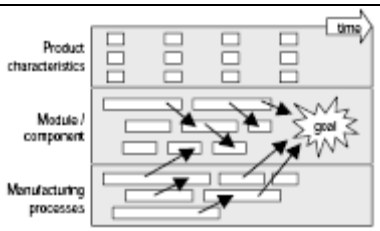
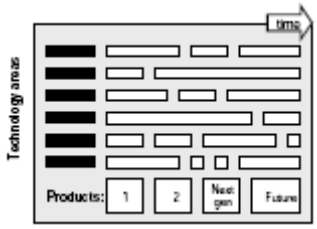
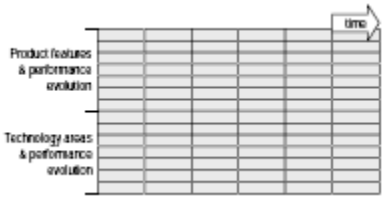
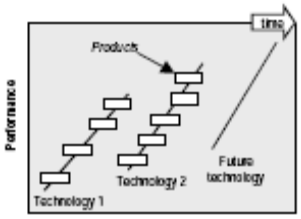
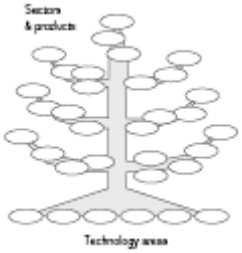
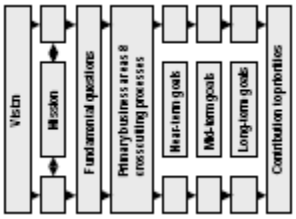
Quanto aos formatos, os *roadmap*s são classificados em múltiplos níveis, barras, tabelas, gráficos, figuras, fluxogramas, único nível e texto. Estes formatos gráficos de *roadmaps* encontram-se definidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Oito tipos de *roadmaps* classificados de acordo com os propósitos

1. Planejamento de Produto: Este é o tipo mais comum de *technology roadmap*. Ele está relacionado com a inserção de uma tecnologia em produtos manufaturados, freqüentemente envolvendo mais de uma geração de produto e/ou famílias de produtos.	
2. Planejamento de Serviço/Capacidade: Este tipo é similar ao primeiro, porém mais apropriado para empresas de serviço. Ele está relacionado à inserção de uma tecnologia nas capacidades da organização.	
3. Planejamento Estratégico: Utilizado tipicamente no nível corporativo para suportar a avaliação de mudanças de direcionadores de negócio que resultem em diferentes oportunidades e ameaças a nível estratégico.	
4. Planejamento de Longo Prazo: Utilizado para o planejamento de longo prazo, normalmente para setores e/ou para uma nação. Muito empregado pelos governos americano, canadense, japonês e alemão.	
5. Planejamento do Conhecimento: Direcionado para o alinhamento de ativos de conhecimento e da integração da gestão de conhecimento com os objetivos do negócio.	
6. Planejamento do Programa: Visa suportar a implementação e o gerenciamento do programa estratégico de P&D. Este tipo está mais relacionado com o planejamento de projeto.	
7. Planejamento do Processo: Esta recente variação de *roadmap* suporta a gestão de conhecimento focado em um processo específico como a gestão de desenvolvimento de um novo produto.	
8. Planejamento da Integração: Direcionado para a integração e/ou evolução de tecnologias e em como diferentes tecnologias podem ser combinadas formando uma nova tecnologia.	

Fonte: Phaal *et al* (2004)

Tabela 4.2 - Oito tipos de *roadmaps* classificados de acordo com os formatos

1. Múltiplos Níveis: É o formato mais comum que compreende vários níveis (*layers*) como tecnologia, produto e mercado. A evolução de cada nível pode ser explorada, juntamente com a conexão entre os sub-níveis facilitando a integração.	
2. Barras: Vários mapas são expressos na forma de barras, tanto para o nível quanto para o sub-nível. Este formato tem a vantagem de ser simples e de condensar as saídas do mapa facilitando a comunicação, a integração do mapa e o desenvolvimento de um software de suporte à geração do *roadmap*.	
3. Tabelas: Em alguns casos, todo o mapa ou as camadas utilizam-se de tabelas, geralmente expressando o desempenho quantitativo do produto ou da tecnologia em função do tempo.	
4. Gráficos: É utilizado quando o desempenho do produto ou da tecnologia pode ser quantificado e expresso em um gráfico para cada sub-nível. Este tipo de gráfico normalmente é chamado de curva de experiência e está intimamente relacionado com as curvas "S".	
5. Figuras: Alguns *roadmaps* adotam formas criativas para representar e comunicar a integração, utilizando figuras (como árvores para representar a evolução de produtos e tecnologias).	
6. Fluxogramas: É um tipo específico de figura em forma de fluxo, representando objetivos, ações e saídas.	
7. Único Nível: Este formato é uma variação do tipo múltiplos níveis, onde se utiliza de uma única camada. A desvantagem deste formato é que não mostra a conexão entre os níveis.	
8. Texto: Alguns mapas são totalmente, ou em grande parte, baseados em texto e relatórios de apoio, descrevendo a mesma questão abordada nos formatos gráficos.	

Fonte: Phaal *et al* (2004)

KAPPEL (2001) sugere ainda uma taxonomia para o documento gerado pelo método *technolgy roadmapping*, na qual, no eixo horizontal, está representando a proposta do *roadmap* para os níveis industrial ou corporativo e, no eixo vertical, a ênfase da aplicação conforme ilustrado na Figura 4.3.

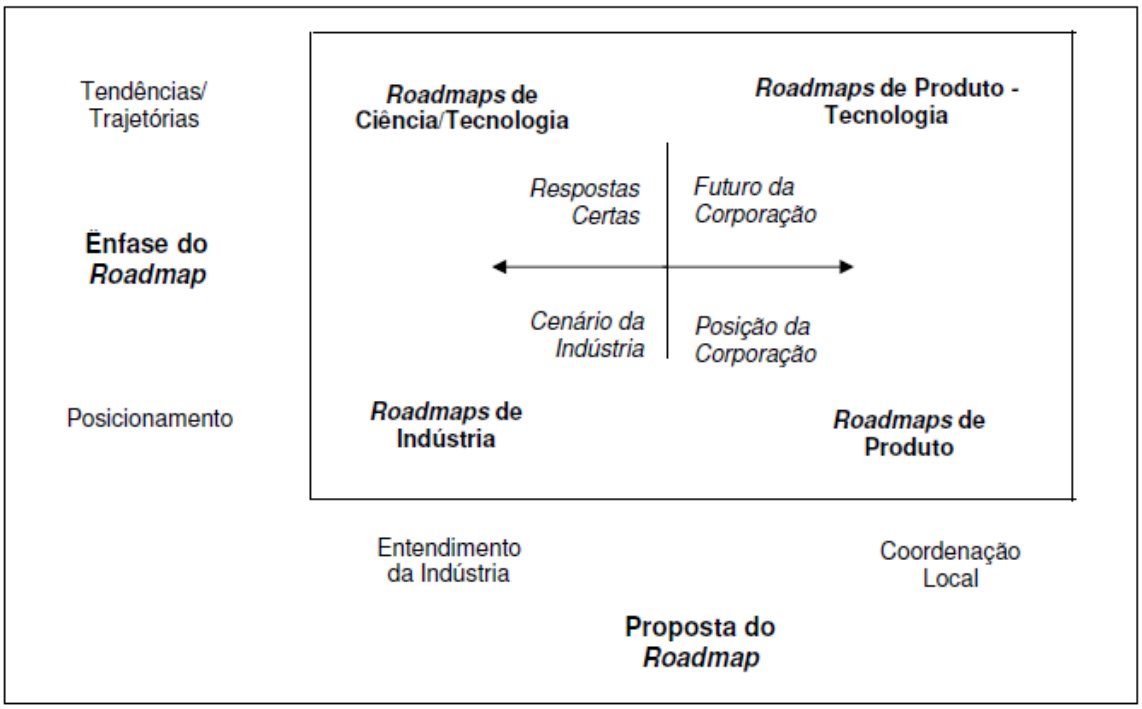


Figura 4.3 - Taxonomia do *roadmap* baseada em sua proposta e ênfase

Fonte: KAPPEL (2001 *apud* LOUREIRO, 2010)

A taxonomia possui quatro grandes áreas de aplicação do *TRM*:

(i) de ciência/tecnologia: visam compreender melhor o futuro, identificando tendências, gerando previsões e definindo metas de desenvolvimento para o setor;

(ii) de indústria: objetivam estabelecer as expectativas de desenvolvimento da tecnologia em termos de custo e desempenho para a competitividade de um setor;

(iii) de produto-tecnologia: buscam alinhar as decisões de desenvolvimento de produto com as tendências de mercado e de tecnologia de uma empresa; e

(iv) de produto: objetivam articular a direção e o cronograma de evolução de um produto e/ou famílias de produtos de uma empresa.

4.4 ESTRUTURA DOS *ROADMAPS*

A arquitetura generalizada de *roadmap*, dividida em quatro partes que respondem as questões e as ações requeridas, é ilustrada na Figura 4.4.

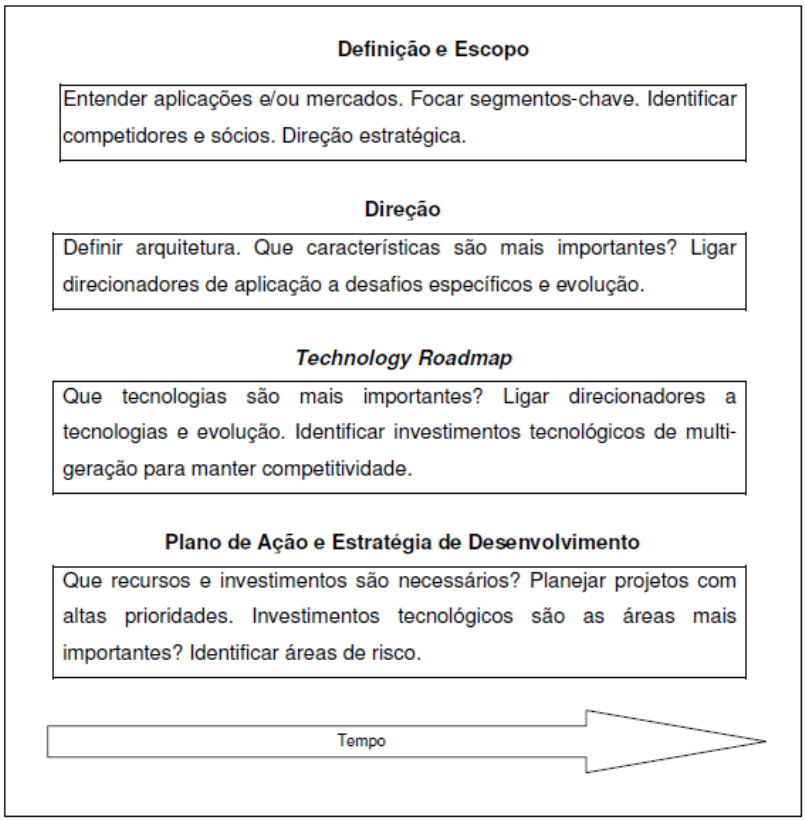


Figura 4.4 - Estrutura de *roadmap* unificando suas quatro partes
Fonte: Albright (2007 *apud* LOUREIRO, 2010)

A primeira parte, referente a definição e escopo, define o domínio do *roadmap*, o conjunto de objetivos, e sua estratégia para alcançar aqueles objetivos. A definição e a estratégia do *roadmap* geralmente incluem avaliações de mercado e competitividade assim como aplicações planejadas.

A segunda parte define a direção ou os planos do *roadmap*. A direção inclui desafios, a arquitetura, a evolução da solução e desempenho medido para alcançar o objetivo.

A terceira parte descreve a evolução de tecnologias que serão usadas para alcançar aquele objetivo. O *roadmap* define as tecnologias que serão usadas para implementar cada parte da arquitetura. A quarta parte define o plano de ação e os riscos. O plano de ação identifica ações chave de desenvolvimento, recursos requeridos, riscos e estratégia de investimento tecnológico. Todas as partes são dispostas sobre o horizonte temporal.

Ainda com relação à estrutura do mapa, Phaal *et al* (2004) propuseram que a sua construção pode seguir duas rotas: uma utilizando a abordagem *market pull* e a outra, *technology push* (Figura 4.5).

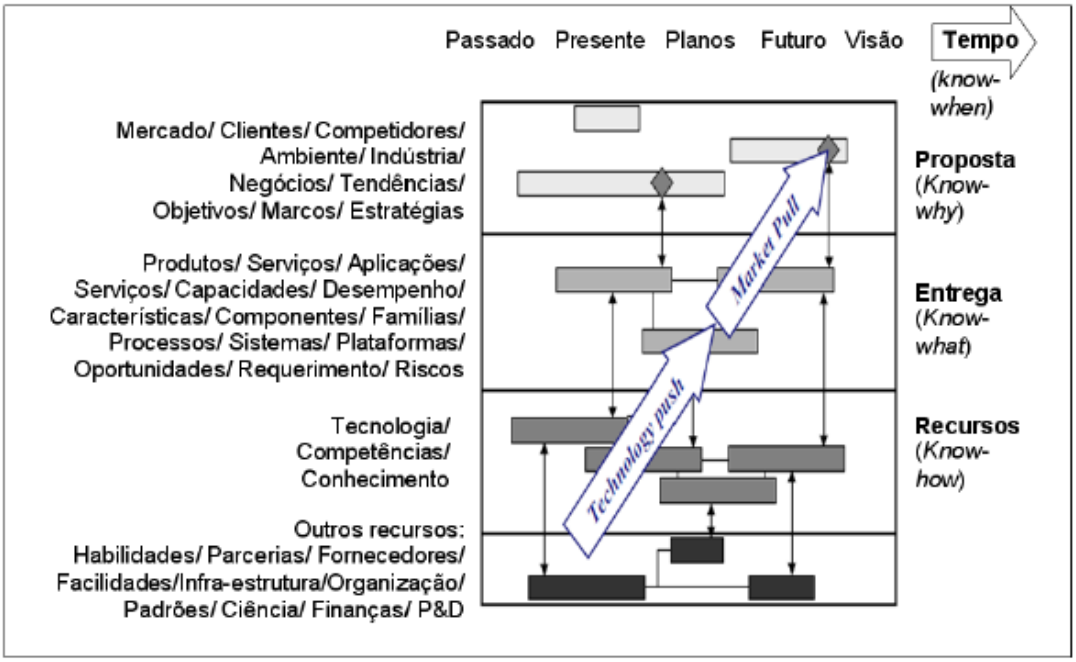


Figura 4.5 - Arquitetura de *technology roadmap* generalizado utilizando as abordagens *market pull* e *technology push*

Fonte: Phaal *et al* (2004 *apud* LOUREIRO, 2010)

Na Figura 4.5, observa-se que a seta representativa da abordagem *market pull* está posicionada na parte superior do gráfico, iniciando no domínio do parâmetro Produtos/Serviços em direção ao domínio do parâmetro Mercado/ Clientes/ Competidores, enquanto que a seta que representa abordagem *technology push* parte do domínio do parâmetro Tecnologia para o parâmetro Produtos/Serviços.

4.5 PROCESSOS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING*

4.5.1 **Aplicação segundo Phaal *et al* (2001, 2004)**

O T-Plan, procedimento de aplicação do *technology roadmapping*, desenvolvido por Phaal *et al* (2001, 2004), consiste em um guia prático para uma aplicação rápida (*fast start*) do método. Objetiva auxiliar no principal desafio enfrentado pelas organizações: a geração do primeiro *roadmap*. Nesse sentido, o guia está focado na aplicação padrão do método para grandes indústrias.

A Figura 4.6 ilustra as etapas do processo, que compreende quatro workshops – os três primeiros focando nas três primeiras camadas do *roadmap* (mercado/negócios, produto/serviço e tecnologia) – e o workshop final juntando as camadas em função da variável tempo para a construção de um gráfico.

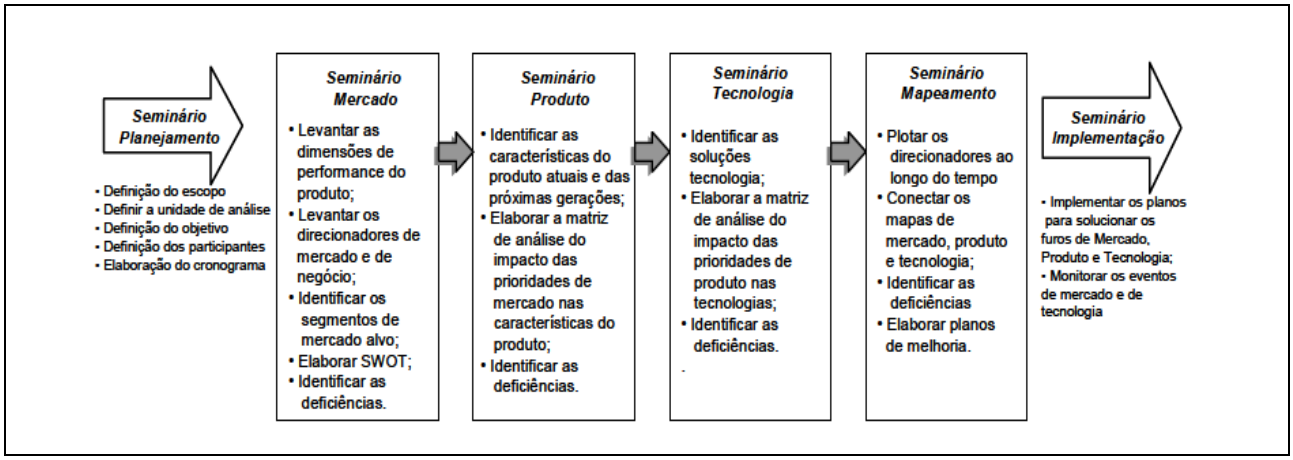


Figura 4.6 - Etapas para o desenvolvimento do *roadmapping* segundo Phaal *et al* (2001, 2004)

Fonte: Mattos Neto (2005).

4.5.2 **Aplicação segundo Albright & Kappel (2003)**

Os autores descrevem um procedimento de aplicação do *technology roadmapping* no qual o processo deve ser organizado em quatro seminários: mercado, produto, tecnologia e geração do plano de ação e análise de risco. A Figura 4.7 apresenta uma visão geral do processo.

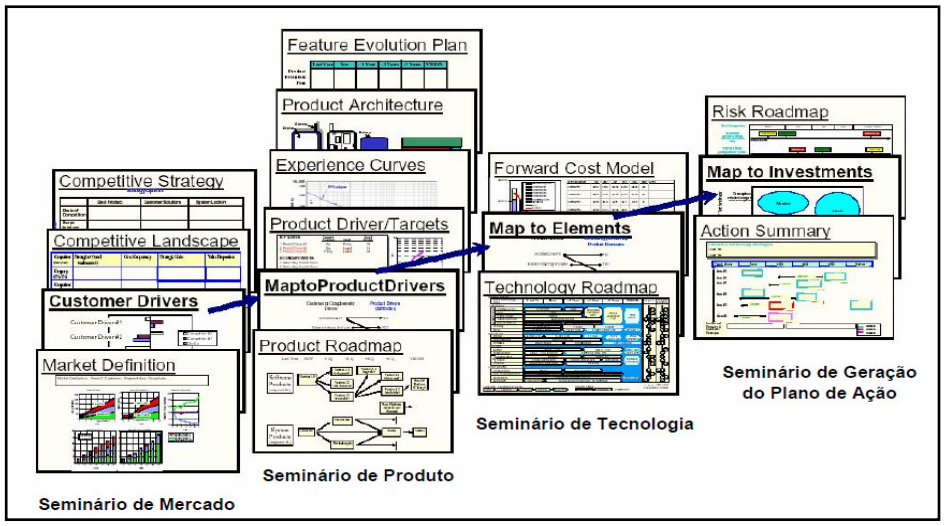


Figura 4.7 - Etapas para o desenvolvimento do *roadmapping*

Fonte: Mattos Neto (2005)

O seminário de mercado define os segmentos de mercado que a organização deseja atingir, em termos de tamanho, crescimento, necessidades dos consumidores e tendências. O ambiente competitivo é detalhado, apresentando análises dos principais concorrentes, estratégias competitivas, participação nos segmentos-alvo, forças e fraquezas.

No seminário de produto, as características avaliadas pelos consumidores no momento da compra são traduzidas em termos de características técnicas dos produtos de forma mensurável. O seminário de tecnologia pode ser considerado o elemento principal do *technology roadmapping*, pois nele está condensando uma grande quantidade de informações. O último seminário desta seção sumariza os resultados e elabora um plano de ação e um mapa com os riscos que devem ser monitorados.

O *roadmap* gerado deve explicitar as ligações existentes entre as questões prioritárias para os consumidores e as áreas tecnológicas chaves para guiar o progresso dos produtos – e da própria organização – nessas questões.

4.5.3 Aplicação segundo Garcia & Bray (1997)

Garcia & Bray (1997) desenvolveram um processo de *technology roadmapping* com três fases distintas: atividades preliminares, desenvolvimento do *roadmapping* e atividades de continuidade, conforme mostrado na Tabela 4.3.

Na primeira fase, os responsáveis pela tomada de decisões-chave devem perceber o problema que esta ferramenta pode ajudá-los a resolver. A fase de desenvolvimento envolve sete passos que são similares para os níveis corporativo e industrial. Na última fase ocorre a crítica, validação e aprovação do *roadmap* delineado.

Tabela 4.3 - Fases do processo de aplicação do *technology roadmapping* segundo Garcia & Bray (1997)

Fase I	**Atividade Preliminar (*Preliminary Activity*)** 1. Satisfação das condições essenciais 2. Fornecimento de liderança 3. Definição do escopo e vizinhanças para o *technology roadmapping*
Fase II	**Desenvolvimento do *roadmap* (*Development of the technology roadmap*)** 1. Identificação do "produto" que será foco do *roadmapping* 2. Identificação dos requerimentos críticos do sistema e seus alvos 3. Especificação das áreas tecnológicas majoritárias 4. Especificação das direções tecnológicas e seus alvos 5. Identificação das alternativas tecnológicas e suas linhas do tempo 6. Recomendação de alternativas tecnológicas que podem ser persuadidas 7. Criação do relatório de *tecnology roadmapping*
Fase III	**Atividade de continuidade (*Follow-up Activity*)** 1. Critica e validação do *roadmap* 2. Desenvolvimento do plano de implementação 3. Revisão e atualização

Fonte: Loureiro (2010)

4.6 PROCESSO DE ADAPTAÇÃO DO MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING*

Apesar de se mostrar um método simples e bastante flexível, na maioria dos casos, é necessário ser adaptado para atender às particularidades de cada organização, o que representa um desafio significativo para a sua implantação. (GROENVELD,1997; PHAAL et al., 2001, 2004). Segundo Phaal *et al*, (2001, 2004), os principais elementos de adaptação são:

(1) o horizonte de planejamento, corresponde ao eixo horizontal do mapa e seus marcos chaves. A análise temporal para construção do mapa pode ser retrospectiva – da visão vislumbrada para o presente - ou prospectiva – do presente para o futuro.

(2) a estrutura do mapa, relativa ao eixo vertical, composto pelas camadas e sub-camadas do planejamento. A estrutura deve permitir comunicar de forma organizada e clara o conhecimento e as principais decisões.

(3) o processo de construção do *roadmap*, que envolve as atividades necessárias para gerar o conteúdo dos mapas, tomar as decisões e definir as ações. A definição das etapas e o seqüenciamento dessas devem ser feitos em paralelo, possibilitando o atendimento aos objetivos e a continuidade do processo.

4.7 USOS DOS *ROADMAPS*

As aplicações dos *roadmaps* incluem desde pesquisas científicas de ciência e tecnologia, previsão para políticas governamentais ou para determinado setor industrial, até estudos da evolução de produtos ou tecnologias. A literatura técnica apresenta exemplos de sucesso de desenvolvimento e aplicação de *roadmaps* em diversas áreas da ciência, tecnologia e indústria.

Embora o planejamento no âmbito organizacional seja a principal forma do método explorada, as possibilidades de aplicação do TRM não são restritas a um único negócio. É possível utilizar a estrutura de trabalho para visualizar o futuro de setores industriais como um todo (tendências) ou até mesmo as expectativas de evolução tecnológica em uma perspectiva organizacional (KAPPEL, 2001; PHAAL *et al*, 2004).

A utilização do TRM como ferramenta de prospecção tecnológica tende a se expandir, tendo em vista o crescimento recente de publicações e a vantagem que a execução deste método permite também empregar outras ferramentas rotineiramente usadas, conforme ilustrado na Figura 4.8.

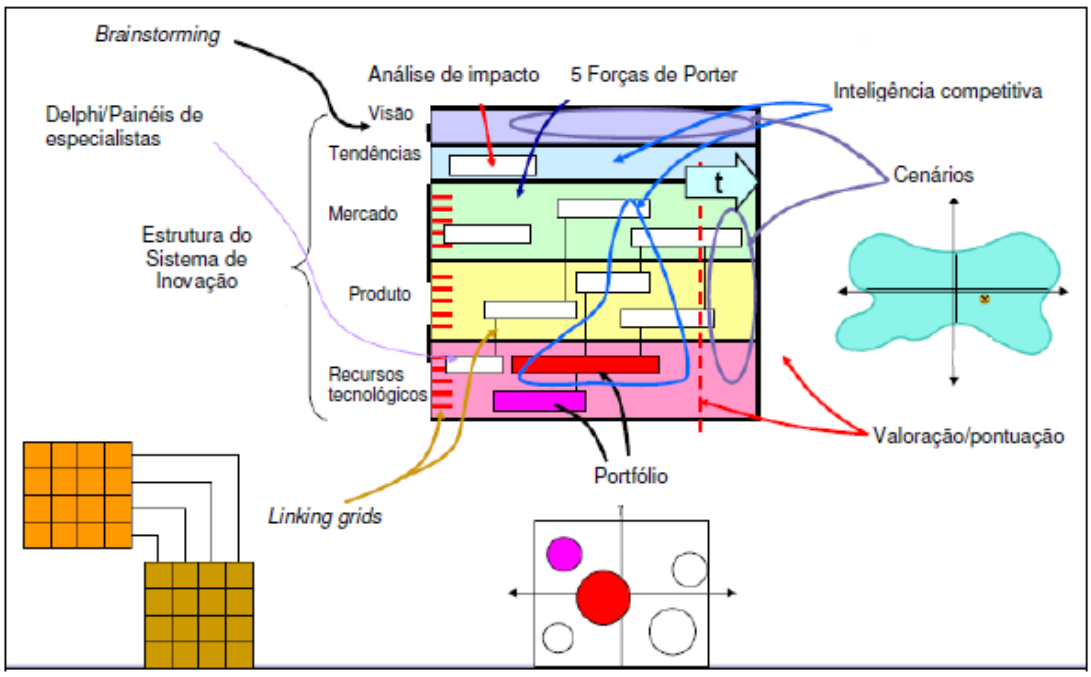


Figura 4.8 - *Roadmap* pode ser resultado de associação com outras ferramentas de prospecção tecnológica

Fonte: Park *et al* (2007 *apud* LOUREIRO, 2010).

O *roadmap* exemplificado contém taxonomia utilizada em estrutura de sistema de inovação, com camadas referentes a visão, tendências/*drivers*, mercado, produto e recursos tecnológicos. Nota-se que o *TRM* pode envolver o uso de: Delphi/painéis de especialistas, brainstorming, análise de impacto, as cinco forças de Porter, inteligência competitiva, cenários e portfólio. Por exemplo, os cenários podem ser empregados para definir as camadas de visão, mercado, produto e tecnologia. Para a elaboração da visão pode ser também utilizado o brainstorming.

4.7.1 **Exemplos de aplicação do *technology roadmapping***

No início, o TRM era utilizado apenas por empresas, com enfoque tecnológico e forte componente confidencial. Com a divulgação de seus usos, os *roadmaps* foram se diversificando (LOUREIRO, 2010). Com base nos estudos de Phaal (2008), referentes a 1.300 *roadmaps* de domínio público em língua inglesa disponibilizados na internet e cobrindo os mais variados campos da ciência, tecnologia e indústria, Loureiro (2010) realizou uma contagem dos *roadmaps* em cada uma dessas grandes áreas.

Phaal (2011) atualizou sua pesquisa identificando mais de 2.000 roadmaps de domínio público. A partir desta lista foi realizada nova contagem, conforme mostrada na Tabela 4.4.

A Tabela 4.4 revela que a área que concentra o maior número de *roadmaps* é Software, Computação e Tecnologia da Informação e Comunicação com cerca de 21,9%, em segundo lugar aparecem as áreas de energia e ciência com 13,8%. Comparando com os resultados de Phaal (2008), consolidados por Loureiro (2010), nota-se que a área de Tecnologia da Informação e Comunicação manteve-se em primeiro lugar com o maior número de *roadmaps*, mas houve um aumento do uso do TRM em áreas como energia e ciência, áreas consideradas estratégicas para as nações e empresas ao redor do mundo.

Considerando que a presente tese aborda o tema relacionado a energia renováveis, foi feito um levantamento das características dos 94 *roadmaps* classificados por Phaal (2011) como sistemas de energias sustentáveis, onde foram extraídas as seguintes informações:

Tabela 4.4 - *Roadmaps* de domínio público selecionados por Phaal (2011): número e porcentagem por grande área

Área	Número de Roadmaps	Percentual (%)
Software, Computação e Tecnologia da Informação e Comunicação	385	21,9
Energia	242	13,8
Sistemas de energia sustentáveis	94	
Hidrogênio e células de combustível	36	
Eletricidade	27	
Combustíveis fósseis	25	
Nuclear	23	
Outros de energia	37	
Ciência	242	13,8
Ciências da vida e agricultura	92	
Ciência do Espaço	53	
Ciências da Terra	35	
Astronomia	28	
Física	26	
Outros de ciência	8	
Política, Governo e Comunidade	233	13,2
Indústria, Negócios e outros Organizacionais	196	11,1
Transporte	103	5,9
Automotivo	55	
Aviação	25	
Outros de transporte	23	
Eletrônicos	94	5,3
Materiais	62	3,5
Defesa	61	3,5
Manufatura	51	2,9
Construção	45	2,6
Nanotecnologia	23	1,3
Química	22	1,3
TOTAL	**1759**	**100%**

Fonte: Elaboração própria a partir de Phaal (2011)

- a maior parte dos *roadmaps* foram realizados por uma ou mais organizações dos Estados Unidos, sendo este o país que mais aplica a ferramenta do TRM em estudos de prospecção tecnológica conforme mostrado na Figura 4.9. Em segundo lugar, encontram-se os países da União Européia (UE), destacando que em alguns casos há a participação conjunta de países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

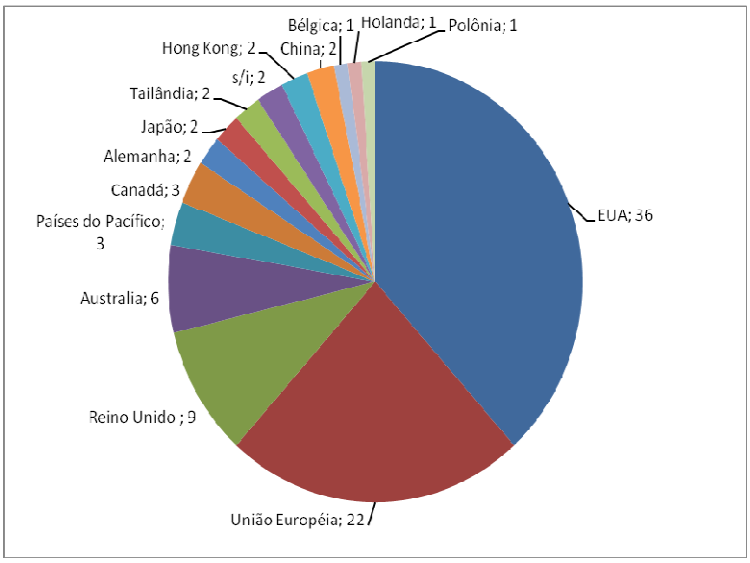


Figura 4.9 - Número de *roadmaps* referentes a energias sustentáveis

Fonte: Elaboração própria a partir de Phaal (2011)

- Vários tipos de organizações realizam ou encomendam estudos de *roadmap*, onde se destacam empresas, universidades, centros de pesquisas, institutos, fundações, associações de indústrias, departamentos de governo, ministérios. Entre as organizações ressalta-se a participação do *USDOE* e *International Energy Agency* (IEA).

- Verifica-se que, apesar dos *roadmaps* existirem desde a década de 70, os documentos analisados possuem data de publicação a partir de 1999; logo, o *TRM* pode ser considerado uma ferramenta que possui utilização relativamente recente.

- A grande maioria destes *roadmaps* adota o formato de texto, porém alguns contêm, além do texto, representações em forma de barras, camadas simples e múltiplas, tabelas, fluxograma e/ou gráficos.

- Cerca de 32% dos *roadmaps* identificados fazem previsões para o ano de 2020, utilizando como período de longo prazo um intervalo de 15 a 20 anos. No entanto, 15 documentos apresentam metas até 2050, o que evidencia a importância mundial conferida às energias sustentáveis nas análises energéticas de países, instituições, empresas e universidades.

- Observa-se que os *roadmaps* abordam diversos tipos de energias sustentáveis, conforme apresentado na Tabela 4.5, com destaque para a energia solar, com ênfase

na fotovoltaica; mix de energias renováveis (compreendendo energias solar, maremotriz, das ondas, hidroelétrica, geotérmica, biomassa, eólica, células de combustível, hidrogênio, etc) e biomassa com 30, 27 e 19 *roadmaps* respectivamente.

Tabela 4.5 - *Roadmaps* por tipos de sistemas de energias sustentáveis

Tipo de Energia	**Número de *roadmaps***
solar - enfase em fotovoltaica	30
mix de energias renováveis	27
biomassa (biogás,biocombustíveis)	19
eólica	5
marinha (onda, maré)	4
células de combustível	1
geotérmica	1

Fonte: Elaboração própria a partir de Phaal (2011)

- Alguns *roadmaps* encontrados não apenas fazem previsões, como também definem barreiras de natureza tecnológica que precisam ser vencidas. Há, em alguns casos, propostas de ações para fomentar e estimular o setor de estudo, identificando os responsáveis por tais ações e estabelecendo um horizonte de tempo para a tomada das mesmas. Cabe destacar ainda que determinados *roadmaps* apresentam ainda proposta de políticas governamentais para o setor objeto de estudo, de modo a apoiar as ações da indústria, atuando como um roteiro para guiar os mecanismo de desenvolvimento sustentável.

- Alguns documentos levam a denominação de *roadmaps* mesmo não contendo previsões estruturadas de metas desejadas ao longo de um horizonte de tempo previamente determinado, contrariando Kappel (2001), pesquisador que enfatizou que o *roadmap* deve conter a revelação explícita do domínio de tempo para cada elemento apresentado.

- A grande maioria dos *roadmaps* encontrados podem ser classificados como *roadmaps* de ciência/tecnologia, de acordo com Kappel (2001), uma vez que procuram identificar tendências, gerar previsões e definir metas para o desenvolvimento do setor estudado.

Adicionalmente, foi observado que nas demais grandes áreas classificadas em Phaal (2011) existem *roadmaps* que também poderiam ser relacionados à área sistemas de energias sustentáveis, pois abordam assuntos que possuem interface. Alguns exemplos são encontrados nas demais classificações dos roadmaps de: Energia (Eletricidade, Hidrogênio & Células de Combustível, Outros de Energia; Ciência (Ciências da vida e agricultura, da Terra); Política, Governo e Comunidade; Indústria, Negócios e outros Organizacionais; Materiais; Construção; Nanotecnologia; e Química.

Assim, se estes forem considerados, o espaço amostral de *roadmaps* a serem analisados aumentaria consideravelmente, demandando uma maior esforço na pesquisa realizada.

4.8 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO *TRM* A ENERGIAS RENOVÁVEIS

4.8.1 **Nos EUA**

A disseminação da aplicação do método *TRM*, a nível setorial, com relação ao tema energias renováveis tem sido promovida principalmente pelo *USDOE*, que financiou uma série de *roadmaps* em diferentes indústrias. Os *technology roadmaps* participam atualmente das ações de planejamento do referido departamento. Em sua página elertônica são encontrados *roadmaps* de bioenergia e bioprodutos, células combustíveis, hidrogênio, alumínio, produtos químicos, vidro, metais fundidos, aço, materiais, combustíveis, petróleo, energia elétrica e eletroquímica e veículos, entre outros (US DOE, 2010). Aqueles relacionados a biomassa e bioenergia são abordados a seguir:

Technological Roadmap da Indústria de Produtos Florestais (AGENDA 2020 TECHNOLOGY ALLIANCE, AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION & USDOE, 2006)

Este *roadmap* propõe uma estrutura para reinventar e revigorar a indústria através de inovações tecnológicas nos processos, materiais e mercados. Tais inovações fomentam três ingredientes necessários para a criação de um futuro

saudável para indústria americana de produtos florestais: 1) assegurar a excelência operacional na produção de produtos existentes e novos; 2) desenvolver novos fluxos de valor para recursos provenientes da madeira; 3) assegurar um meio ambiente ecologicamente sustentável, abastecimento interno a preços acessíveis de matéria-prima de madeira e fibra.

O *roadmap* foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar à comunidade científica, e as suas organizações de financiamento, informações sobre os desafios técnicos e necessidades de pesquisa que são consideradas prioritárias pela indústria norte-americana de produtos florestais. O Quadro 4.1 apresenta as áreas foco para P&D abordadas no TRM dos produtos da Indústria dos Produtos Florestais.

Avanço de biorrefinaria florestais	Extrair valor antes da polpação Novo valor de Resíduos & licores da polpação
Produtividade florestal sustentável	Melhoramentos biotecnológicos e de árvores Melhorar a qualidade de madeira entregue Manejo Florestal Otimizar funções ecológicas das florestas manejadas
Tecnologias inovadoras de fabricação	Reduzir a energia na desidratação e secagem do papel Tecnologias de Última Geração para Polpação e Branqueamento Desenolver folhas usando menos energia e materia-prima Aumentar enchimentos sustentáveis e pigmentos custo-benefício Reduzir energia para Caustificação Reduzir energia para concentração do licor negro
Avanço na revolução de produtos da madeira	Custos de produção de madeira e produtos derivados de madeira Sistemas e Materiais de Construção derivados da madeira Sistemas de construção derivados da madeira integrados Conscientização e Entendimento de Impactos do Ciclo de Vida
Nova geração de fibra, recuperação e utilização	Sistemas de classificação para Papel Recuperado Sistemas inovadores para Papel Reciclado e papelão
Impacto positivo no meio ambiente	Criar usos benéficos para Resíduos Sólidos Eliminar odores detectáveis Reduzir as descargas de efluentes Reduzir o Consumo de Energia de Controle de Poluição do Ar Reduzir os custos energéticos e de Tratamento de Efluentes Biológicos

Quadro 4.1 - Áreas foco para P&D abordadas no *technology roadmap* dos produtos da Indústria dos Produtos Florestais nos EUA

Fonte: Adaptado de Agenda 2020 Technology Alliance, American Forest & Paper Association & Departamento de Energia dos EUA (2006)

Roadmap para bioenergia e bioprodutos nos EUA (BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE, 2007)

Este *roadmap* visa identificar medidas de pesquisa e política necessárias para converter os recursos de biomassa produzido no país em combustíveis, energia e produtos economicamente e de forma ambientalmente sustentável. Ele representa a avaliação coletiva do *Biomass Research and Development Technical Advisory Committee*, bem como de especialistas da indústria, academia e governo. O Quadro 4.2 mostra as informações abordadas no *roadmap* com as recomendações de pesquisas de acordo com as diferentes categorias.

Sistema de matéria-prima	Pesquisa em Ciência da Planta Colheita e Tratamento Gestão de Recurso e Desenvolvimento Sustentável Análise Econômica
Processamento & Conversão	Análise de processos encontrados na natureza Plataforma de petróleo, açúcar e proteínas Novas abordagens para separações Pré-processamento modular e descentralizado e Sistemas de Conversão Produção de Biodiesel Processos de conversão (Bioquímica e Termoquímica)
Infra-estrutura de Transporte, Armazenagem e Distribuição	Dutos Trem, barcas, e Auto-estrada Integração de Sistemas
Usos e mercados finais	-
Processos Transversais e Tecnologias	Demonstração e implementação de biorrefinaria Estudos de Transporte Sistemas modular e distribuídos Análise de sistemas integrados Desenvolvimento de Métricas Outros estudos analíticos

Quadro 4.2 - Estrutura dos tópicos abordados no *technology roadmap* para bioenergia e bioprodutos nos EUA

Fonte: Elaboração própria a partir de BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE (2007)

Além das recomendações de P&D para todos os estágios da tecnologia da biomassa, o *roadmap* discute medidas de política e os esforços relacionados com a

assistência com uma penetração de mercado dos biocombustíveis, bioprodutos e energia.

Technology Roadmap para produção de Hidrogênio – Caminhos para o futuro (FREEDOMCAR & FUEL PARTNERSHIP HYDROGEN PRODUCTION TECHNICAL TEAM, 2009)

Este *roadmap* foi construído para identificar os principais desafios e prioridades de P&D associada a diversas necessidades de tecnologias de produção de hidrogênio combustível. Para ajudar a garantir um fornecimento adequado de energia limpa para atender as necessidades globais, a eficiência energética é uma meta importante para essas tecnologias de produção.

O *roadmap* se concentra no desenvolvimento inicial das tecnologias, identifica obstáculos a serem evitados ou minimizados, e descreve as atividades necessárias para vencê-los. Este estudo, entre outras tecnologias, aborda o uso da biomassa ou do carvão para produção de hidrogênio por meio da gaseificação de tais matérias-primas.

Technology Roadmap de biocombustíveis de algas (USDOE, 2010)

Este *roadmap* foi um produto do Workshop Nacional *Technology Roadmap* de biocombustíveis de alga, organizado para discutir e identificar os desafios críticos que atualmente dificultam a produção econômica dos biocombustíveis de algas em escala comercial.

O documento tem como objetivo fornecer um estado global de tecnologia de síntese de combustíveis e coprodutos a partir de matérias-primas de algas e documentar a viabilidade e os desafios técnico-econômicos associados com intensificação de processos. O *roadmap* também procura explorar os impactos econômicos e ambientais da implantação de sistemas de produção de biomassa de algas em escala comercial.

Ressalta-se que nas metas tecnológicas traçadas neste roadmap houve uma preocupação com aspectos ligados a infra-estrutura, tais como distribuição e utilização, além daqueles relacionados a matéria-prima e conversão (USDOE, 2010).

4.8.2 **No Brasil**

Nos estudos de Phaal (2011), mostrados na Tabela 4.4, não foram encontrados *roadmaps* desenvolvidos no Brasil sobre o tema sistemas de energias sustentáveis em língua inglesa. No entato, algumas instituições brasileiras, como Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e o SENAI/PR dentre outras, estão desenvolvendo estudos em diversas áreas de atuação nacional com o intuito de subsidiar os tomadores de decisão por meio da identificação da dinâmica de inovação e competitividade para a indústria nacional. Para atingir a este objetivo, alguns fazem uso do TRM de modo a fornecer uma visão dos setores de curto, médio e longo prazo, ainda que muitas vezes não tenham recebido tal denominação. Cabe destacar que alguns destes *roadmaps* serão detalhados a seguir.

4.8.2.1 SENAI/PR

Um exemplo de iniciativa bem sucedida no Brasil é a série de *roadmaps* elaborados pelo SENAI/PR (SENAI/PRa,b 2007 e 2008) denominada “Rotas Estratégicas para o futuro da Indústria Paranaense”. Tal projeto foi criado pelo Sistema da Federação da Indústrias e Empresas do Paraná (FIEP) em 2006 para traçar mapas dos caminhos a serem percorridos em direção a um futuro industrial sustentável para cada um dos setores e áreas mais promissores para a indústria do Paraná no horizonte de 10 anos.

Os objetivos específicos do projeto são: (i) esboçar visões de futuro para cada um dos setores e áreas selecionados; (ii) elaborar uma agenda convergente de ações para concentrar esforços e investimentos; (iii) identificar tecnologias-chave para a indústria do Paraná; e (iv) elaborar mapas com as trajetórias possíveis e desejáveis para cada um dos setores/áreas estratégicos.

O projeto Rotas Estratégicas em sua primeira fase (período 2006 – 2007) abordou os setores/áreas: Indústria Agroalimentar; Produtos de Consumo; Biotecnologia Agrícola e Florestal; Biotecnologia Animal e Microtecnologia. Posteriormente, foi dada a continuidade em uma segunda fase (período 2007 – 2008),

sendo desenhados os setores/áreas: Energia; Papel e Celulose; Metal Mecânico; Plástico; Saúde; Turismo; e Meio Ambiente.

Todos os *roadmaps* do projeto foram executados segundo uma mesma metodologia de trabalho que consiste de quatro etapas:

• Etapa 1 - Estudos preparatórios: foram elaborados levantamentos da situação atual de cada um dos setores/áreas trabalhados e estudos sobre tendências tecnológicas que poderiam impactar os temas/setores objetos dos *roadmappings*.

• Etapa 2 – Organização: os trabalhos foram planejados utilizando a técnica "Painel de Especialistas" para cada tema selecionado.

• Etapa 3 – Condução: foram realizadas as seguintes atividades: brainstorming sobre a situação atual, visões de futuro desafios, identificação dos fatores críticos de sucesso, soluções e ações e agentes envolvidos

• Etapa 4 – Consolidação dos Resultados: esta etapa teve por objetivo a sistematização final de todos os materiais gerados durante o processo. Os *roadmaps* esboçados durante os encontros foram finalizados e validados pelos participantes e as informações consolidadas deram origem a relatórios técnicos.

Para cada visão foi gerado um *roadmap* contendo as ações propostas. Cada *roadmap* se apresenta em forma de camadas múltiplas, sendo que cada camada se refere a um fator crítico identificado, e o horizonte temporal foi dividido em três períodos (curto, médio e longo prazo). Para cada uma destas visões foram identificados desafios a serem vencidos, fatores críticos de sucesso e ações a serem implementadas em curto, médio e longo prazo, de forma a alcançar o futuro desejado para a indústria paranaense no setor analisado.

A seguir são apresentados os *roadmap*s referentes a Biotecnologia Agrícola e Florestal, Energia, Papel e celulose e Meio Ambiente por mostrar relação com fontes de energias renováveis que é objeto do presente trabalho.

Roadmapping da Biotecnologia Aplicada às Indústrias Agrícola e Florestal (SENAI/PRa, 2007)

O estudo sobre a Biotecnologia Aplicada às indústrias agrícola e florestal paranaenses e a experiência dos participantes dos Painéis de Especialistas

sustentaram o debate inicial que culminou na percepção compartilhada do grupo sobre o contexto atual do setor no Estado, quesito fundamental para entrar na etapa de elaboração de visões de futuro.

Foi elaborado e validado um conjunto de quatro visões complementares, mostradas na Tabela 4.6, que compõem um cenário desejado em que a indústria paranaense dos setores agrícola e florestal é empreendedora em Biotecnologia e se torna referência em pesquisa, desenvolvimento, tecnologia e inovação na área.

Tabela 4.6 - Visões das indústrias agrícola e florestal paranaenses empreendedoras em Biotecnologia

Visões	**Descrições**
Visão 1	Provedor de soluções em bioenergia
Visão 2	Referência em genética e melhoramento vegetal
Visão 3	Inovação em plantas com propriedades nutracêuticas
Visão 4	Referência em biotecnologia para fitossanitários

Fonte: SENAI/PRa (2007)

Roadmapping de Energia 2015 (SENAI/PRb, 2007)

De maneira análoga ao *roadmap* anterior, o painel de especialistas elaborou e validou um conjunto de cinco visões complementares, expostas na Tabela 4.7, que compõem o cenário desejado de um setor de Energia forte e inovador para suportar o crescimento sustentável da indústria paranaense.

Tabela 4.7 - Visões de um setor de Energia forte e inovador

Visões	**Descrições**
Visão 1	Referência em Planejamento Sistêmico de Assuntos Energéticos
Visão 2	Referência em Geração Distribuída de Energias Renováveis
Visão 3	Modelo de Eficiência Energética para Competitividade
Visão 4	Provedor de Soluções em Energia a partir de Biomassa
Visão 5	Energia e Logística Sustentáveis para o Transporte

Fonte: SENAI/PRb (2007)

Roadmapping de Meio Ambiente – horizonte de 2018 (SENAI/PRa, 2008)

Seguindo a mesma dinâmica dos *roadmaps* anteriores, o painel de especialistas elaborou e validou um conjunto de quatro visões complementares, apresentadas na

Tabela 4.8. que compõem o cenário desejado de uma indústria paranaense que respeita o Meio Ambiente e busca o desenvolvimento sustentável.

Tabela 4.8 - Visões de uma Indústria Paranaense Sustentável

Visões	**Descrições**
Visão 1	Gestão ambiental internalizada na cadeia industrial
Visão 2	Excelência em políticas públicas para o desenvolvimento sustentável da cadeia industrial e sociedade
Visão 3	Referência em educação na sustentabilidade
Visão 4	Modelo de interação governo-indústria-academia em prol do Meio Ambiente

Fonte: SENAI/PRa (2008)

Roadmapping de Papel e Celulose – horizonte de 2018 (SENAI/PRb, 2008)

A partir da mesma metodologia dos exemplos anteriores, o painel de especialistas elaborou e validou um conjunto de quatro visões complementares, exposta na Tabela 4.9, que compõem um cenário desejado onde a indústria paranaense do setor de Papel e Celulose se torna referência em pesquisa, inovação e tecnologia, tendo como norte, o desenvolvimento sustentável.

Tabela 4.9 - Visões da Indústria de Papel e Celulose Inovadora e Sustentável

Visões	**Descrições**
Visão 1	Indústria Sustentável de Papel e Celulose
Visão 2	Excelência em P&D&I em Fibras
Visão 3	Pólo de Competitividade em Embalagens
Visão 4	Biorefinaria para um Mercado Global

Fonte: SENAI/PRb (2008)

4.8.2.2 CGEE

Na publicação intitulada “Química Verde no Brasil: 2010-2030” do CGEE foi realizado um estudo de modo a estabelecer uma dinâmica de inovação e competitividade para a indústria brasileira baseada em processos químicos que usam matérias-primas renováveis dentro do contexto da Química Verde.

Foram analisadas as principais plataformas tecnológicas relacionadas a Química Verde, a saber: (i) Biorrefinarias – Rota bioquímica, (ii) Biorrefinarias – Rota termoquímica; (iii) Alcooquímica, (iv) Oleoquímica, (v) Sucroquímica, (vi) Conversão de

CO2, (vii) Fitoquímica, (viii) Bioprodutos, biocombustíveis e bioprocessos e (ix) energias renováveis.

Para a realização do estudo foram prospectadas informações a cerca do panorama mundial e nacional através de um levantamento realizado nas bases internacionais *Web of Science* e *Derwent Innovations Index* sobre a produção científica e as patentes relacionadas com este tema no período de 1998-2009 em diversos tópicos associados. Além destas informações foram utilizadas pesquisas bibliográficas sobre o estado da arte de modo a identificar os gargalos tecnológicos a serem vencidos.

Com resultado do trabalho, foram elaborados mapas tecnológicos (*technology roadmaps*) sobre as principais plataformas tecnológicas acima mencionadas no mundo e no Brasil, entre o intervalo de 2010-2030, divididos nos períodos de 2010-2015, 2016-2025 e 2026-2030. Para os temas de biorrefinarias bioquímica e termoquímica, os diferentes temas foram alocados ao longo do intervalo de tempo nos diferentes estágios que englobam pesquisa em bancada, fase piloto, fase demonstração, *scale-up*, inovação/implantação, produção/processo e comercialização.

4.8.2.3 Outros

Technology Roadmapping para o etanol (LEAL *et al*, 2010)

O trabalho elaborado parte da premissa que se o Brasil quiser manter a liderança na produção de etanol combustível deverá efetuar um planejamento nas ações de P&D em toda a cadeia produtiva cana-etanol, que vai ao encontro do objetivo de qualquer processo de *technology roadmapping*.

Assim, o *roadmap* proposto no estudo visa oferecer propostas de inovação abrangendo todo o ciclo da cadeia produtiva – produção agrícola, produção industrial, produtos (açúcar, álcool, energia e outros) e ambiente externo através de análises prospectivas. No estudo elaborado os quatro componentes que foram considerados são o melhoramento genético, manejo, hidrólise e termoconversão conforme indicado na Figura 4.10. A abordagem de tais componentes são explicados a seguir:

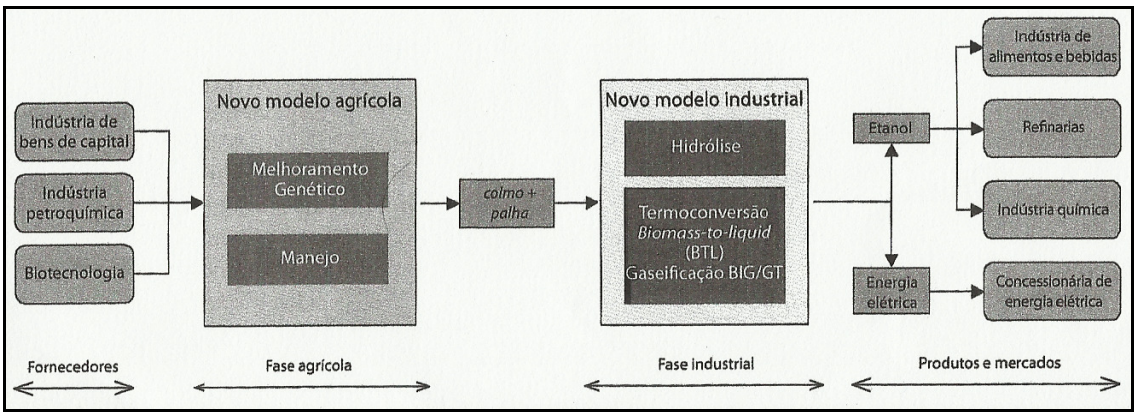


Figura 4.10 - Os quatro componentes do *technology roadmap*

Fonte: Leal *et al* (2010)

Melhoramento genético: incorpora as novas técnicas da biologia molecular e engenharia genética, áreas do conhecimento que estão em franco desenvolvimento para a geração de cultivares de cana-de-açúcar melhorada tecnologicamente com objetivo específico da produção de etanol (cana-energia) e energia elétrica, incorporando também requisitos como alta produtividade agrícola e resistência e tolerância às pragas e doenças e fatores adversos (seca, inundação, acidez do solo, etc).

Manejo: aborda o plantio direto, a recuperação da palha, a mecanização alternativa e o gerenciamento agrícola. Cabe observar que os três primeiros temas estão fortemente interligados por meio da palha, que representa cerca de um terço da biomassa contida na cana-de-açúcar que historicamente foi descartada, postura não mais aceita no cenário atual.

Hidrólise: é o processo de transformação de materiais lignocelulósicos para sua conversão em etanol

Termoconversão: envolve os temas da gaseificação e *BTL*.

Além disso, o trabalho também considera o ambiente externo, analisando os fatores econômicos, sociais, culturais, internacionais, demográficos, ambientais e políticos-legais que influenciam o desenvolvimento da cadeia produtiva.

Por fim, cabe destacar que todos os *roadmaps* elaborados apresentam como curto, médio e longo prazo os período de cinco, dez e vinte anos respectivamente, abrangendo o intervalo de tempo de 2010 a 2030.

Technology roadmap em matérias-primas renováveis (COUTINHO & BOMTEMPO, 2010)

A Braskem realizou, durante o ano de 2009, um processo de reflexão envolvendo não somente os seus departamentos internos mas a universidade e intituições de pesquisa. Um dos resultados foi a elaboração de um *technology roadmap* em matérias-primas renováveis (rMPR), conforme metodologia própria criada pelos autores. O *roadmap* não representa a estratégia da Braskem mas antes de tudo pretendeu ser um documento de partida para discussão, a ser submetido aos diversos grupos de interesse envolvidos no futuro da tecnologia e da inovação no Brasil.

O objetivo foi identificar os produtos e tecnologias relacionados às MPR que, nos horizontes de 5, 10 e 15 anos, poderiam vir a ser desenvolvidos. A identificação dos produtos e tecnologias partiu do documento elaborado pela universidade e foi complementada em discussões internas e em interação com o próprio grupo. As informações consolidades nesse processo foram passadas à área de Inovação Tecnológica Corporativa da Braskem, que construiu então a primeira versão do rMPR.

4.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O TRM faz parte das chamadas ferramentas de prospecção tecnológica que surgiram nos último anos, visando explorar a dinâmica das tecnologias emergentes nos segmentos industriais, em um horizonte de longo prazo e, especialmente, desenvolver, implantar e executar *roadmaps* estratégicos de modo a alinhar a estratégia da empresa às suas capacidades tecnológicas.

Os *technology roadmaps* têm sido desenvolvidos para vários tipos diferentes de público e especificidades, sendo caracterizados por prever o que é possível ou provável de acontecer e, também por planejar a articulação da ação. Assim, os *roadmaps* auxiliam no foco de processos de planejamento de uma corporação no futuro e fornecem informação consistente a cerca do portfólio para ajudar a tomada de decisão.

Este método busca auxiliar na estruturação do processo de planejamento de uma instituição, segmento industrial ou empresa, permitindo a visualização de lacunas no planejamento estratégico, através do alinhamento entre as metas futuras e as

atividades presentes na organização. Isto possibilita a identificação e priorização dos diferenciais competitivos sustentáveis e a alocação correta dos recursos tecnológicos e humanos da organização.

Os *roadmaps* podem apresentar várias formas, mas a aproximação mais comum é aquela chamada genérica que consiste em uma representação gráfica baseada no tempo, compreendendo um número de camadas que abordam parâmetros-chaves como mercado, produto e tecnologia ao longo do tempo para uma parte do negócio. Uma característica importante dos roadmaps é sua apresentação concisa que possibilita uma discussão estruturada e construtiva de processos de prospecção tecnológica.

Os processos de aplicação do *technology roadmapping* encontrados na literatura foram aqueles desenvolvidos por Phaal *et al* (2001, 2004), Albright & Kappel (2003) e Garcia & Bray (1997). Tais processos prevêm a utilização de outras ferramentas de prospecção tecnólogica como Brainstorming, Delphi/Painéis de especialistas, análise de cenário e dentre outras.

Existem muitas aplicações para os *roadmaps*, desde pesquisas científicas de Ciência e Tecnologia, previsão para políticas governamentais ou para determinado setor industrial, até estudos da evolução de produtos ou tecnologias.

A pesquisa bibliográfica efetuada mostra que esta ferramenta têm sido utilizada para estudos envolvendo sistemas de energias renováveis por países desenvolvidos, com destaque para os EUA e UE. O *TRM* se mostrou útil na organização de esforços e na orientação das pesquisas de P,D&I de modo a se atingir os objetivos desejados para cada exemplo abordado. No Brasil, o destaque foram os trabalhos realizados pelo SENAI/PR e o CGEE.

5 METODOLOGIAS

O objetivo deste capítulo é descrever os procedimentos metodológicos aplicados na presente tese, abordando desde a estratégia geral adotada na pesquisa em si até as metodologias empregadas nas diferentes etapas da mesma.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Conforme o critério utilizado por Gil (2007), que classifica as pesquisas como exploratórias, descritivas e explicativas, o presente trabalho é classificado, quanto aos seus objetivos, como uma pesquisa exploratória pois tem "como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.

Quanto à abordagem do problema, este estudo pode ser definido como uma pesquisa: (i) qualitativa porque consiste em analisar, comparar e interpretar dados disponíveis na literatura e (ii) quantitativa porque consiste no uso de recursos e técnicas estatísticas de modo a classificar e analisar os dados obtidos (SILVA & MENEZES, 2001).

De acordo com Gil (2007), os procedimentos técnicos utilizados no delineamento da pesquisa foram: Pesquisa bibliográfica e Pesquisa documental.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo com a classificação da pesquisa realizada na presente tese do ponto de vista de seus objetivos, da abordagem do problema e dos procedimentos técnicos utilizados.

Tabela 5.1 - Classificação da pesquisa realizada

Ponto de vista	Classificação
De seus objetivos	Pesquisa exploratória
Da abordagem do problema	Pesquisa qualitativa e quantitativa
Dos procedimentos técnicos utilizados	Pesquisa bibliográfica Pesquisa documental

Fonte: Elaboração própria com base em GIL (2007) e SILVA & MENEZES (2001)

5.2 ESTRATÉGIA GERAL DA TESE

A Figura 5.1 mostra esquematicamente a estratégia utilizada na pesquisa, desde a identificação do tema da pesquisa até a proposta de diretrizes para construção de uma agenda nacional de medidas a serem adotadas com relação a C,T&I de modo a estimular e fomentar o uso de novos produtos, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias associadas a lignina.

Cada uma destas etapas é brevemente relatada a seguir, sendo objeto de maior discussão ao longo dos diversos capítulos da presente tese:

Identificação do Tema da Pesquisa: estudar a utilização de resíduos agrícolas gerados na agroindústria brasileira como matéria-prima renovável para a Indústria Química como uma alternativa viável para a substituição das fontes esgotáveis.

Levantamento Bibliográfico: foi feito com base na pesquisa bibliográfica em livros, palestras, congressos, artigos científicos e diversos periódicos.

Estabelecimento dos objetivos: traçar um *roadmap*, identificando as tecnologias a serem adotadas no curto, médio e longo prazo no Brasil com relação à lignina, em especial quanto ao seu uso como matéria-prima para produção de produtos químicos, energia e biocombustíveis no contexto das biorrefinarias.

Estratégia traçada para elaborar *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA e Brasil: criação da estratégia para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA e Brasil (BR) que permita a comparação entre os *roadmaps*. Os EUA foram escolhidos como *benchmark* tendo em vista: (i) a existência de um documento elaborado pelo *USDOE* contendo informações que poderiam ser utilizadas no TRM para a elaboração do *roadmap*; e (ii) como visto no Capítulo 2 (item 2.6.1), os EUA geram uma grande quantidade de biomassa lignocelulósica sendo uma fonte potencial de lignina.

Pesquisa na base de documentos de patentes: realizada por meio da consulta *online* nos *sites* do INPI e *United States Patent Trademark Office* (*USPTO*), de modo a traçar um panorama com base nestas fontes de informação, bem como identificar os atores de origem nacional e o teor das pesquisas realizadas.

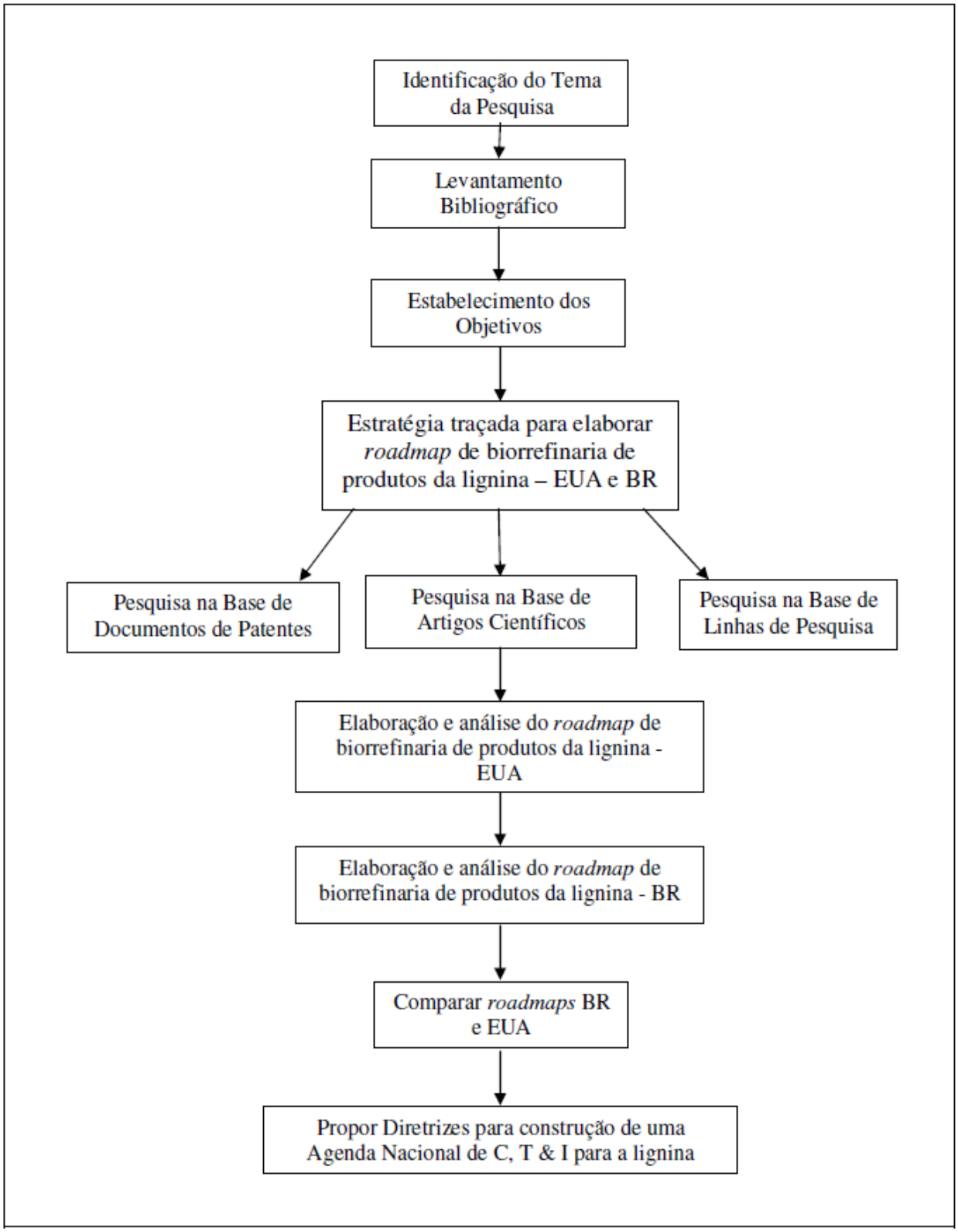


Figura 5.1 - Esquematização da estratégia da tese

Pesquisa na base de artigos científicos: a pesquisa documental foi realizada por meio da consulta *online* nos *sites* do *Science Direct* e *Web of Science*, de modo a traçar um panorama do mercado com base nestas fontes de informação tecnológica, bem como para identificar os atores de origem nacional e o teor das pesquisas realizadas.

Pesquisa na base de linhas de pesquisas: foi realizada por meio da consulta *online* no *site* do Portal Inovação, de modo a identificar os atores de origem nacional e o teor das pesquisas realizadas.

Elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina para EUA e Brasil: foi elaborado seguindo uma metodologia própria, a ser descrita neste capítulo (item 5.3.1), com base nos dados publicados no documento preparado pelo Departamento de Energia dos EUA. O *roadmap* do Brasil também foi elaborado seguindo uma metodologia própria, a ser descrita no item 5.3.2, com base na prospecção tecnológica de documentos de patente, artigos científicos e linhas de pesquisas desenvolvidas no Brasil. Os roadmaps dos EUA e Brasil foram analisados sob o enfoque das diferentes aplicações da lignina no curto, médio e longo prazo

Comparar *roadmaps* BR e EUA: efetuar a comparação entre as informações geradas nos dois *roadmaps*, procurando justificar as diferenças e semelhanças encontradas nos mesmos a luz dos diferentes cenários.

Propor Diretrizes para construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para a lignina: com base em todas as informações reveladas na presente tese, foi elaborado um documento propondo a adoção de medidas/ações a serem realizadas no Brasil para estimular e fomentar o uso desta importante fração.

5.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA

5.3.1 **Para os EUA**

As informações necessárias para elaborar o *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA foram retiradas do documento intitulado “Top Value-Added Chemicals from Biomass – Volume II – Results of Screening for Potential

Candidates from Biorrefinery Lignin" preparado pelo Departamento de Energia dos EUA em Outubro de 2007 (BOZELL *et al*, 2007).

Foi criada uma metodologia própria, inspirada no processo de *technology roadmapping* desenvolvido por Garcia & Bray (1997), que permitisse utilizar as informações e criar um *roadmap* de nível industrial e orientado pela informação tecnológica, com o propósito de planejamento de produto (produtos candidatos potenciais para biorrefinaria de lignina) e o formato de camadas múltiplas, em conformidade com os propósitos e formatos classificados por Phaal *et al* (2004) conforme ilustrado no Capítulo 4. A Tabela 5.2 mostra as fases e etapas do processo *technology roadmapping* adotado para a elaboração deste *roadmap.*

Tabela 5.2 - Fases e etapas do processo *technology roadmapping* adotado para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina para EUA

Fase I	**Atividade preliminar** a. Definir o problema a ser solucionado pela TRM b. Definir o objetivo do *roadmap* c. Definir os benefícios do uso do *roadmap* 1ª etapa – Satisfazer as condições de contorno 1.1 Prever a participação de diferentes atores como membros da indústria, governo e universidades 1.2 Orientado para as necessidades e não para as soluções 2ª etapa – Definir o escopo e as condições de contorno para o *roadmap* 2.1 Definir o propósito, o formato e a estrutura 2.2 Definir o período temporal
Fase II	**Desenvolvimento do *roadmap*** 1ª etapa – Identificar os produtos que serão foco do *roadmap* 2ª etapa – Identificar os elementos direcionadores de mercado e de tecnologia 3ª etapa – Construir o *roadmap*
Fase III	**Atividade de continuidade** 1ª etapa – Revisar o *roadmap* 2ª etapa – Avaliar o *roadmap*

Fonte: Elaboração própria

Cabe destacar que cada uma das etapas descritas na Tabela 5.2 será detalhadamente explicada e aplicada no Capítulo 9 (item 9.1).

5.3.2 **Para o Brasil**

Foi elaborada uma metodologia própria que permitisse criar um *roadmap* de nível industrial no Brasil e orientado pela informação tecnológica, seguindo os mesmos moldes daquele elaborado para os EUA.

Considerando que o *technology roadmapping* é um método flexível que pode ser adaptado para diversas situações, a metodologia anterior foi adaptada para a elaboração de um *roadmap* para Brasil, cujas fases e etapas são discriminadas na Tabela 5.3, mediante inserções de etapas na metodologia apresentada para elaboração de *roadmap* de produtos da lignina para os EUA (Tabela 5.2)

Tabela 5.3 - Fases e etapas do processo *technology roadmapping* adotado para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produto da lignina para Brasil

Fase I	**Atividade preliminar** a. Definir o problema a ser solucionado pela TRM b. Definir o objetivo do *roadmap* c. Definir os benefícios do uso do *roadmap* 1ª etapa. Satisfazer as condições de contorno 1.1 Prever a participação de diferentes atores como membros da indústria, governo e universidades 1.2 Orientado para necessidades e não para soluções 2ª etapa. Definir o escopo e as condições de contorno para o *roadmap* 2.1 Definir o propósito, o formato e a estrutura 2.2 Definir as fontes de informação utilizadas no *roadmap* (*) 2.3 Definir o período temporal 2.4 Definir as fontes de informação selecionadas no período temporal determinado (*)
Fase II	**Desenvolvimento do *roadmap*** 1ª etapa. Analisar as fontes de informação selecionadas (*) 2ª etapa. Identificar os produtos que serão foco do *roadmap* 3ª etapa. Identificar os elementos direcionadores de mercado e de tecnologia 4ª etapa. Construir o *roadmap*
Fase III	**Atividade de continuidade** 1ª etapa – Revisar o *roadmap* 2ª etapa – Avaliar o *roadmap*
(*) etapas inseridas quando comparado com a Tabela 5.2 (elaboração *roadmap* EUA)	

Fonte: Elaboração própria

Cabe ressaltar que as inserções foram: (i) na Fase I, 2ª etapa os itens 2.2 e 2.4 e (ii) na Fase II, a 1ª etapa. A justificativa para tais inserções se fundamenta no fato de que para a construção do *roadmap* para os EUA, as informações de curto, médio e longo prazo já se encontravam disponibilizadas no documento consultado; enquanto que para a construção do *roadmap* para o Brasil houve a necessidade de prospectar as informações em bases de dados de indicadores tecnológicos e alocá-las nos respectivos horizontes de tempo de curto, médio e longo prazo.

Cabe destacar que cada uma das etapas descritas na Tabela 5.3 será detalhadamente explicada e aplicada no Capítulo 9 (item 9.2).

5.3.2.1 Escolha e justificativa das fontes de informação tecnológica selecionadas

Para que um segmento industrial, uma região ou um país possa elaborar uma política tecnológica na sua área de atuação, tem se tornado necessário estabelecer estratégias de desenvolvimento incorporando como um dos seus componentes principais as diversas formas de incentivo à inovação.

Conforme Saenz & Paula (2002) de modo a formular, acompanhar e avaliar tais estratégias e políticas, sua implementação e seus resultados, é preciso contar com um conjunto de indicadores de inovação tecnológica, que permitam tanto comparações internacionais como internas. Assim, para a presente tese, foi decido selecionar como fontes de informação tecnológica indicadores de inovação e bibliométricos.

De acordo com FINEP (2010), existem duas famílias básicas de indicadores para mensuração de inovação: os gastos em P&D e as estatísticas de patentes; além destes, prevê também a utilização de indicadores bibliométricos e outros tipos que oferecem informações complementares.

O Ministério da Ciência, Tecnologia & Inovação[9] (MCTI), através da sua Coordenação Geral de Indicadores responsável pelo levantamento de informações sobre a execução das políticas de Ciência & Tecnologia (C&T) e de desenvolvimento produtivo no país, também adota os indicadores mencionados anteriormente, de acordo

[9] A inclusão do termo "inovação" na atual denominação do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, de modo que passe a denominar-se "Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI" ocorreu no item 14 da EM Interministerial nº 123 – MF/MDIC/MP/MCT, data de 02 de agosto de 2011.

com a seguinte classificação: (i) indicadores de insumos, que incluem gastos em P&D e atividades científicas e técnicas correlatas e realizadas pelo governo federal, estados e empresas, além dos recursos humanos dedicados a essas atividades; e (ii) os indicadores de resultados, que consistem na produção científica, verificada pelo número de artigos publicados, e na quantidade de patentes pedidas e concedidas (SOCIEDADE BRASILEIRA PRÓ-INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010).

Foram selecionados como fontes de informação tecnológica para a elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil os seguintes indicadores: (i) documentos de patentes depositados por requerentes nacionais na base de dados do INPI e *USPTO*; (ii) artigos científicos publicados por instituições nacionais nas bases de dados do *Sciene Direct* e *Web of Science*; e (iii) linhas de pesquisa junto ao Portal Inovação, ou seja, atividades científicas de Pesquisa e Desenvolvimento que estão sendo realizadas no país pelos pesquisadores cadastrados nesta base de dados de acordo com consulta nos seus respectivos Currículos Lattes.

A Figura 5.2 ilustra o modelo conceitual adotado neste trabalho, adaptado de Andreassi & Sbragia (2002), que mostra a relação entre indicadores de insumo (*inputs*), indicadores de resultado (*output*s) e resultados (*outcomes*).

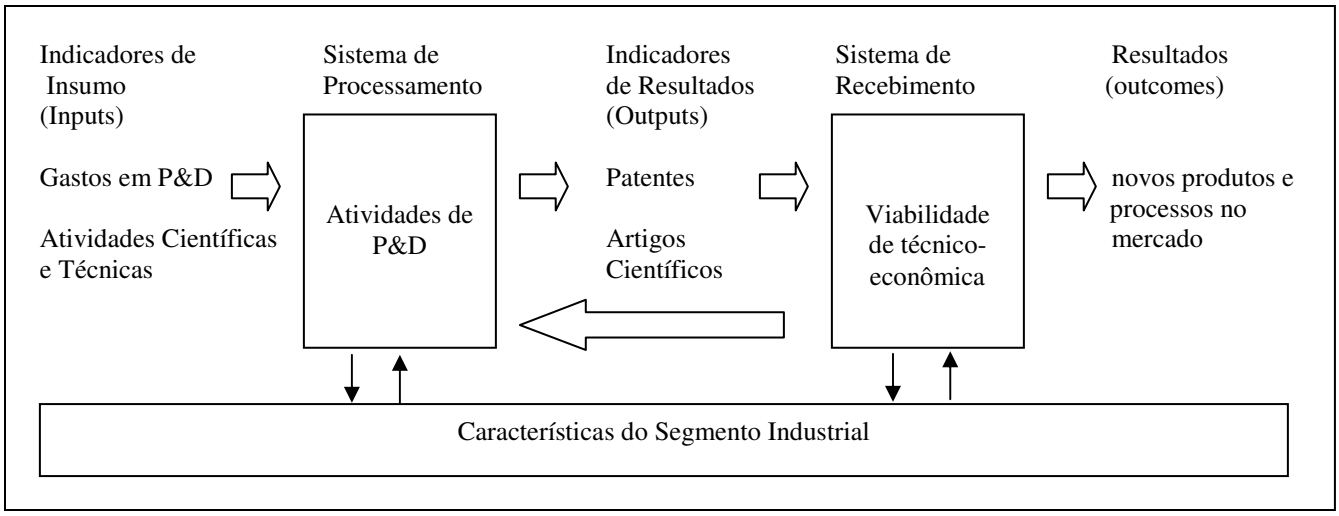


Figura 5.2 - Modelo Conceitual adotado na Tese

Fonte: Elaboração própria a partir de Andreassi & Sbragia (2002)

Na tese, as linhas de pesquisa podem ser enquadradas como indicadores de insumo; os documentos de patente e artigos científicos como indicadores de resultados; e a taxonomia de “usos da lignina e seus derivados” como resultados.

A Figura 5.2 mostra que os gastos de P&D e atividades científicas e técnicas alimentam as atividades de P&D e como resultados são gerados patentes e artigos científicos. Estes resultados são analisados quanto a viabilidade técnico-econômica, podendo gerar novos produtos e processos com aplicação no mercado ou realimentar as atividades de P&D de modo a eliminar os gargalos tecnológicos verificados na etapa de viabilidade tecno-econômica. Cabe destacar ainda que as características do Segmento Industrial, bem como sua dinâmica, trocam constantemente informações com as etapas de Atividades de P&D e Viabilidade técnico-econômica.

Por fim, as características das fontes de informações selecionadas - documentos de patentes, artigos científicos e linhas de pesquisa - para a elaboração do *roadmap* proposto são discriminadas a seguir. Tais características revelam-se como justificativas para a escolha das mesmas.

<u>Documentos de Patente</u>

- A patente é um direito legal de propriedade sobre uma invenção (FINEP, 2010)

- Uma patente confere a seu detentor direitos exclusivos, durante certo período, para explorar uma invenção patenteada (LEI 9279, 1996).

- Não há dúvida de que as patentes concedidas são as mais importantes, principalmente quando se trata de "saídas", pois certificam um invento comprovado, ainda que independentemente de suas possibilidades socio-econômicas de aplicabilidade. Porém, como os processos de certificação de patentes são geralmente prolongados, deve-se considerar também os pedidos de patentes como uma medida do esforço de invenção (SANZ & PAULA, 2002)

- Revela os detalhes da invenção como um meio de permitir seu uso social mais amplo (FINEP, 2010)

- Estatísticas de patentes são cada vez mais utilizadas como indicadores do resultado das atividades de pesquisa (FINEP, 2010).

- O número de patentes concedidas a uma dada empresa ou país pode refletir seu dinamismo tecnológico; exames sobre o crescimento das classes de patentes podem fornecer alguma indicação acerca da direção da mudança tecnológica (FINEP, 2010)

- Segundo Castells e Bosch (2001 *apud* JANNUZZI *et al,* 2007), a vigilância tecnológica em patentes permite determinar:

(i) tecnologias pesquisadas publicadas em uma determinada área do conhecimento;

(ii) soluções tecnológicas disponíveis no mercado;

(iii) tecnologias emergentes;

(iv) dinâmica das tecnologias (tecnologias em obsolescência e imponentes);

(v) linhas de pesquisa, equipes e líderes na geração de novas tecnologias.

- As patentes representam o resultado potencial do processo de inovação, mas devem representar invenções significativas o suficiente para arcar com os custos do patenteamento (BORSCHIVER 2007).

- Estatísticas relacionadas com patentes são facilmente disponíveis e abrangem longos períodos de tempo (BORSCHIVER, 2007)

Artigos científicos

- Através dos artigos científicos a pesquisa é formalizada; o conhecimento torna-se público e é promovida a comunicação entre os pesquisadores (SANTOS, 2008).

- Constitui-se como uma fonte de informação original e de qualidade, sendo um dos procedimentos mais rápidos para a divulgação dos resultados de uma pesquisa e é maciçamente utilizado pela maioria dos pesquisadores e grupos de pesquisa no mundo (CACOAL/RO, 2008).

- A publicação dos resultados das pesquisas é um compromisso que os cientistas são compelidos a cumprir, uma vez que o avanço do conhecimento produzido pelos pesquisadores tem que ser transformado em informação acessível para a comunidade científica. Portanto, a pesquisa é desenvolvida num contexto de troca entre esta comunidade (MERTON, 1957 *apud* MACIAS-CHAPULA, 1998)

- A publicação dos resultados de pesquisa tem três objetivos: divulgar descobertas científicas, salvaguardar a propriedade industrial e alcançar o reconhecimento dos pares (OKUBO, 1997 *apud* MACIAS-CHAPULA, 1998).

Linhas de Pesquisas

- As linhas de pesquisa podem promover a geração e transformação de conhecimentos científicos e tecnológicos em produtos, processos e protótipos com viabilidade comercial (inovação radical ou incremental) (PORTAL INOVAÇÂO, 2010).

- Permitem identificar as competências nacionais e as ações de fomento em C,T&I (PORTAL INOVAÇÂO, 2010).

- As informações disponíveis nas linhas de pesquisas permitem que haja um estímulo a interação universidade-empresa e demais ações que visem à cooperação técnico-científica.

5.4 METODOLOGIA DE BUSCA DAS FONTES DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA SELECIONADAS PARA ELABORAÇÃO DO *ROADMAP* DO BRASIL

As fontes de informação tecnológica selecionadas para a construção do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil foram os documentos de patente, artigos científicos e linhas de pesquisa. Para a realização da prospecção tecnológica em tais fontes foram adotadas as metodologias de busca descritas a seguir:

5.4.1 **Documentos de patentes**

A busca em documentos de patente[10] relacionadas às aplicações da lignina proveniente de materiais lignocelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais foi realizada na base de dados do *site* do Instituto Brasileiro de Propriedade Industrial (INPI) e do *site* do *United States Patent and Trademark Office* (*USPTO*).

[10] Entende-se por documento de patentes tanto os pedidos de patente, depositados e publicados nas bases de dados consultadas, como as patentes concedidas pelos órgãos de análise responsáveis.

5.4.1.1 Base de dados INPI

A base de dados do INPI encontra-se disponível gratuitamente no endereço eletrônico www.inpi.gov.br, permitindo assim a realização de uma pesquisa de dados bibliográficos de documentos de patente, referente tanto a pedidos de patente depositados e publicados como a patentes concedidas, depositadas no Brasil.

A maior parte dos documentos de patentes do banco do INPI está disponível para a pesquisa, devidamente organizada de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (CIP)[11]. O incremento do volume de documentos de patentes numa classificação pode indicar uma tendência tecnológica, ou seja, o direcionamento das pesquisas, a nível mundial, e/ou reflexos posteriores no mercado nacional.

Essa base de dados permite o levantamento e análise de informações relevantes sobre a magnitude e dinâmica de tecnologias patenteadas, tais como: (i) levantamento da capacitação tecnológica interna; (ii) levantamento das tecnologias a nível mundial; e (iii) mapeamento das áreas de desenvolvimentos tecnológicos, permitindo assim o rastreamento da tecnologia em determinado segmento, identificando o conjunto de técnicas que caracterizam uma tecnologia.

A opção de realização da busca de documentos de patente depositados no Brasil deve-se aos seguintes fatores de relevância:

(i) a grande disponibilidade do subproduto lignina no Brasil devido ao aumento da agroindústria da cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar, aliado a produção de celulose e papel;

(ii) a posição de destaque do mercado de cana-de-açúcar torna importante verificar quais as invenções com relação ao tema estão sendo objeto de proteção no mercado brasileiro por diferentes *players*; e

(iii) o *roadmap* a ser elaborado para biorrefinaria de produtos da lignina terá o enfoque em revelar quem e o que está sendo pesquisado no Brasil sobre o tema em questão.

[11] CIP é um sistema de classificação de documentação próprio e de uso internacional, que permite sua rápida recuperação, por área tecnológica (INPI, 2010)

5.4.1.1.1 Metodologia da busca

A estratégia consistiu na busca de documentos de patentes contendo em seu resumo o termo “lignina” e depositados entre os anos de 1990 a 2009 Foram encontrados 192 documentos de patente.

Após a leitura criteriosa dos resumos e, em alguns casos das reivindicações dos documentos de patentes encontrados, as informações extraídas foram analisadas em três níveis diferentes conforme a seguir especificado:

(i) nível macro: foram identificadas a distribuição dos documentos de patentes por ano de depósito, por países depositantes, por tipo de instituição, e as principais instituições depositantes;

(ii) nível meso: foi identificado o objeto de proteção do documento de patente, de acordo com as quatro taxonomias criadas e relacionadas aos principais objetos de proteção reinvindicados pelos depositantes da forma descrita a seguir:

- “remoção da lignina”: relacionada tanto ao aproveitamento de resíduos lignocelulósicos como ao melhoramento no processamento de diversos segmentos industriais, em especial para produção de etanol e papel.

- “usos da lignina e de seus derivados”: em diversas aplicações como combustíveis, adesivos e obtenção de produtos químicos.

- “alteração da genética da planta”: para reduzir o teor de lignina e/ou facilitar sua degradação.

- “outros relacionados a lignina”: trata de documentos de patentes relacionados a lignina[12] mas que não se enquadram nas três categorias citadas anteriormente.

(iii) nível micro: foram identificados os principais “usos da lignina e seus derivados”, destacando ainda informações mais detalhadas sobre os depositantes de origem nacional, que subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil conforme será visto no Capítulo 9.

[12] Exemplos de outros relacionados a lignina: isolamento de bactérias para degradação da lignina, método para determinar e analisar o teor da lignina, atenuar/inibir os efeitos da lignina no papel, dentre outros.

5.4.1.2 Base de dados *USPTO*

O banco de dados do *USPTO*, disponível gratuitamente no endereço eletrônico http://www.uspto.gov, permite a busca em duas plataformas de busca distintas: uma referente às patentes concedidas (*issued patents*) e outra relativa aos pedidos de patente (*patent applications*).

No presente estudo, foram consultadas tanto as patentes concedidas como os pedidos de patentes na base de dados do USPTO tendo em vista que a consulta realizada na base de dados do INPI englobou tanto pedidos de patente como patentes concedidas.

A opção de realização da busca de documentos de patente depositados nos Estados Unidos deve-se aos seguintes fatores de relevância:

(i) A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) divulgou que os Estados Unidos são o país líder em depósitos de pedidos de patente via *Patent Cooperation Treaty* (*PCT*) em 2007 (NITPAR, 2008) e projeções realizadas para o final de 2010, baseadas nas taxas de crescimento obtidas nos últimos 5 anos, calcularam que os Estados Unidos permanecerão como o primeiro centro depositário do mundo (CARAHER, 2008);

(ii) O sistema norte-americano é o que realiza o maior número de depósitos de documentos de patente de empresas estrangeiras do mundo (INPI, 2010). Portanto, a maior parte dos depositantes estrangeiros possui interesse em proteger suas invenções em vários territórios, mas sobretudo nos Estados Unidos;

(iii) Os Estados Unidos não somente se destacam como o centro depositário que mais recebe pedidos de patente do mundo, mas também se destacam em outros territórios, sendo um dos líderes de depósitos em outros países.

(iv) O *roadmap* elaborado para biorrefinaria de lignina terá o enfoque em revelar quem e o que está sendo pesquisado no Brasil sobre o tema em questão e compará-lo com o *roadmap* dos EUA.

5.4.1.2.2 Metodologia da busca

A estratégia da busca adotada no *site* do *USPTO*, tanto na base de patentes concedidas como na de pedidos de patente, consistiu na combinação: (i) das classificações obtidas da versão 2010.01 da CIP, ilustrada no Quadro 5.1, (ii) com a palavra-chave no resumo “lignin” e (iii) patentes ou pedidos de patente depositados entre os anos de 1990 e 2009. Foram desconsiderados os documentos em duplicata, ou seja, aqueles documentos em que constam em mais de uma classificação pesquisada no referido Quadro.

C08L 97/00 – composições de materiais contendo lignina
C07G 1/00 – lignina e seus derivados
C08H 5/02 – produtos derivados da lignina
C04B 26/24 – uso de líquidos contendo lignina como agente de ligação para pedra artificial
C09J 197/00 – uso da lignina em adesivos
C08L 97/02 - composições de materiais lignocelulósicos
D21C 3/00 – digestão de materiais lignocelulósicos para produção de papel
C08H 5/04 – compostos macromoleculares derivados de materiais lignocelulósicos

Quadro 5.1 – Classificações sobre a lignina obtidas na Versão 2010.01 da CIP

Fonte: INPI (2010)

5.4.1.2.2.1 Patentes concedidas (*Issued patent*)

A busca de patentes concedidas foi realizada de acordo com os critérios de seleção descritos a seguir: (i) ter sido depositada entre os anos de 1990 a 2009, (ii) seguir as classificações mostradas no Quadro 5.1 e (iii) conter a palavra “lignin” no resumo. Foram encontradas 132 patentes.

Após a leitura criteriosa dos resumos e, em alguns casos das reivindicações das patentes encontradas, as informações extraídas foram analisadas seguindo os mesmos níveis adotados para os documentos de patentes identificados no banco de dados do INPI.

5.4.1.2.2.2 Pedidos de patente (*Patent applications*)

Os critérios para a busca por pedidos de patentes foram os mesmos adotados para a busca por patentes relatados anteriormente.

Foram encontrados 15 pedidos de patentes. Ressalta-se que esta base não contém pedidos de patente referentes a patentes já concedidas, estando estas somente na base de patentes concedidas (referida anteriormente).

Assim como nas patentes concedidas, após a leitura criteriosa dos resumos e, em alguns casos das reivindicações dos pedidos de patente encontrados, as informações extraídas foram analisadas seguindo os mesmos níveis adotados para os documentos de patentes identificados no banco de dados do INPI.

5.4.2 **Artigos científicos**

As bases da dados escolhidas para a realização da busca por artigos científicos foram a *Science Direct* (http://www.sciencedirect.com) e *Web of Knowledge – Web of Science* (http://www. www.peridiodicos.capes.gov.br). A escolha destas bases de dados levou em consideração a sua disponibilidade para alunos de Pós-Graduação na UFRJ e o fato de que ambas possuem um compêndio de artigos científicos de periódicos com textos completos e resumos, em diversas áreas do conhecimento, dando ênfase para Ciências e Tecnologia, além de permitir a busca por palavras-chave.

A base de dados do *Science Direct* é uma das maiores bases referente a resumos e citações de literatura científica, abrangendo cerca de 18.000 títulos de mais de 5.000 editores.

A base de dados do *Web of Science* fornece informações nas áreas das ciências, ciências sociais, artes e humanidade nos 9.300 jornais de pesquisa de mais alto impacto no mundo. Possibilita o acesso a diferentes tipos de documentos científicos como artigos, bibliografias, revisões de livros dentre outros, auxiliando assim os seus usuários a rastrear pesquisas em progresso.

5.4.2.1 Metodologia da busca na base de dados *Science Direct*

Os critérios adotados[13] para a busca no site do *Science Direct* foram: o artigo conter a palavra-chave "lignin" no resumo combinada com as palavras-chaves selecionadas das aplicações verificadas nos documentos de patentes ("biofuel", "binder", "chemicals", "dispersant", "macromolecule", "polymer" e "power"), também no resumo, e o mesmo ter sido publicado entre 1990 e 2009. Foram encontrados 196 artigos científicos após o descarte daqueles repetidos.

Foi feita a leitura criteriosa dos resumos e, em alguns casos do artigo na sua totalidade, para em seguida serem extraídas as informações que foram analisadas em três níveis diferentes conforme a seguir especificado:

(i) nível macro: foram identificadas a distribuição dos artigos científicos por ano de publicação, por países de origem dos artigos e as principais instituições;

(ii) nível meso: foram identificados o objeto de pesquisa dos artigos científicos, de acordo com a mesma taxonomia usada nos documentos de patentes, a saber: "remoção da lignina", "usos da lignina e seus derivados", "alteração da genética da planta" e "outros relacionados a lignina"; e

(iii) nível micro: foram identificados os principais "usos da lignina e seus derivados" conforme o objetivo principal deste trabalho, bem como aqueles com a participação de instituições de origem nacional, que subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil conforme será visto no Capítulo 9.

5.4.2.2 Metodologia da busca na base de dados *Web of Science*

Os critérios adotados para a busca no si*te* do *Web of Science* foram: o artigo conter a palavra-chave "lignin" no resumo combinada com as palavras-chaves selecionadas das aplicações verificadas nos documentos de patentes ("biofuel", "binder", "chemicals", "dispersant", "macromolecule", "polymer" e "power"), também no

[13] Cabe destacar que os critérios foram selecionados de modo a permitir a comparação com o *roadmap* elaborado para biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA.

resumo, o mesmo ter sido publicado entre 1990 e 2009 e constar no banco de dados do *Science Citation Index Expanded*. Foram encontrados 649 artigos científicos após o descarte daqueles repetidos.

Foi feita a leitura criteriosa dos resumos e, em alguns casos do artigo na sua totalidade, para em seguida serem extraídas as informações que foram analisadas seguindo os mesmos níveis adotados para os artigos científicos identificados no banco de dados do *Science Direct*.

5.4.3 **Linhas de Pesquisa**

A busca de linhas pesquisas que estão sendo desenvolvidas por instituições/centros de pesquisa/empresas/universidades relacionadas a lignina proveniente de materiais lignicelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais foi realizada na base de dados do *site* do Portal Inovação (PORTAL INOVAÇÃO, 2010).

O Portal Inovação, desenvolvido pelo MCTI, é um instrumento que visa fomentar a construção de alianças estratégicas e o desenvolvimento de projetos de cooperação envolvendo empresas nacionais e Instituições de Ciência, Tecnologia & Inovação (ICTIs). Apresenta como missão a promoção do encontro de oportunidades e de competências, bem como o estabelecimento de um espaço para cooperação entre os diversos atores envolvidos com a cadeia de inovação (PORTAL INOVAÇÃO, 2010):

Dispõe de duas fontes de informação, que formam sua base de dados: a Plataforma Lattes, que vem a ser um banco de currículos da comunidade científica brasileira, administrado Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e os registros inseridos diretamente no Portal.

A escolha da base de dados do Portal Inovação levou em consideração a sua disponibilidade gratuita no endereço eletrônico, possibilitando assim a realização de uma consulta de modo a identificar o que está sendo pesquisado com relação ao tema da tese, além de permitir a busca por palavras-chave.

Tal base de dados revela informações sobre inovação tecnológica no Brasil tais como: (i) as competências e ofertas no sistema nacional de inovação em diversas áreas

de atuação; (ii) as demandas tecnológicas em áreas nas quais possuem competências; (iii) instrumentos para efetivar cooperações tecnológicas com diferentes atores de inovação; (iv) informações estratégicas para sua atuação profissional (ex: sua rede de relacionamentos, indicadores de sua presença no sistema nacional de inovação); (v) acesso a oportunidades de financiamento e demais instrumentos de apoio à cooperação tecnológica e inovação; e (vi) informações sobre a dinâmica de inovação em sua área de atuação (PORTAL INOVAÇÃO, 2010).

5.4.3.1 Metodologia da busca

Os critérios utilizados para a busca no site Portal Inovação foram: (i) a palavra-chave lignina e (ii) a opção de competências. Depois foi efetuado um filtro por temas relacionados a lignina.

Como resultado foram identificados os especialistas/pesquisadores brasileiros, cadastrados no Portal Inovação, que desenvolvem pesquisa sobre o tema em questão. A base de dados habilita diretamente o *link* do currículo lattes do pesquisador, permitindo assim a consulta ao resumo do projeto/linha de pesquisa referente ao tema estudado, bem como disponibiliza informações tais como: a filiação do pesquisador, a existência de financiamento para a pesquisa, a formação de parcerias com empresas, institutos de pesquisa e universidades nacionais e estrangeiras.

Cabe destacar que foram selecionadas apenas as linhas de pesquisas cadastradas com término em: (i) 2010, (ii) atual ou (iii) anos subsequentes (2011, 2012, 2013, etc). De acordo com os critérios de busca utilizados foram encontradas 72 linhas de pesquisa.

Após a leitura do conteúdo descrito nas linhas de pesquisa selecionadas, as informações extraídas foram analisadas em três níveis diferentes conforme a seguir especificado:

(i) nível macro: foram identificadas a distribuição das linhas de pesquisa por instituição, parcerias (internacionais e com empresas) e existência de financiamento;

(ii) nível meso: foram identificadas o objeto de estudo das pesquisas de acordo com a taxonomia usada nos documentos de patente e artigos científicos, a saber:

“remoção da lignina”, “usos da lignina e seus derivados”, “alteração da genética da planta” e “outros relacionados a lignina”; e

(iii) nível micro: foram identificadas os principais “usos da lignina e seus derivados” conforme o objetivo principal deste trabalho, bem como a participação de instituições nacionais, que subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil conforme será visto no Capítulo 9.

5.5 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÃO DE UMA AGENDA NACIONAL DE C,T&I DA LIGNINA NO BRASIL

Com base em toda a pesquisa bibliográfica e documental realizada, bem como nos *roadmaps* construídos para biorrefinarias de produtos da lignina nos EUA e Brasil, foram identificados os fatores críticos, que podem ser definidos como aqueles críticos para o sucesso no processo de concretização do *roadmap* de biorrefinaria para produtos da lignina elaborado para o Brasil.

A partir de cinco fatores críticos definidos foram propostas as diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para a lignina que consiste em ações que devem ser desenvolvidas para que se atinja os objetivos traçados no *roadmap* de produtos da biorrefinaria no Brasil.

6 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – DOCUMENTOS DE PATENTES

O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os principais resultados obtidos a partir de documentos de patente relacionados a aplicações da lignina proveniente de materiais lignicelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais no Brasil. A busca foi realizada na base de dados do site do INPI e do *USPTO* conforme Metodologia apresentada no Capítulo 5.

As informações extraídas, em cada base, nas análises macro, meso e micro fornecem um panorama mundial do tema, enquanto àquelas provenientes dos documentos de patentes depositados por empresas/centros de pesquisa/universidade/inventores nacionais subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil a ser apresentado no Capítulo 9.

6.1 BASE DE DADOS INPI

A base de dados do INPI permitiu a realização de uma pesquisa de dados bibliográficos de documentos de patente, referente tanto a pedidos de patente depositados e publicados como a patentes concedidas, depositados no Brasil.

6.1.1 **Análise macro**

A Figura 6.1 apresenta a evolução dos depósitos dos 192 documentos de patente no Brasil relacionadas a lignina durante o período analisado de 1990 a 2009. A distribuição dos documentos não foi regular, concentrando maior número de depósitos no ano de 1998[14]. Também é possível observar que a partir do ano de 2003 houve uma retomada dos depósitos de documentos de patentes.

[14] Na maioria dos países, incluindo o Brasil, a publicação dos pedidos de patente é obrigatória, ocorrendo após um período de 18 meses contados a partir do depósito no país ou da prioridade mais antiga (INPI, 2010).

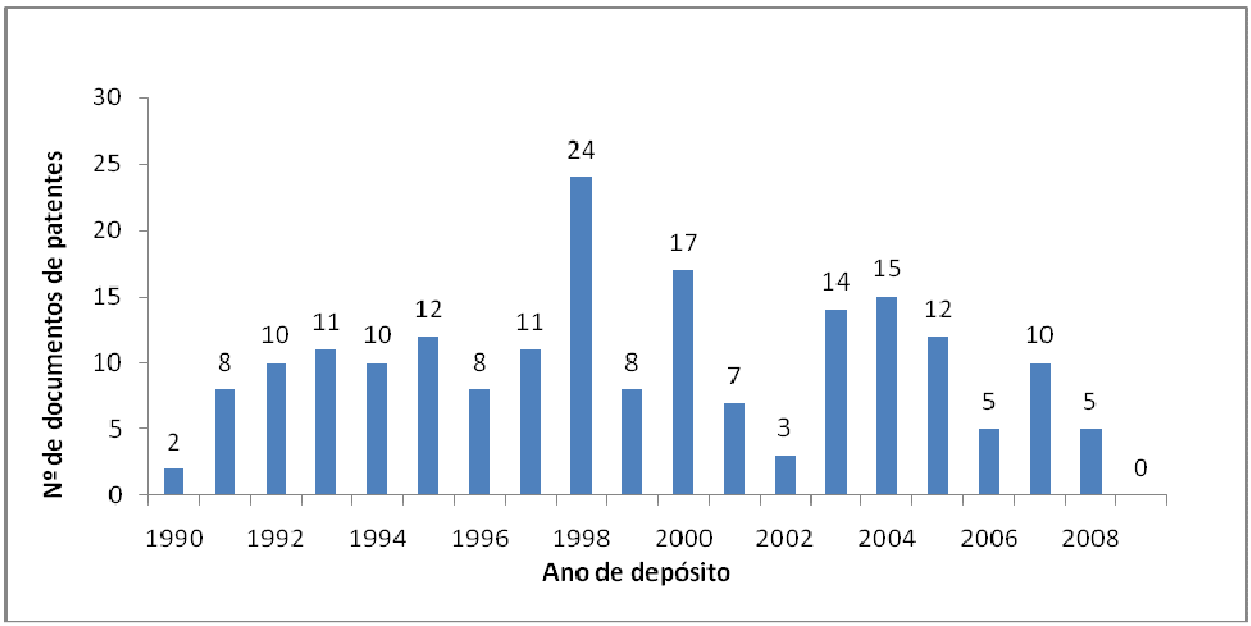


Figura 6.1 - Evolução do depósito de documentos de patente - período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados INPI (2010)

A Figura 6.2 proporciona um panorama dos países de origem dos documentos de patente selecionados. A análise da distribuição dos países nos quais se originaram as tecnologias depositadas no Brasil revelou que Estados Unidos e Brasil lideram como os principais depositantes de documentos de patente envolvendo a lignina oriunda de materiais lignocelulósicos, com cerca de 53% do total de documentos encontrados.

Assim, pode-se inferir que tais invenções foram desenvolvidas, principalmente, nos países acima indicados porque, geralmente, os depositantes solicitam a prioridade[15] em seus países de residência. No caso dos EUA, fica evidenciado também o seu interesse em proteger suas invenções no mercado brasileiro.

[15] A Convenção de Paris em seu Art. 4º dispõe que o primeiro pedido de patente ou desenho industrial depositado em um dos países membros serve de base para depósitos subsequentes relacionados à mesma matéria, efetuados pelo mesmo depositante ou seus sucessores legais (INPI, 2010).

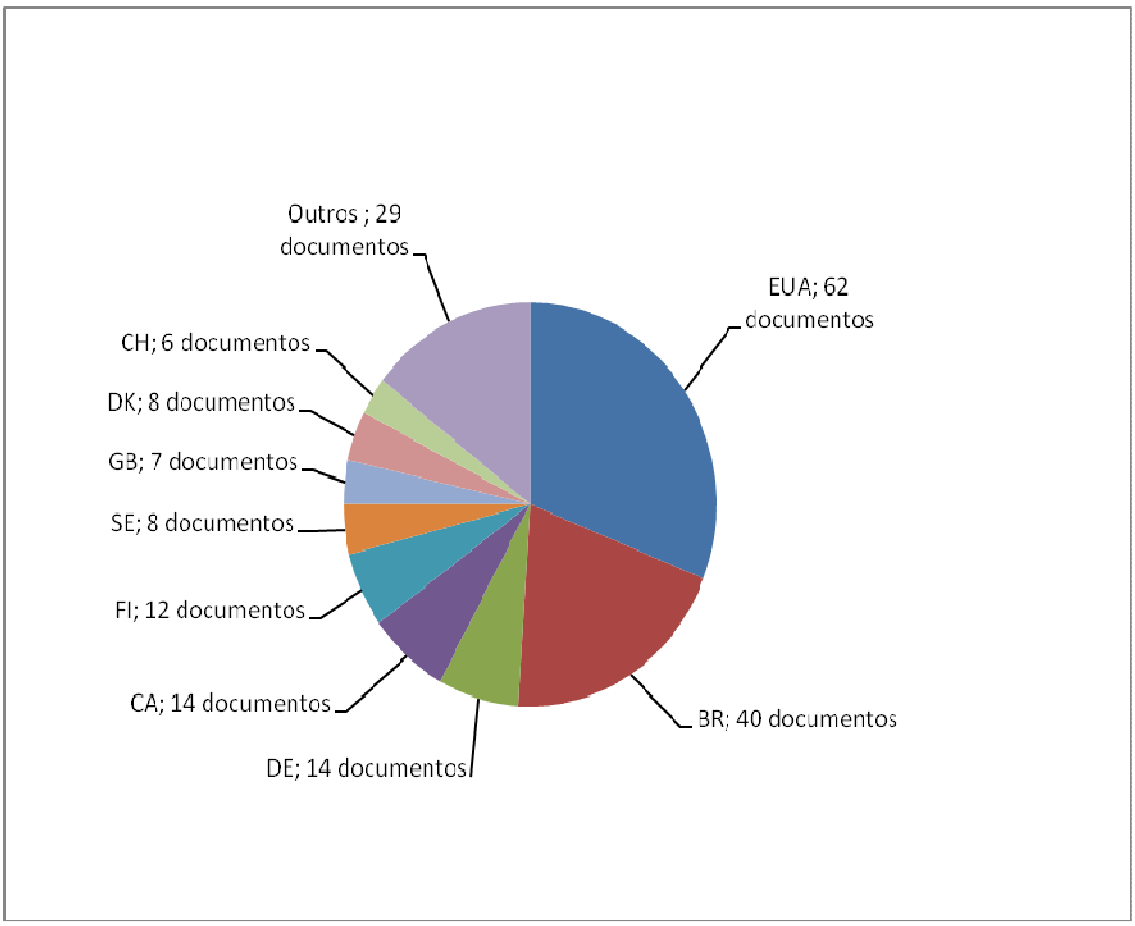


Figura 6.2 - Países de origem dos documentos de patentes - período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados INPI (2010)

No que diz respeito aos tipos de depositante, a Figura 6.3 apresenta a distribuição da natureza jurídica dos depositantes identificados no presente estudo. Conforme pode ser observado, as empresas privadas são responsáveis pela maior parte dos depósitos, perfazendo um total de 78% dos depositantes identificados (150 documentos de patente). Em seguida, 18% dos depositantes (34 documentos de patente) referem-se a centro de pesquisa ou universidade e cerca de 10% dos depositantes refere-se a pessoa física (18 documentos de patente), ou seja, o inventor como depositante.

Cabe destacar a existência de co-titularidade entre empresas e empresas e universidades ou centros de pesquisa, indicando assim a existência de cooperação entre instituições de naturezas distintas. A busca de parcerias torna-se bastante interessante quando os componentes possuem competências complementares e existe o interesse comum no desenvolvimento da tecnologia de forma a aperfeiçoar os recursos existentes, visando explorar as potencialidades de cada uma das instituições.

Além disso, foi observada a existência de um documento de patente sem informação sobre depositante.

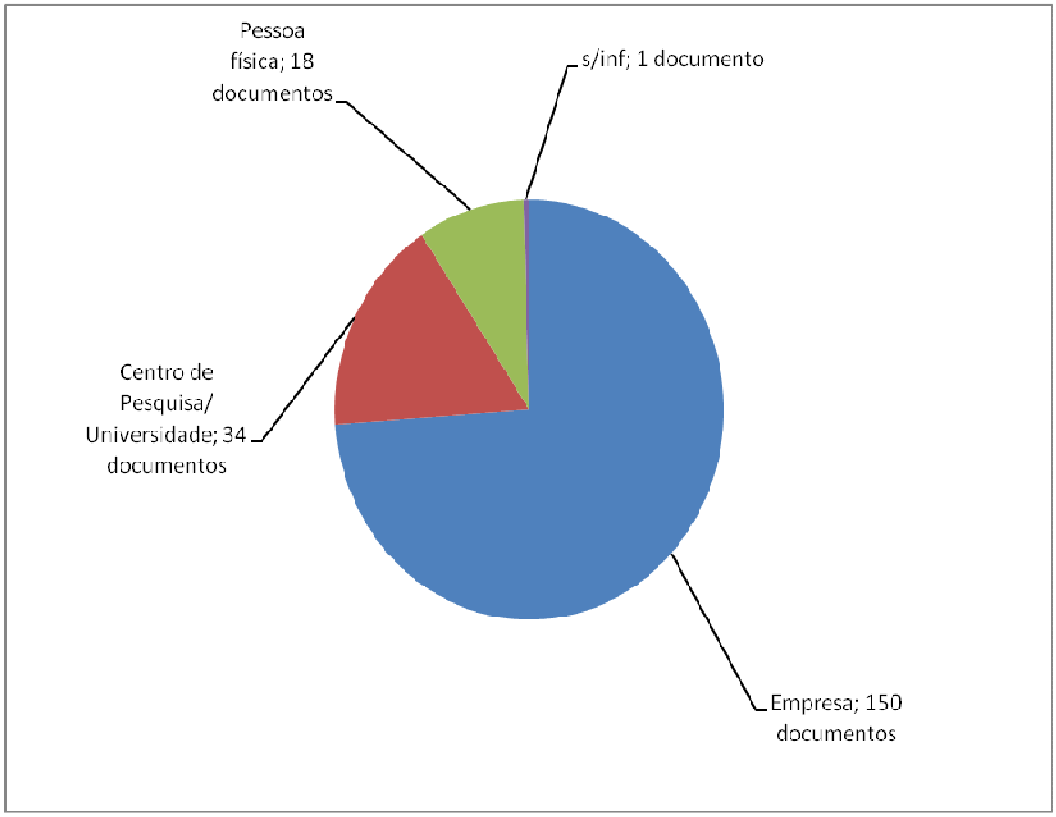


Figura 6.3 - Tipos de depositantes dos documentos de patente

Fonte: Base de dados INPI (2010)

A Tabela 6.1 mostra as principais empresas depositantes de documentos de patente no Brasil, com no mínimo três documentos depositados, bem como uma breve discrição de suas atividades.

Tabela 6.1 - Principais empresas depositantes

Principais depositantes	Atividades	Número de documentos de patente
Neste Chemical Oy	empresa finlandesa de solventes, plastificantes, intermediários de revestimento, resinas adesivas e formaldeído	6
Novo Nordisk A/S	empresa dinamarquesa de produtos farmacêuticos	6
Union Camp Patent Holding, Inc.	empresa americana de papel e celulose	5
Alcell Technologies Inc.	empresa canadense de papel de celulose	5
Arbogen, LLC	empresa americana de biotecnologia	4
The Procter & Gamble Company	empresa americana de produtos alimentícios, de higiene e limpeza, dentre outros	4
Ciba Specialty Chemicals Holdings Inc.	empresa suíça de produtos químicos diversos	3
Consortium Fuer Elektrochemische Industrie Gmbh	empresa alemão de produtos químicos, revestimentos, dentre outros	3

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Depreende-se da Tabela 6.1 que oito depositantes são responsáveis por 19% dos documentos encontrados, destacando ainda que os mesmos atuam no mercado de produtos químicos variados, tais como solventes, farmacêuticos, papel e celulose dentre outros. Assim, é possível vislumbrar que tais empresas estão buscando novas aplicações para a lignina dentro do segmento da Indústria Química.

A Tabela 6.2 mostra o quantitativo de documentos de patente depositados por empresas de origem brasileira. Ressalta-se a existência de empresas nacionais que atuam em segmentos da Indútria Química, entre aquelas que depositaram documentos de patentes no Brasil, o que indica que assim como os depositantes estrangeiros, as empresas nacionais também estão buscando novas aplicações para a lignina em áreas ligadas ao segmento químico.

Tabela 6.2 - Empresas nacionais depositantes

Empresas nacionais	Atividades	Número de documentos de patentes
Dalquim Industria e Comércio Ltda.	atua nas áreas química, agropecuária e de nutrição anima	2
Alellyx S.A.	empresa de biotecnologia com ênfase na agroindústria	2
Dedini S/A Indústria de Base	oferece estudos de viabilidade para a implantação de plantas em segmentos químicos, energia, papel e celulose, etc.	2
R.M. Materiais Refratários Ltda.	atua no segmento da construção civil	2
White Martins	atua em diversos segmentos de mercado, dentre os quais o ramo de papel e celulose	2
Deasi Projetos e Consultoria Lltda.	empresa de consultoria em projetos ligados a área química, de energia, etc.	1
Aracruz Celulose S.A.	atua na produção de papel e celulose	1
Biosintética Farmacêutica Ltda.	empresa produtora de produtos genéricos biosintéticos	1
Máquinas Agrícolas Jacto S.A.	comercializa equipamentos destinados a agroindústria	1
KBK Plásticos Ltda.	empresa que fabrica produtos plásticos	1
Oxiteno S.A. Indústria e Comércio	atua em diversas áreas da Indústria química como resinas, tintas, petróleo, etc	1
Helucan Comercial Ltda	atua na área de transporte	1
Precon Industrial S.A.	atua na área de materiais de construção	1
Inovamat, Inovação em Materiais Ltda	desenvolve produtos e processos na área de materiais que atendam aos critérios de sustentabilidade	1
Riocell S.A.	empresa que produz celulose branqueada de eucalipto	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Por fim, a Tabela 6.3 apresenta as universidades/centros de pesquisa, identificando ainda aqueles que são de nacionalidade estrangeira e nacional.

Tabela 6.3 - Universidades/Centros de Pesquisa depositantes

Universidades/Centros de Pesquisa	Nacionalidade	Número de documentos de patente
Board of Control of Michigan Technological University	Estrangeira	4
USP	Nacional	3
Council of Scientific and Industrial Research	Estrangeira	2
Oregon State University	Estrangeira	2
The University of York	Estrangeira	2
Pulp and Paper Research Institute of Canada	Estrangeira	2
Regents of University of Minnesota	Estrangeira	2
Midwest Research Institute	Estrangeira	2
Purdue Research Foundation	Estrangeira	2
University of Utah	Estrangeira	2
Alberta Research Council Inc.	Estrangeira	1
Center National de La Recherche Scientifique	Estrangeira	1
Emory University	Estrangeira	1
Universidade de Caxias do Sul	Nacional	1
Universidade Federal de Pernambuco	Nacional	1
UFMG	Nacional	1
EMBRAPA	Nacional	1
Instituto Mauá de Tecnologia	Nacional	1
Universidade de Brasília	Nacional	1
UNICAMP	Nacional	1
UFRJ	Nacional	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Dos 34 documentos de patentes cujos depositantes se referem a este tipo de instituição, nove documentos tiveram depositantes nacionais, com destaque para a Universidade de São Paulo (USP) com três documentos de patentes. Isto sinaliza que as universidades e centros de pesquisa não têm demonstrado interesse em proteger suas invenções ou, ainda, que os mesmos não estejam voltadas para aplicações comerciais, requisito de patentabilidade este necessário para a concessão de uma patente.

6.1.2 **Análise meso**

A Tabela 6.4 mostra o número de documentos de patente distribuídos de acordo com a taxonomia identificada na metodologia de busca apresentada no Capítulo 5. Observa-se que as invenções relacionadas ao tema lignina e depositadas no Brasil

estão voltadas principalmente para: (i) a remoção da lignina da fração lignocelulósica, em especial para a produção de papel e celulose, tendo em vista que a sua degradação pelo oxigênio e luz promove o "amarelamento" do papel; e (ii) os usos da lignina e seus derivados em novas aplicações como na produção de produtos químicos, tais como resinas, adesivos, bem como fonte de energia, de modo a reduzir os custos ambientais com o descarte da lignina residual no meio ambiente e agregar valor a cadeia agroindustrial por meio do aproveitamento da mesma em novas utilizações, em especial associadas à Indústria Química.

Tabela 6.4 - Principais objetos de protenção reivindicados de acordo com a taxonomia adotada

Taxonomia	**Número de documentos de patente**
Remoção da lignina	65
Usos da lignina e seus derivados	*58*
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	19
Outros relacionados a lignina	50
Total	192

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Cabe destacar ainda que a remoção da lignina da fração lignocelulósica e a alteração genética da planta visando a redução do seu teor têm sido objeto de novas invenções, despertando grande intesse comercial, provavelmente devido a possível redução de custos envolvidos no processo produtivo na indústria de papel e celulose.

Foram identificados 65 documentos de patentes relacionados ao tema "remoção da lignina" de frações lignocelulósicas. A lignina geralmente é removida mediante a deslignificação na presença de base e solventes - a lignina é removida na fração solúvel e a celulose permanece na fração insolúvel. No entanto, novas formas de remoção da lignina estão sendo pesquisas[16] e reivindicadas nos documentos de patentes, como por exemplo, por meio da (i) hidrólise enzimática do material lignocelulósico, (ii) despolimerização da lignina sem a degradação da celulose por meio

[16] Alguns trabalhos neste sentido foram apresentados no 1st BBEST – Brazilian Bioenergy Science and Technology Conference, realizado em Campos do Jordão de 14 a 18 de agosto de 2011, do qual participei.

de reação catalítica e hidrólise ácida; e (iii) novos tipos de solventes que facilitem a separação entre a lignina e a celulose e reduzam a quantidade de solvente utilizada.

Observa-se ainda que 19 documentos reivindicam invenções relacionadas ao tema “alteração da genética da planta” para promover a diminuição do conteúdo da lignina com o objetivo de facilitar a obtenção da celulose. A maior parte destes documentos envolvem processos de natureza biotecnológica, buscando a obtenção de celulose de melhor qualidade ou variedades de plantas com menor teor de lignina mas que mantenha a viabilidade da plantação, ou seja, árvores saudáveis, produtivas e resistentes. Assim, se torna possível aumentar a produção por área plantada, reduzindo-se custos com a extração da madeira e reflorestamento.

6.1.3 **Análise micro**

Considerando que o objeto de estudo é a prospecção de novas aplicações da lignina no conceito da biorrefinaria, em especial na produção de combustíveis, energia e produtos químicos, os 58 documentos de patentes que se enquadraram na categoria “usos da lignina e seus derivados” foram mais detalhadamente analisados de modo a identificar as suas principais aplicações mostradas através da Tabela 6.5.

A Tabela 6.5 aponta que o principal uso da lignina nos documentos de patentes encontrados na busca é na formulação de adesivos, aglutinantes e plastificantes. Isto se deve as funções que a lignina desempenha na planta, como por exemplo: aumenta a rigidez da parede celular, une as células umas nas outras e reduz a permeabilidade da parede celular à água como visto no Capítulo 2.

Tabela 6.5 - Principais usos da lignina e seus derivados

Usos da lignina e seus derivados	Número de documentos de patente
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	9
Na produção de produtos químicos – fenóis, ésteres, produtos intermediários, aldeídos aromáticos, subprodutos fenólicos	5
Na formulação de biocidas, pesticidas e bactericidas	5
Na fabricação de manta fibrosa, lamina, chapa aglomerado, painel	5
Como combustível e/ou biocombustível	4
Em alimentos como ração humana e animal	3
Na produção de elemento moldado e perfil	3
Em produtos/processamento agrícolas (ex: fertilizantes)	2
No tratamento da madeira	2
Em composições detergentes	2
Na produção de produtos emulsificantes	2
Na produção de energia (ecocarvão)	1
Na produção de carvão ativado	1
Na formulação de banda de rodagem pneumática	1
Em revestimento	1
Como indicador em ensaio de digestabilidade	1
Na composição beneficiadas redutoras de água	1
Na remoção de odores de ácidos orgânicos e aminas	1
Em composição enzimática	1
Em produtos de limpeza	1
Na remoção de poluentes na estação de tratamento de efluentes	1
Na produção de espumas e plásticos	1
Na fabricação de concreto	1
Na composição de polímeros	1
Na formulação de agente de fixação de cabelo	1
Na produção de película biodegradável	1
Em material de fricção	1
Total	58

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Foram encontrados cinco documentos de patentes relacionados a utilização da lignina para produção de produtos químicos, em especial os de natureza aromática devido ao caráter fenólico de sua estrutura. Esta tem se mostrado um rota que tem despertado o interesse comercial considerando que o fenol é hoje obtido a partir do petróleo, fonte não renovável, ao passo que a lignina pode ser obtida a partir de matéria-prima renovável. Os produtos químicos citados nos documentos de patente foram o guaiacol, pirocatecol e seus derivados e ácido fórmico.

A lignina também pode empregada na formulação de biocidas, pesticidas e bactericidas considerando que a mesma protege a madeira contra microorganismo devido a sua natureza essencialmente fenólica. Foram encontrados cinco documentos de patentes relacionados a este tema.

Dentro do contexto da biorrefinaria, cabe destacar ainda que foram encontrados na busca quatro documentos relacionados a combustíveis/biocombustíveis e um referente a produção de energia que são mencionados a seguir:

- dois documentos de patentes tratam de processos relacionados a conversão catalítica da lignina em produtos líquidos como biocombustíveis e aditivos de combustível, incluindo gasolina e combustíveis de jato e foguete, por meio de uma série de reações de: (i) despolimerização da lignina, (ii) estabilização/hidrodeoxigenação do produto e (iii) hidroprocessamento para formar o biocombustível.

- combustível de celulignina catalítica obtido através de um processo de pré-hidrólise da biomassa, cuja principal aplicação é sua utilização como combustível para caldeiras, turbinas a gás e de geração de energia hidrelétrica ímã dinâmica.

- aparelho que permita que o processo de pré-hidrólise de biomassa, que produz uma solução de xilose e outros açúcares, seja realizado sob melhores condições de energia.

- máquina de compactação de resíduos vegetais e automação do processo de compatação para produção de ecocarvão com melhores propriedades quanto a impermeabilização e poder calorífico.

6.1.3.1 Análise micro relacionadas a depositantes nacionais

Os 40 documentos de patente depositados no INPI e de origem nacional tem com requerentes: empresas nacionais, inventores nacionais e universidades/centros de pesquisa nacionais.

A Tabela 6.6 apresenta os documentos de patentes e os principais objetos de proteção conforme a taxonomia adotada para os 20 documentos de patentes depositados por empresas nacionais.

Tabela 6.6 - Documentos de patente e objeto de proteção da invenção referente as empresas nacionais depositantes

Empresas nacionais	Documentos de patente	Objeto da proteção
Dalquim Industria e Comércio Ltda.	0702226-3	Usos de lignina – produção de óleo contendo lignina com caracteríísticas emulsificantes em sua formulação
	0702228-0	Usos de lignina – produção de óleo contendo lignina com caracteríísticas emulsificantes em sua formulação
Alellyx S.A.	0514436-1	Alterar a genética da planta para uma diminuição geral do conteúdo de lignina com o objetivo de facilitar a extração da celulose
	C10514436-1	Alterar a genética da planta para diminuir o conteúdo de lignina insolúvel e em plantas com tecido lenhoso, aumentar a densidade da madeira
Dedini S/A Indústria de Base	0505212-2	Remoção de lignina - extração por sistema hidrossolvente
	9600672-2	Remoção da lignina – por meio de uma deslignificação realizada em um único ciclo reacional
R.M. Materiais Refratários Ltda.	9902606-6	Usos da lignina – combustível de celulignina obtido por meio de um processo de pre-hidrolise da biomassa, utilizado em boilers e turbina, podendo ainda ser usado para produzir bioóleo através da pirólise
	9902607-4	Usos da lignina – combustível de celulignina obtido por meio de um processo de pre-hidrolise da biomassa, utilizado em boilers e turbina, podendo ainda ser usado para produzir bioóleo através da pirólise
White Martins	9104450-2	Remoção da lignina - processo de deslignificação com oxigênio de polpa lignocelulósica no qual se utiliza metanol como aditivo
	9102464-1	Remoção da lignina - processo de deslignificação com oxigênio de polpa lignocelulósica no qual se utiliza metanol como aditivo
Deasi Projetos e Consultoria ltda.	9804123-1	Usos de lignina para otimizar remoção de poluentes em estação de tratamento de efluentes através da adição de pó de lignina carbonizada
Aracruz Celulose S.A.	9901292-8	Outros relacionados a lignina - controlar o teor de lignina no processo de branqueamento de polpa celulosica
Biosintética Farmacêutica Ltda.	9905322-5	Usos da lignina como filbra dietética (alimentar) devido a sua capacidade de absorver sais biliares
Riocell S.A.	9506184-3	Remoção da lignina – por meio da deslignificação da polpa celulosica em alta temperatura
Máquinas Agrícolas Jacto S.A.	0003682-0	Outros relacionados a lignina – remoção da lignina dos esgostos

Empresas nacionais	Documentos de patente	Objeto da proteção
KBK Plásticos Ltda.	0301842-3	Usos da lignina - na composição com vistas a produção de perfis em que a composição é composta de 40 a 80% de resíduos ricos em lignina e 20 a 60% de material aglutinante (polímero termoplástico PE ou PP). Objetivo da adição da lignina é tornar o perfil mais leves, resistente e durável.
Oxiteno S.A. Indústria e Comércio	05000534-5	Remoção da lignina - dissolução parcial da lignina por meio de um solvente
Helucan Comercial Ltda	0704288-4	Outros relacionados a lignina - extração de celulose do pseudotronco de açaí
Precon Industrial S.A.	0804793-6	Remoção da lignina – tratamento de fibras de origem vegetal por meio de um tratamento termoquímico de deslignificação
Inovamat, Inovação em Materiais Ltda	0403046-0	Usos da lignina - no tratamento da madeira no qual os compostos de lignina introduzem modificações químicas na estrutura da madeira com o objetivo de eliminar o ataque microbiológico e de cupins

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

A Tabela 6.6 mostra que, diferentemente da tendência ilustrada na Tabela 6.4, há uma predominânia do tema “usos da lignina e seus derivados” nas invenções depositadas por empresas nacionais uma vez que dos 20 documentos encontrados, oito abordam este tema, enquanto sete reivindicam a remoção da lignina.

A Tabela 6.7 apresenta os documentos de patentes e os principais objetos de proteção conforme a taxonomia adotada para os 11 documentos de patentes depositados por inventores nacionais.

A Tabela 6.7 mostra que os documentos de patentes oriundos de inventores nacionais apresentam a seguinte distribuição: três referem-se a formas de “remoção da lignina”, dois a “usos da lignina e seus derivados” e seis abordam assuntos distintos relacionados ao tema “outros relacionados a lignina”.

Tabela 6.7 - Inventores nacionais depositantes

Inventores	Documentos de patente	Objeto da proteção
Paulo Antonio Baltazar Ramos	0702661-7	Outros relacionados a lignina - biodigestor que possibilita maior rendimento da geração de biogás
Bruce Wilson Giannetti	0701968-8	Remoção da lignina – o bagaço de cana é submetido a uma hidrólise ácida onde a celulose hidrolisada é mantida livre em suspensão com a lignina, que após passar por um trocador de calor há a separação por centrifugação: a lignina com partículas não hidrolisadas e o licor centrifugado vai para a produção de etanol.
José Railton Souza de Lima	0603891-3	Remoção da lignina - destilador móvel de material sólido
Luiz Fernando Avila Muniz Sérgio Leonidas de Souza Célicris Aparecida Buchman Dias Lady Chaine Muzika Pavoski	0402687-0	Outros relacionados a lignina - o processo de obtenção de celulose e papel reivindicado necessita de poucos reagentes químicos devido ao baixo teor de lignina e a facilidade da hidrolise
	0413063-4	Outros relacionados a lignina - o processo de obtenção de celulose e papel reivindicado necessita de poucos reagentes químicos devido ao baixo teor de lignina e a facilidade da hidrolise
Carlos Ricardo Soccol Radjiskumar Mohan Marguerite Germaine Ghislaine Quoirin	0104400-1	Outros relacionados a lignina - uso de material lignocelulósico (bagaço) como material de suporte na fase de enraizamento em processo de micropropação vegetal
Tarcísio Luzimar Barnabe Floriano Wendling Newton Flávio de Vasconcelos Jair da Mata Teixeira	0103959-8	Outros relacionados a lignina - composições de aglomerantes orgânicos para uso em pelotização
Paulo César Silva	0000775-7	Outros relacionados a lignina - uso do bagaço como um produto para adubação agrícola e alimentação animal
Fernando Marques de Sousa Carinhas Cassio Luiz Garcia Manfré	9705998-6	Usos da lignina para produção de ecocarvão - através de uma maquina de compactação de residuos vegetais
Francisco Inácio de Assis Rodrigues	9703918-7	Usos da lignina - residuos ricos em lignina juntamente com elementos sintéticos (PE e PP) para produção de chapa aglomerada sintética
Wagner David Gerber	9103450-7	Remoção da lignina – uso de água e hidróxido de sódio para retirada da lignina e obtenção da celulose a partir da casca do arroz

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

Por fim, a Tabela 6.8 apresenta os documentos de patentes e os principais objetos de proteção conforme a taxonomia adotada para os nove documentos de patentes depositados por universidades/centros de pesquisa nacionais.

Tabela 6.8 - Universidades/Centros de Pesquisa nacionais depositantes

Universidades/Centros de Pesquisa	Documentos de patente	Objeto da proteção
Universidade de Caxias do Sul	0702645-5	Outros relacionados a lignina - produção de enzimas para remoção de fenois tóxicos liberados durante a degradação da lignina
UFMG	0304736-9	Usos da lignina - a lignina isolada e purificada é utilizada como indicador em ensaio de digestabilidade em diferentes especies animais
EMBRAPA	0006399-1	Outros relacionados a lignina - processo de secagem acelerada da madeira
USP	0804169-5	Usos da lignina – para produção de carvão ativado usado para remoção de resíduos, especialmente na adsorção de metais
	9706078-0	Remoção da lignina – separar a lignina para produzir um bagaço digestível para ser usado como ração animal
	9402273-9	Outros relacionados a lignina - método para determinar e analisar teor de lignina
Universidade Federal de Pernambuco	0403445-7	Usos da lignina - produção de aldeídos aromáticos (vanilina, siringaldeído e p-hidroxibenzaldeído) a partir do licor negro lugnilico do bagaço através de um processo catalítico heterogeneo
Instituto Mauá de Tecnologia	0800635-0	Remoção da lignina – através da hidrólise incentivada por microondas onde a lignina é extraída por solventes como clorofórmio ou acetato de etila
Universidade de Brasília UNICAMP UFRJ	0705744-0	Remoção da lignina - através da hidrólise enzimática em que as enzimas rompem as ligações entre a lignina e os polissacaríedos da biomassa (em especial a hemicelulose)

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados INPI (2010)

A Tabela 6.8 mostra que os documentos de patentes oriundos de invenções de universidades/centros de pesquisa nacionais mostram a seguinte distribuição: três referem-se aos “usos da lignina e seus derivados”, três a formas de “remoção da lignina” e outros três abordam assuntos distintos relacionados ao tema “outros relacionados a lignina”.

Para sumarizar, observou-se que as invenções provenientes das empresas e universidades/centros de pesquisa nacionais se concentram nos “usos da lignina e seus derivados”, enquanto que aquelas depositadas por inventores nacionais abordavam “outros temas relacionados a lignina.

6.2 BASE DE DADOS *USPTO*

A base de dados do *USPTO* permitiu a realização de uma pesquisa de dados bibliográficos de documentos de patente, referente tanto a patentes concedidas como a pedidos de patente, depositados nos Estados Unidos.

6.2.1 **Patentes concedidas *(Issued patents)***

6.2.1.1 Análise macro

A Figura 6.4 apresenta a evolução dos depósitos dos 132 patentes concedidas nos Estados Unidos relacionadas a lignina durante o período analisado.

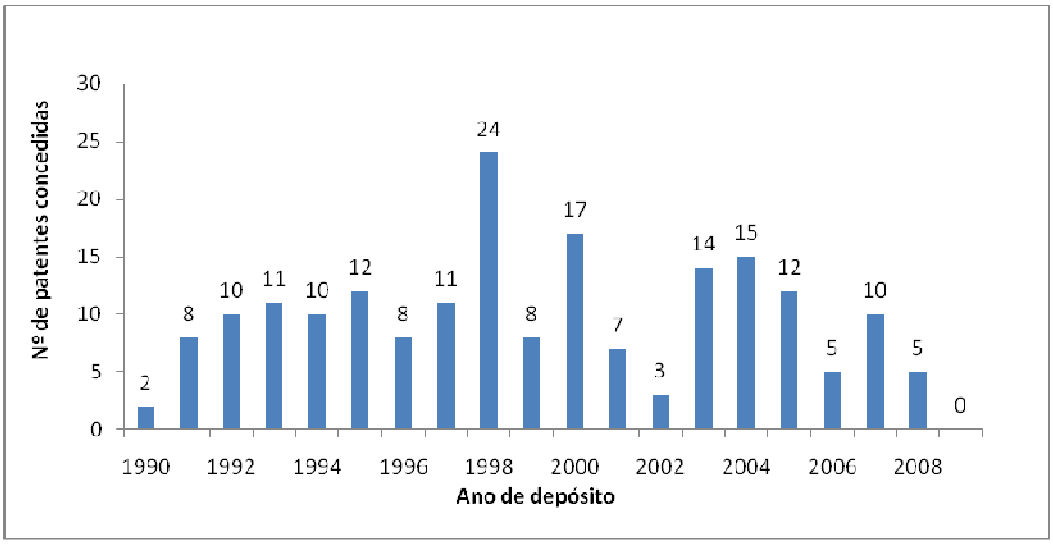


Figura 6.4 - Evolução do depósito de patentes concedidas - período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

A Figura 6.4 revela que a distribuição dos documentos não foi regular, concentrando maior número de depósitos no ano de 1998, mostrando ainda uma média de cerca de dez depósitos nos últimos seis anos (2003-2008).

Em relação ao país depositante da patente, os Estados Unidos se destacaram, com cerca de 56% do total de documentos analisados (75 patentes), seguido da Alemanha com 20 documentos, conforme ilustrado na Figura 6.5.

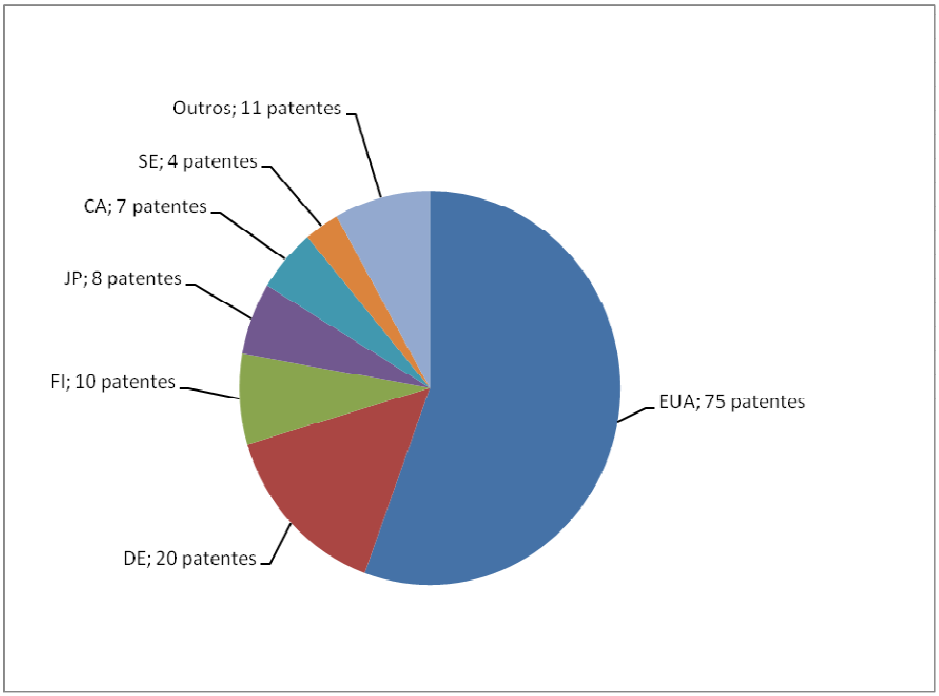


Figura 6.5 - Países de origem das patentes concedidas - período de 1990 a 2009
Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

Até o período entre 1990 e 2009, o Brasil obteve apenas uma patente concedida - número US 5,879,463, prioridade BR 9600672-2 - cujo depositante foi a empresa Dedini S/A Administração e Participações sediada em Piracicaba. Cabe destacar que a mesma foi concedida em 08/07/2003 e reivindica um processo contínuo de hidrólise ácida de material lignocelulósico, através da qual as operações de deslignificação e de sacarificação são realizadas em um único ciclo reacional, utilizando-se um solvente orgânico solubilizante de lignina e um ácido inorgânico forte extremamente diluído, e obtendo recuperações de açúcares altamente concentradas.

No que diz respeito aos tipos de depositante, a Figura 6.6 apresenta a distribuição da natureza jurídica dos depositantes identificados no presente estudo. Conforme pode ser observado, as empresas privadas são responsáveis pela maior parte dos depósitos, perfazendo um total de quase 68% dos depositantes identificados (90 documentos de patente). Em seguida, cerca de 17% dos depositantes (23 documentos de patente) referem-se a centro de pesquisa ou universidade e 16% se referem a pessoa física (21 documentos de patente), ou seja, o inventor como depositante.

Assim como visto nos documentos de patente depositados no INPI, também houve a existência de cotitularidade entre empresas e empresas e universidades ou centros de pesquisa, indicando assim a existência de cooperação entre instituições de naturezas distintas.

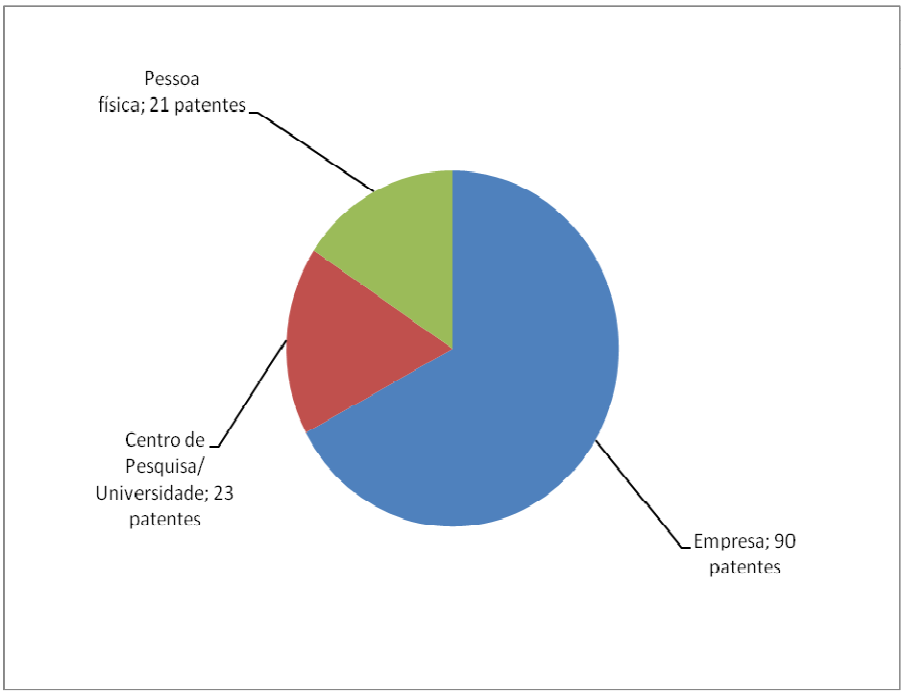


Figura 6.6 - Tipos de depositantes de patentes concedidas - período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

A Tabela 6.9 mostra as principais empresas depositantes de documentos de patente nos Estados Unidos, com no mínimo dois documentos depositados, bem como uma breve discrição de suas atividades.

Tabela 6.9 - Principais empresas depositantes nos Estados Unidos nas patentes concedidas

Principais depositantes	**Atividades**	**Nº de patentes**
Rutgerswerke Aktiengesellschaft	empresa alemã que atua na venda de produtos feitos a partir da madeira	6
Texaco Inc.	empresa americana que atua na exploração, produção e transporte de petróleo bruto e gás natural	5
Westvaco Corporation	empresa americana que atua nos mercados de proteção pessoal, cosméticos e especialidades químicas	5
Weyerhaeuser Company	empresa americana de produtos de construção, papel ecológico e de embalagem que utiliza como matéria-prima fibras de celulose	4
Ahlstrom Machinery Inc.	empresa finlandesa fabricante global de papéis de alta performance e compósitos de fibra para aplicações industriais	3
Henkel Corporation	empresa alemã que atua em diversos ramos da indústria química de cuidados pessoais e beleza até adesivos e selantes	3
Hercules Incorporated	empresa americana que produz especialidades químicas	3
Fraunhofer Gesellschaft zur Forderung der angewandten Forschung e.V.	organização alemã de pesquisa, que conta com 58 institutos espalhados por toda a Alemanha, cada um deles tendo seu foco em um campo diferente da ciência aplicada.	3
Neste Chemical Oy	empresa finlandesa de solventes, plastificantes, intermediários de revestimento, resinas adesivas e formaldeído	3
International Business Machines Corporation	empresa americada de computadores	2
Georgia-Pacific Resins, Inc.	empresa americana que atua em diversos segmentos e na Indústria Química em especial nas áreas de produtos químiscos, resinas e fibras de celulose.	2
Novo Nordisk A/S	empresa dinamarquesa de produtos faramacêuticos	2
Chempolis Oy	empresa filandesa que atua no desenvolvimento de processos tecnológicos não madereiros e que não utilizam alimentos visando a produção de soluções com aplicação industrial	2
Alcell Technologies Inc.	empresa canadense de papel e celulose	2

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *USPTO* (2010)

Através da análise da Tabela 6.9, verifica-se a diversidade de *players* mundiais que depositam invenções relacionadas a lignina no mercado norte-americano, englobando desde empresas de energia, petróleo, madeireira e produtos químicos até companias relecionadas a computadores como a International Business Machines Corporation.

Por fim, a Tabela 6.10 apresenta as universidades/centros de pesquisa, identificando a nacionalidade dos mesmos que tiveram patentes concedidas junto ao USPTO no período entre 1990 a 2009.

Tabela 6.10 - Universidades/Centros de Pesquisa depositantes nas patentes concedidas

Universidades/Centros de Pesquisa	**Nacionalidade**	**Número de patentes**
Midwest Research Institute	EUA	6
Regents of the University of Minnesota	EUA	2
Colorado State University Research Foundation	EUA	2
Center for Innovative Technology	EUA	2
Virginia Polytechnic Institute and State Unuiversity	EUA	2
State Board of Higher Education of Oregon State University	EUA	1
The University of new Brunswick	EUA	1
University of Nebraska-Lincoln	EUA	1
Administrator of the National Aeronautic & Space Administration	EUA	1
Board of Supervisor of Louisiana State University	EUA	1
Thapar Centre for Industrial Research & Development	Índia	1
Agricultural Utilization Research Institute	EUA	1
Secretary of Agricultural of the USA	EUA	1
Forestry and Forest Products Research Institute of Japan	Japão	1
Pulp and Paper Research Institute of Canada	Canadá	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *USPTO* (2010)

Das 23 patentes cujos depositantes se referem a este tipo de instituição a maior parte é de nacionalidade americana, com destaque para o Midwest Research Institute com seis patentes, abrangendo principalmente a separação da biomassa lignocelulósica em suas frações hemicelulose, celulose e lignina por meio de hidrólise .

6.2.1.2 Análise meso

A Tabela 6.11 mostra o número patentes encontradas e categorizadas de acordo com os principais objetos de proteção.

Tabela 6.11 - Principais objetos de protenção reivindicados nas patentes concedidas

Taxonomia	Número de patentes
Usos da lignina e seus derivados	69
Remoção da lignina	46
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	0
Outros relacionados a lignina	17
Total	132

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO (2010)

O resultado encontrado se mostra semelhante aquela obtido junto ao banco de dados do INPI, apenas com uma inversão: 69 patentes concedidas referem-se ao tema “usos da lignina e seus derivados” enquanto 46 são relacionados a “remoção da lignina” da planta. Cabe destacar ainda que não foram encontrados patentes que reivindicassem processos ou até mesmo variedades de plantas modificadas geneticamente com o intuito de reduzir o seu teor de lignina.

6.2.1.3 Análise micro

Os 69 documentos de patentes que se enquadraram na categoria “usos da lignina e seus derivados” foram mais detalhadamente analisados de modo a identificar as suas principais aplicações que são mostradas através da Tabela 6.12.

Tabela 6.12 - Principais usos da lignina e seus derivados nas patentes concedidas

Usos da lignina e seus derivados	Número de documentos de patente
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	16
Na composição de polímeros e/ou copolímeros	13
Na produção de produtos químicos – fenólicos, lignina sulfatada, ácido fórmico, derivados aromáticos, ácido sulfônico	8
Como surfactante	5
Na formulação de emulsão catiônica de asfalto ou composição betuminosa	5
Na produção de corpos ou artigos moldados	4
Na produção de placas de circuitos	2
Na produção de etanol	2
Em composições de natureza médica com aplicação na indústria farmacêutica	2
Na produção de combustível	1
Na formulação de matéria condutora ferromagnética	1
No tratamento de madeira	1
Na fabricação de laminados de madeira	1
Como solvente	1
Na fiação de fibra de carbono	1
Em composições biodegradáveis	1
Em composições formuladas a partir de derivados da lignina provenientes do tratamento do papel	1
Na formulação da ração animal e humana	1
Em composições de borracha na qual os derivados de lignina funcionam como agente oxidante	1
Em composições detergentes	1
Total	69

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *USPTO* (2010)

A Tabela 6.12 mostra que o principal uso da lignina nas patentes concedidas encontradas no banco de dados do *USPTO* é como adesivos, aglutinantes e plastificantes em diversos segmentos como nas indústrias de cimento, corante, painéis de madeira dentro outras. Este resultado também foi o mesmo identificado no banco de dados do INPI.

Foram encontrados ainda 13 documentos de patentes relacionados a composição de polímeros e copolímeros em que a lignina está presente na formulação dos mesmos de modo a conferir características especiais como dureza, rigidez, aumento ou redução de solubilidade e do seu carater fenólico e melhoria nas suas propriedades mecânicas e biodegradáveis.

Cabe destacar ainda a existência de: (i) oito documentos de patentes relacionados a produtos químicos como produtos fenólicos, aromáticos, ácido fórmico e ácido sulfônico dentre outros; (ii) dois documentos de patentes relacionadas a produção de etanol a partir de resíduos de materiais contendo lignina e (iii) um documento de patente referente a produção de combustível a partir de resíduos que contêm lignina.

6.2.2 **Pedidos de patente (*Applied patents*)**

6.2.2.1 Análise macro

A Figura 6.7 apresenta a evolução dos depósitos dos 15 pedidos de patentes realizados nos Estados Unidos relacionadas a lignina durante o período analisado. Observa-se que não há nenhum pedido de patente pendente em anos anteriores a 2002.

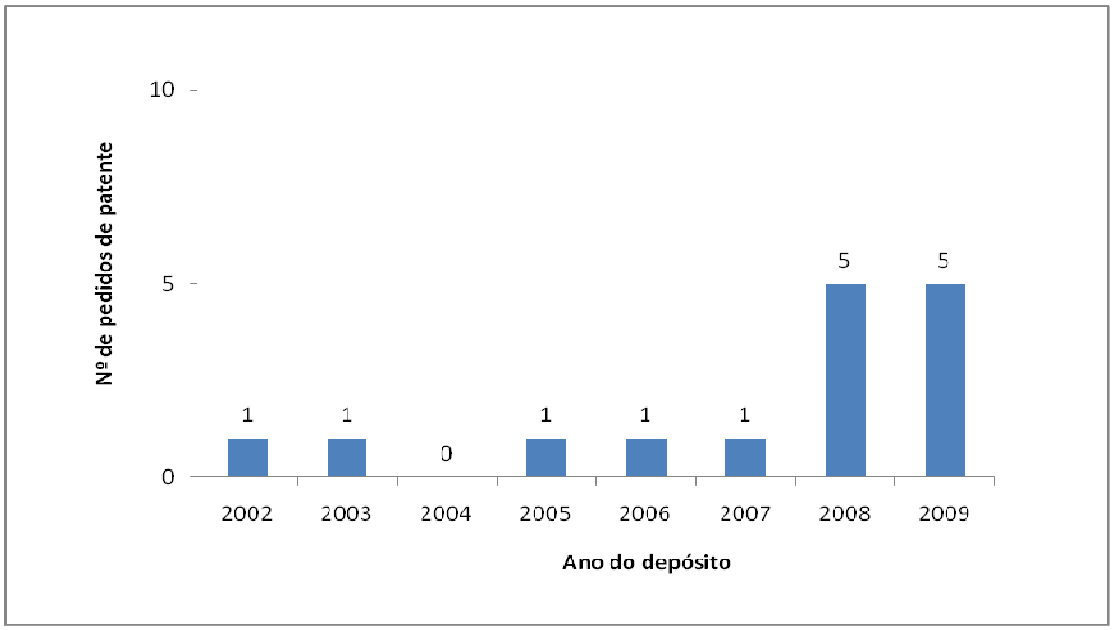


Figura 6.7 - Evolução do depósito de pedidos de patente - período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

Em relação ao país depositante dos pedidos de patente, os Estados Unidos se destacaram, com oito pedidos de patente, seguido de Japão com três, conforme ilustrado na Figura 6.8.

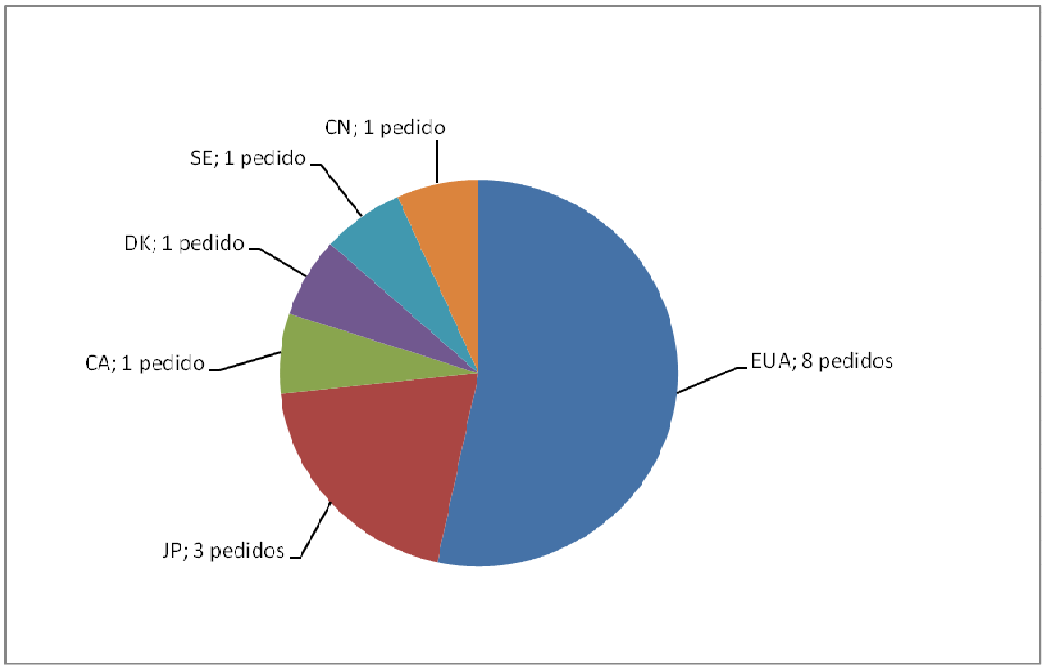


Figura 6.8 - Países de origem dos pedidos de patente - período de 1990 a 2009
Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

No que diz respeito aos tipos de depositante, a Figura 6.9 apresenta a distribuição da natureza jurídica dos depositantes identificados no presente estudo. Conforme pode ser observado, os inventores nacionais despositaram oito pedidos de patentes enquanto que as empresas depositaram sete.

A Tabela 6.13 mostra as empresas depositantes de pedidos de patente nos Estados Unidos, bem como uma breve descrição de suas atividades. Observando a mesma, verifica-se que a diversidade dos ramos de atuação das empresas depositantes de pedidos de patentes, abrangendo áreas de atuação em energia, agricultura e papel & celulose.

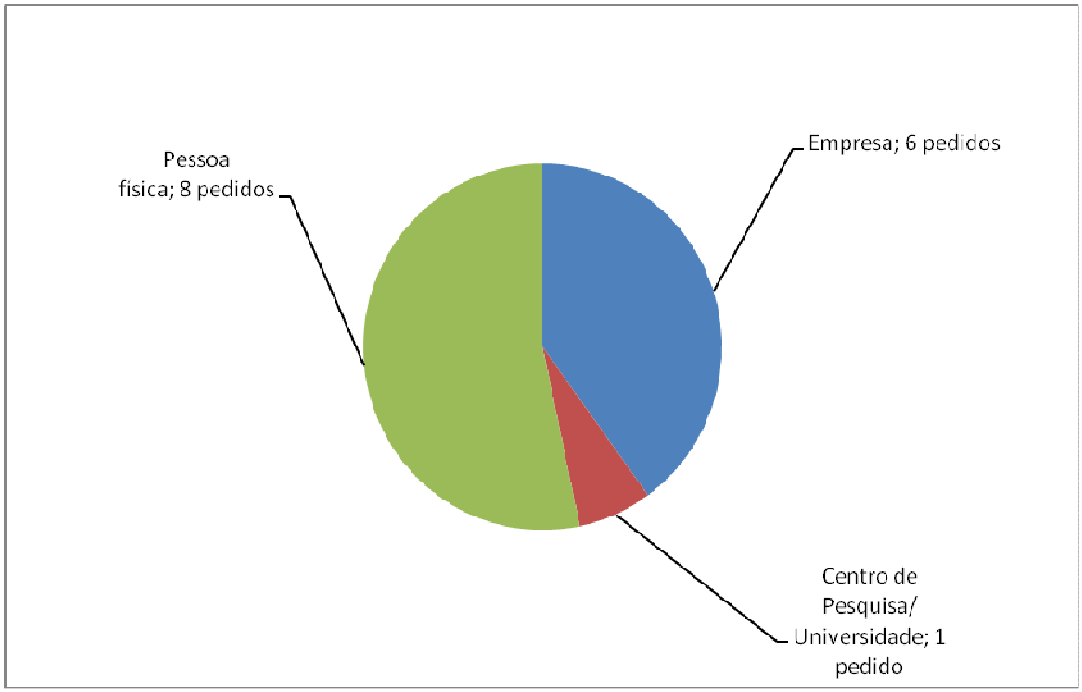


Figura 6.9 - Tipos de depositantes dos pedidos de patentes – período de 1990 a 2009

Fonte: Base de dados *USPTO* (2010)

Tabela 6.13 - Principais empresas depositantes nos Estados Unidos nos pedidos de patentes

Principais depositantes	Atividades	Nº de documentos
Weyerhaeuser Company	Empresa americana de produtos de construção, papel ecológico e de embalagem que utiliza como matéria-prima fibras de celulose	1
Sugar Industry Innovation Pty Ltd	Empresa americana de soluções para a indústria do açúcar vinculada a Universidade de Queensland	1
Andritz Inc.	Empresa americana que atua na personalização de planta, sistemas e serviços para a hidrelétrica, a de papel e celulose, aço e outras indústrias especializadas	1
Toyo Tire & Rubber Co., Ltd.	Empresa japonesa que atua na produção de pneus	1
Lignol Innovations Ltd.	Empresa canadense que atua no setor de biorrefinarias para produção de etanol de grau combustível e bioquímicos a partir da biomassa	1
Novozymes A/S	Empresa dinamarquesa que provê soluções tecnológicas em áreas de energia, agricultura, farmacêutica, textil, etc.	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *USPTO* (2010)

Cabe destacar ainda a presença de uma única universidade, a norte-americana Universidade de Maine, que depositou um pedido de patente ainda pendente de concessão durante o período analisado.

6.2.2.2 Análise meso

A Tabela 6.14 mostra o número pedidos de patentes encontrados que foram categorizados de acordo com os principais objetos de proteção em conformidade com a taxonomia adotada.

Tabela 6.14 - Principais objetos de protenção reivindicados nos pedidos de patente

Taxonomia	**Número de pedidos de patente**
Usos da lignina e seus derivados	7
Remoção da lignina	6
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	0
Outros relacionados a lignina	2
Total	15

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *USPTO* (2010)

O resultado encontrado se mostra semelhante aquele obtido junto ao banco de dados do *USPTO* para patentes concedidas, onde os pedidos de patente se concentram nos temas “usos da lignina e seus derivados” e “remoção da lignina”. Ressalta-se ainda que não foram encontrados pedidos de patentes que reivindicassem processos ou até mesmo variedades de plantas modificadas geneticamente com o intuito de reduzir o seu teor de lignina.

6.2.2.3 Análise micro

Os sete pedidos de patentes que se enquadraram na categoria “usos da lignina e seus derivados” foram mais detalhadamente analisados de modo a identificar as suas principais aplicações que são mostradas através da Tabela 6.15.

Tabela 6.15 - Principais usos da lignina e seus derivados

Usos da lignina e seus derivados	Número de documentos de patente
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	2
Na composição de polímeros e/ou copolímeros	1
Na produção de combustível	1
Na produção de produtos químicos – fenólicos	1
Na formulação de emulsão catiônica de asfalto ou composição betuminosa	1
Na composição de pneus	1
Total	7

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO (2010)

A Tabela 6.15 mostra que a aplicação da lignina como adesivo, aglutinante ou plastificante foi objeto de reivindicação de dois pedidos de patentes, seguido de aplicações como na composição de polímeros, combustíveis e produtos químicos também verificadas nas demais bases.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os resultados gerais das duas bases consultadas – INPI e *USPTO* pode-se verificar que:

- como esperado, os norte-americanos desempenham o papel de liderança. Na base brasileira, os documentos de patente cujo depositário é de origem nacional está em segundo lugar, atrás dos EUA; no entanto, na base americana houve apenas uma patente concedida cujo depositante é a empresa Dedini S/A. Nota-se ainda nas duas bases que os países como Dinamarca, Finlândia, Suécia, Canadá, possuem uma preocupação maior em proteger as invenções por meio do sistema patentário.

- nos casos de documentos de patentes observa-se que as empresas correspondem a maior parte dos depositantes divulgados.

- quanto ao objeto de proteção reivindicada, observam-se as primeiras diferenças entre as bases consultadas, pois de acordo com a base de dados do INPI a maior parte dos documentos de patentes relacionados a lignina reivindicam a “remoção da lignina” seguida de “usos da lignina e seus derivados”; enquanto que de acordo com as bases

de dados do *USPTO*, tanto de patentes concedidas como pedidos, há uma inversão nessas posições.

- na base de dados do INPI, os principais usos da lignina são: (i) como adesivos, aglutinantes e plastificantes, (ii) na produção de produtos químicos variáveis, (iii) na formulação de biocidas, pesticiadas e bactericidas, (iv) na fabricação de aglomerados e painéis de madeira, e (v) como combustíveis e biocombustíveis.

- ainda com relação a base de dados do INPI, mas considerando apenas os documentos de patentes oriundos de depositantes de origem nacional (total de 40), observa-se que em 20 os titulares são empresas, 11 são os inventores e nove são universidades/centros de pesquisa. Entre estes destacam-se os seus usos na produção de : combustível de celulignina; ecocarvão; aldeídos aromáticos, óleo emulsificante; remoção de poluentes, fibra dietética, perfis plásticos, tratamento da madeira, chapa aglomerada sintética, carvão ativado e indicador de sustentabilidade.

- na base de dados do *USPTO* (patentes concedidas), observa-se que os principais usos da lignina reivindicados são bem parecidos com aqueles encontrados na base de dados do INPI: (i) como adesivos, aglutinantes e plastificantes, (ii) na composição de polímeros e/ou copolímeros e (iii) na produção de produtos químicos.

- na base de dados *USPTO* (pedidos de patentes), verifica-se que os usos da lignina reivindicados se relacionam a sua utilização como adesivos, aglutinantes e plastificantes e outras aplicações relacionadas ao conceito de biorrefinaria.

- cabe destacar ainda que as informações constantes do item 6.1.3.1 subsdiará na construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil, uma vez que: (i) só foi encontrada uma única patente brasileira concedida no banco de dados do *USPTO* – patentes concedidas (US 5,879,463 que corresponde a BR 9600672-2, já considerada no item mencionado) e (ii) não foi encontrado nenhum pedido de patente brasileiro no banco de dados *USPTO* – pedidos de patente.

- Nota-se ainda a ausência de documentos de patentes depositados pela Petrobras, um importante player no Brasil. Isto pode indicar que as pesquisas sobre a lignina ainda encontram-se insipientes ou ainda não amadurecidas.

A Tabela 6.16 mostra a consolidação dos principais resultados obtidos a partir da consulta as bases de dados do INPI e *USPTO*. Cabe destacar ainda que as diferenças

referentes aos documentos de patentes oriundos das bases do INPI e *USPTO* podem ser justificadas pelo fato de que as metodologias de busca foram distintas, tendo em vista as opções de busca disponibilizadas nas referidas bases.

Tabela 6.16 – Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO* – período entre 1990 a 2009

Resultados	**INPI**	***USPTO* – patentes concedidas**	***USPTO* – pedidos de patente**
Documentos encontrados	192	132	15
País com maior número de documentos	US – 62 BR - 40	US – 75 DE- 20	US – 8 JP -3
Documentos de origem nacional	40	1 (*)	0
Principais instituições	Neste Chemical Oy – 6 Novo Nordisk A/S - 6	Rutgerwerke Aktiengesellschaft – 6 Texaco Inc. – 5 Westvaco Corporation - 5	Weyerhaeuser Company, Sugar Industry Innovations Pty, Andritz Inc., Toyo Tire & Rubber Co., Lignol Innovations e Novozymes A/S - 1
Principal objeto de proteção			
Usos da lignina e seus derivados	58	69	7
Remoção da lignina	65	46	6
Alteração da genética da planta	19	0	0
Principais usos da lignina e seus derivados			
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	9	16	2
Na composição de polímeros e/ou copolímeros	0	13	1
Na produção de produtos químicos	5	8	1
% do total de usos da lignina e seus derivados	24,14%	53,62%	57,17%
% do total de documentos encontrados	7,29%	28,03%	26,67%
(*) patente também encontrada na base de dados do INPI			
OBS: Os pedidos de patentes concedidos são migrados automaticamente para a base de patentes concedidas, não existindo duplicação de registro nas bases consultadas no *USPTO.*			

Fonte: Elaboração própria a partir de bases de dados do INPI e *USPTO* (2010)

7 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – ARTIGOS CIENTÍFICOS

O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os principais resultados obtidos a partir de artigos científicos relacionados a aplicações da lignina proveniente de materiais lignicelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais no Brasil. A busca foi realizada na base de dados do site do *Science Direct* e *Web of Science* conforme Metodologia apresentada no Capítulo 5.

As informações extraídas, em cada base, nas análises macro, meso e micro fornecem um panorama mundial do tema, enquanto aquelas provenientes dos artigos oriundos de instituições brasileiras subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil a ser apresentado no Capítulo 9.

7.1 BASE DE DADOS *SCIENCE DIRECT*

A base de dados do *Science Direct* é uma das bases mais completas de artigos científicos, em diversas áreas do conhecimento, que permitiu identificar tendências tecnológicas sobre o tema objeto de estudo da tese.

7.1.1 **Análise macro**

A Figura 7.1 apresenta a evolução dos 196 artigos científicos relacionadas a lignina durante o período analisado de 1990 a 2009. A distribuição dos artigos não foi regular, mostrando que os anos de 2004 e 2008 foram os anos com maior concentração de artigos publicados; além disso, observa-se nos últimos anos um aumento no número de artigos relacionados ao tema.

A Tabela 7.1 proporciona um panorama dos países de origem das pesquisas publicadas nos artigos científicos. A análise da distribuição dos países nos quais se originaram as tecnologias revelou que Estados Unidos publicam o maior número de artigos cientificos, com cerca de 25% do total de documentos encontrados. O Brasil contribui com seis artigos científicos.

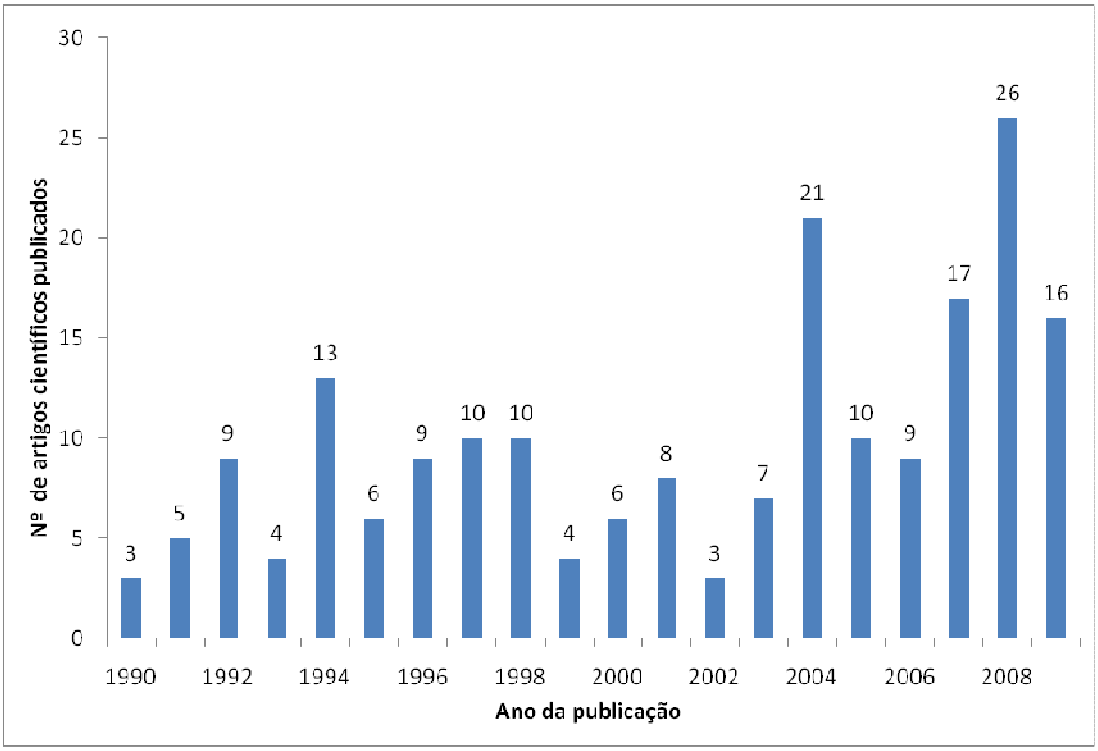


Figura 7.1 - Evolução dos artigos científicos publicados - período de 1990 a 2009

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

Tabela 7.1 - Países de origem dos artigos científicos

Países	Número de artigos científicos
EUA	49
França	25
Holanda	19
Canada	18
Reino Unido	18
Itália	11
China	11
Alemanha	11
Espanha	10
Japão	10
Suécia	10
Australia	8
Brasil	6

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

A Figura 7.2 apresenta a distribuição das instituições que desenvolveram pesquisas sobre o tema e publicaram os artigos científicos identificados no presente estudo.

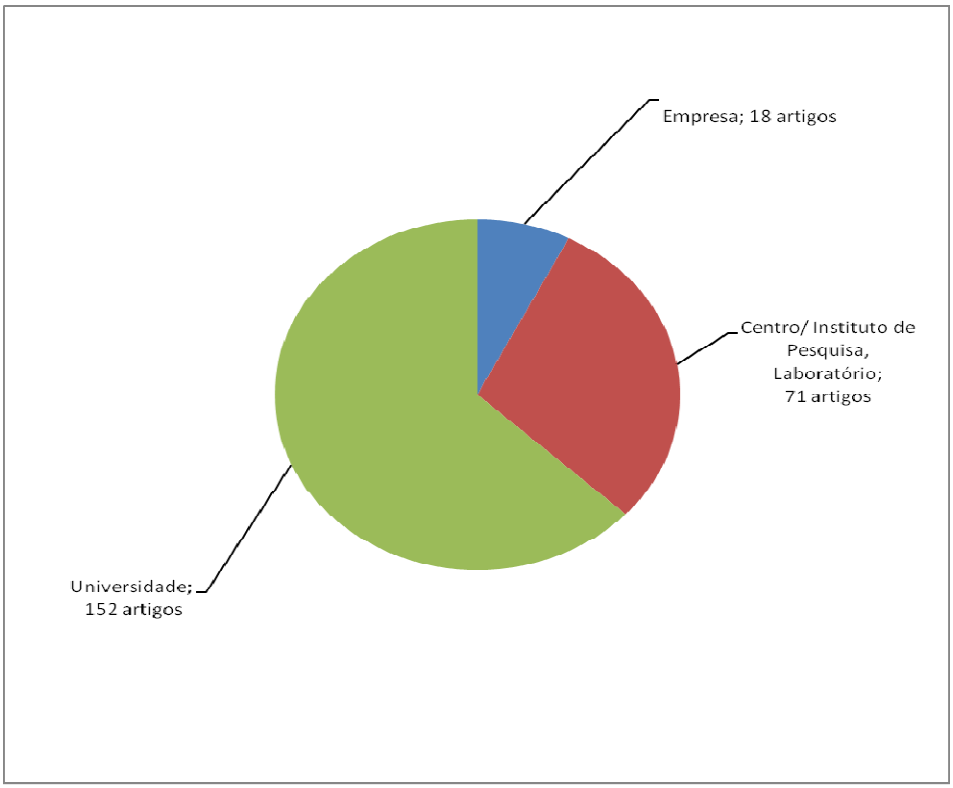


Figura 7.2 - Tipos de instituições que publicaram artigos científicos

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

Conforme pode ser observado, as universidades são responsáveis pelo maior número de publicações, perfazendo um total de 77,6% dos artigos científicos identificados. Em seguida, 36,2% dos artigos foram publicados por centros/institutos de pesquisa ou laboratórios e 9,2% foram publicados por empresas.

Assim como observado nos depósitos de documentos de patentes na base de dados do *USPTO*, foi verificada a existência de co-titularidade entre os diferentes tipos de instituições a saber: (i) 32 artigos oriundos de parcerias entre universidades e centros/institutos de pesquisa/laboratórios; (ii) nove artigos oriundos de parcerias entre universidades e empresas; e (iii) quatro artigos oriundos de parceria entre centros/institutos de pesquisa/laboratórios e empresas. A busca de parcerias torna-se

bastante interessante quando as instituições possuem competências complementares e existe o interesse comum no desenvolvimento da tecnologia de forma a aperfeiçoar os recursos existentes, visando explorar as potencialidades de cada uma das instituições.

A Tabela 7.2 mostra que as principais universidades que desenvolvem pesquisas sobre o tema, bem como o país onde a mesma está localizada.

Tabela 7.2 - Principais universidades

Nome	Nº de artigos científicos	País
University of London	5	Inglaterra
Université Bordeaux	4	França
Washington State University	4	EUA
McGill University	3	Canadá
North Carolina State University	3	EUA
University of British Columbia	3	Canadá
University of Helsinki	3	Finlândia
University of Minnesota	3	EUA
University of Wales	3	Inglaterra

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

A Tabela 7.3 apresenta um detalhamento dos seis artigos científicos publicados por instituições brasileiras, informando ainda as parcerias com instituições estrangeiras e/ou nacionais.

A Tabela 7.3 ainda mostra que a maior parte dos artigos científicos foi feito em parceria com outras instituições internacionais, o que demonstra o interesse que este tema de pesquisa desperta na comunidade internacional e a necessidade de parcerias para o desenvolvimento do mesmo.

Tabela 7.3 - Instituições brasileiras e parcerias com instituições estrangeiras e/ou nacionais

Nome	Parceria com Instituições Estrangeiras
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Texas A&M University (EUA) Universitá di Sassari (Itália)
Universidade Federal de Uberlândia	Université Bordeaux (França)
USP	University of Gavle (Suécia)
USP	Université Bordeaux (França) Station de la Bretagne (França)
Unicamp	Latvian State Institute of Wood Chemistry (Letônia) Tallinn Technical University (Estônia)
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	-

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

7.1.2 **Análise meso**

Após a leitura criteriosa do resumos dos artigos científicos, os mesmos foram categorizados de acordo com a taxonomia utilizada nos documentos de patentes, conforme mostrado na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme artigos científicos encontrados

Taxonomia	Número de artigos científicos
Usos da lignina e seus derivados	70
Remoção da lignina	11
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	6
Outros relacionados a lignina	109
Total	196

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados Science Direct (2010)

O resultado da Tabela 7.4 mostra que a maior parte dos artigos científicos refere-se a novos “usos da lignina e seus derivados”, revelando assim que as pesquisas estão sendo direcionadas para novos usos de subprodutos de modo a reduzir a sua produção e agregar valor ao processo, em especial devido a produção de produtos para a Indústria Química. Este resultado também foi o mesmo encontrado na base de dados do *USPTO*.

Diferentemente dos resultados encontrados nos documentos de patentes, tanto na base de dados do INPI quanto na do *USPTO* (patentes concedidas e pedidos de patente), há um menor interesse na remoção da lignina ou na alteração da genética da planta para reduzir seu teor.

7.1.3 **Análise micro**

Seguindo a mesma premissa adotada na análise dos documentos de patentes, os 70 artigos científicos que se enquadraram na categoria “usos da lignina e seus derivados” foram mais detalhadamente analisados de modo a identificar as suas principais aplicações mostradas através da Tabela 7.5.

Destaca-se que existem artigos científicos encontrados na pesquisa que abordam mais de uma aplicação de acordo com a Tabela 7.5, a saber: (i) cinco artigos que abrangem a produção de produtos químicos e biocombustíveis; (ii) um artigo que abrange a produção de produtos químicos, a compoisção de polímero e a produção de biocombustível; (iii) um artigo que abrange a composição de polímero e a formulação de adesivo; e (iv) um artigo que abrange a produção de produto químico e a composição de polímero.

Tabela 7.5 - Principais usos da lignina e seus derivados

Usos da lignina e seus derivados	Número de artigos científicos
Na produção de produtos químicos - BHT, tocofenol, compostos aromáticos (fenólicos - catecol, fenol, cresol), p-hidroxifenila, guaiacila, sirigila, cetonas, aldeídos, ácidos carboxílicos)	25
Na composição de polímeros e/ou copolímeros - resinas/biopolímeros/termoplásticos	17
Na produção de biocombustível	11
Como dispersante (remoção de contaminantes)	7
Como adesivos, aglutinantes, ligantes e plastificantes	5
Como adsorventes	3
Na produção de energia	3
Na fabricação de laminados de madeira/painéis	2
Na produção de baterias, placas de circuito	2
Na produção de ração animal (fibra)	2
Na produção de herbicidas, pesticidas	1
Como inibidor de crescimento de espermatozoides de ouriço do mar	1
Na produção de fertilizantes	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

A Tabela 7.5 aponta que o principal uso da lignina descrita nos artigos científicos encontrados na busca é na produção de produtos destinados a Indústria Química, também comumente chamado de bioprodutos (*biobased chemicals*). Considerando que os três primeiros usos apontados na referida Tabela ("na produção de produtos químicos", "na composição de polímeros e/ou copolímeros" e "na produção de biocombustível") respondem por cerca de 75,7% do total de artigos encontrados para os "usos da lignina e seus derivados" os mesmos serão destacados a seguir.

7.1.3.1 Na produção de produtos químicos

Foram encontrados 25 artigos relacionados à produção de produtos químicos com destaque para aqueles de natureza aromática, sendo os mesmos classificados de acordo com a Tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Produtos químicos citados

Grupos	Produtos químicos citados
Compostos fenólicos	fenol, tocofenol, polifenóis, p-hidroxifenil, flavonóide, siringol
Químicos Benzeno-Tolueno-Xileno (BTX)	butil-hidroxi-tolueno (BHT), aromáticos,
Produtos oxidados	siringila, vanilina, aldeídos
Polióis aromáticos	m-p-cresol, o-cresol, catecol
Alifáticos	n-alquenos, n-alcanos, alquenos e alcanos ramificados
Ácidos aromáticos	ácidos fenólicos

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

Os produtos químicos identificados na Tabela 7.6 são em sua maioria produtos petroquímicos de primeira, segunda e terceira geração o que revela a possibilidade de substituição do petróleo pela biomassa lignocelulósica, em estruturas análogas as refinarias de petróleo, as chamadas novas plataformas baseadas em fontes renováveis, que foram ilustradas na Figura 3.2.

7.1.3.2 Na composição de polímeros e/ou copolímeros

Foram encontrados na busca 17 artigos relacionados à composição de polímeros e copolímeros que estão listados na Tabela 7.7.

Da análise da Tabela 7.7 é possível verificar que o “uso da lignina e seus derivados” na composição de polímeros e/ou copolímeros apresenta uma série de vantagens de diversas naturezas tais como: de cunho econômico como disponibilidade de uma matéria-prima renovável e de baixo custos; e de cunho processual como melhorar as propriedades dos polímeros que se deseja produzir de acordo com a aplicação industrial ou ainda reduzir custos de produção e processamento.

Tabela 7.7 - Polímeros/Copolímeros produzidos a partir da lignina

Polímero/Copolímero	Nº de artigos citados	Vantagem do uso da lignina
Resina de formaldeido-fenol	4	lignina como uma alternativa promissora natural a produtos petroquímicos
Resina fenólica	4	aumentar a compatibilidade entre as fibras e resinas fenólicas em compósitos
Polímero de lignina	2	presença de grupos fenólicos e aumentar a sua recalcitrância devido à menor acessibilidade das moléculas enzimas degradantes
Polímeros alifáticos	2	produção de macromoléculas de alquenos e alcanos ramificados
Misturas miscíveis de lignina e PVC	1	aumento da rigidez devido a presença de componentes fenólicos
Misturas miscíveis de lignina com PEO (poli oxido de etileno) ou PET (polietileno tereftalato)	1	alteração das propriedades viscoelásticas provocada pela lignina
Copolímero de lignina da celulose de palha com cresol	1	substituto para as resinas fenólicas normais
Polímero dehidrogenado	1	explorar as propriedades físico-químicas do composto modelo de lignina
Polímeros catiônicos e aniônicos solúveis em água	1	a lignina provoca um aumento na adsorção do polímero

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

7.1.3.3 Na produção de biocombustível

Foram encontrados na busca 11 artigos relacionados a produção de biocombustíveis que estão listados na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 - Biocombustíveis produzidos a partir da lignina

Tema da pequisa abordados nos artigos	Nº de artigos
Produção de biocombustíveis a partir da lignina obtida do processo kraft	5
Produção de biocombustíveis de 2ª geração	3
Produção de biocombustível a partir da lignina purificada por meio de ultrafiltração	1
Produção de líquidos orgânicos para a utilização como biocombustível	1
Produção de biocombustível para gaseificação de biomassa	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

A maior parte dos artigos que foram categorizados em “usos da lignina e seus derivados” para a “produção de biocombustível” estão relacionados a produção dos mesmos a partir da lignina obtida via processo kraft, sendo esta produzida como resíduo do polpeamento para a produção de papel.

7.1.3.4 Artigos oriundos de instituições brasileiras

A Tabela 7.9, que complementa as informações prestadas na Tabela 7.3, apresenta os temas relacionados a lignina em conformidade com a taxonomia adotada no Capítulo 5.

A Tabela.7.9 mostra que a maior parte das pesquisas brasileiras se concentra no tema “outros relacionados a lignina”; apenas um dos artigos de origem nacional abordou o “uso da lignina e seus derivados” como ligante para produzir painéis de madeira oriundo da uma parceria da UNICAMP com instituições da Letônia e da Estônia.

Cabe destacar ainda que três artigos envolvem estudos relacionados a propriedades de fibras de bagaço de cana, curaua e outros cuja composição é em grande parte composta de lignina.

Tabela 7.9 - Instituições brasileiras e temas relacionados a lignina

Nome	Parceria com Instituições Estrangeiras	Taxonomia
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Texas A&M University (EUA) Universitá di Sassari (Itália)	Outros relacionados a lignina – modelo de previsão de digestabildiade e preenchimento de fibra insolúvel alimentar
Universidade Federal de Uberlândia	Université Bordeaux (França)	Outros relacionados a lignina – estudo das propriedades dos tetrahidrocurcuminóides com algumas características fotoquímicas e fotofísicas semelhantes as das ligninas do tipo guaiacila
USP	University of Gavle (Suécia)	Outros relacionados a lignina – estudo da durabilidade de argamassas reforçados com fibra de coco, onde o teor da lignina da fibra foi medido pelo método do brometo de acetila
USP	Université Bordeaux (França) Station de la Bretagne (França)	Outros relacionados a lignina – estudo da modificação química de fibras do bagaço de cana e curaua por meio da oxidação da lignina pelo dióxido de cloro e reação de unidades insaturadas com alcool furfurílico
Unicamp	Latvian State Institute of Wood Chemistry (Letônia) Tallinn Technical University (Estônia)	Uso da lignina - como ligante para produzir painéis de madeira
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	-	Outros relacionados a lignina – estudos sobre a distribuição de massa molecular e características estruturais dos polímeros obtidos a partir de lignina solúvel em ácido tratado por enzimas oxidativas

Fonte: Elaboração própria a partir da base da dados *Science Direct* (2010)

7.2 BASE DE DADOS *WEB OF SCIENCE*

Assim como a base de dados do *Science Direct*, a do *Web of Science* reúne um acervo dos mais completos no que se refere a artigos científicos, cobrindo um vasto ramo do conhecimento o que permite a identificação de tendências tecnológicas sobre o tema objeto de estudo da tese.

7.2.1 **Análise macro**

A Figura 7.3 apresenta a evolução dos 649 artigos científicos relacionadas a lignina durante o período analisado de 1990 a 2009. A distribuição dos documentos mostra um crescimento contínuo a partir de 2005.

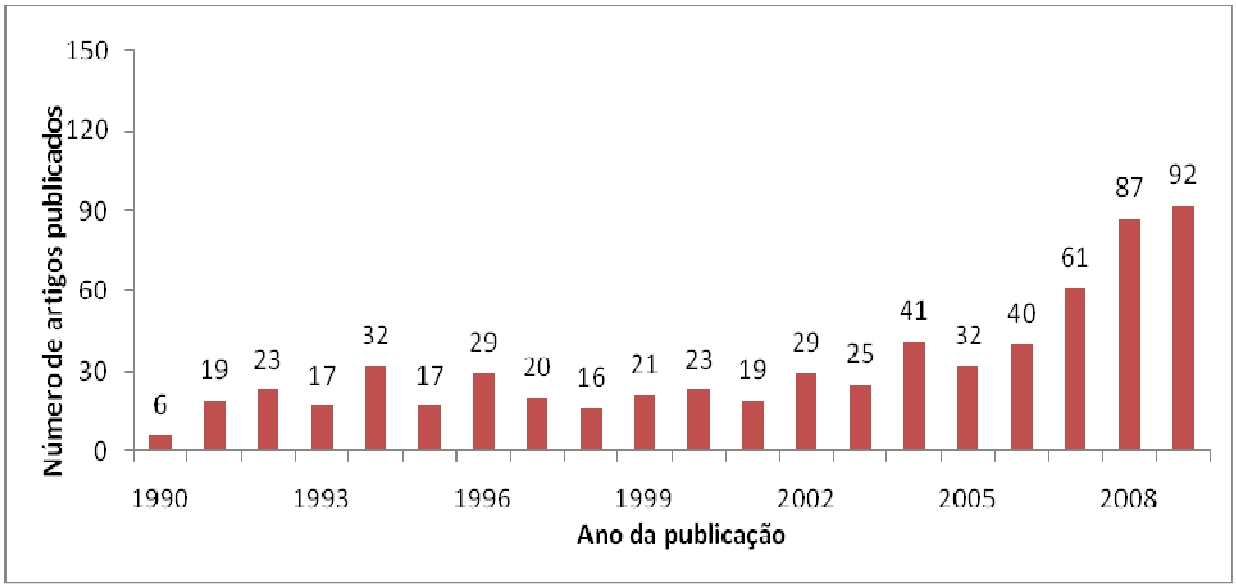


Figura 7.3 - Evolução dos artigos científicos publicados - período de 1990 a 2009
Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

A Tabela 7.10 proporciona um panorama dos países de origem das pesquisas publicadas nos artigos científicos. A análise da distribuição dos países nos quais se originaram as tecnologias revelou que um em cada quatro artigos publicados é originado de instituições americanas.

No que diz respeito aos tipos de instituições, foi verificado que a maior parte das publicações de artigos científicos foram fruto de pesquisas realizadas por universidades e centros/institutos de pesquisa, assim como também foi observado na base de dados do Science Direct.

A Tabela 7.11 mostra as principais instituições que desenvolvem pesquisas sobre o tema, observando que apenas duas instituições – a Pulp & Paper Research

Institute Canada e INRA – desenvolvem pesquisa e desenvolvimento, havendo assim um predomínio de universidades.

Em que pese os EUA serem o país com maior número de contribuições de artigos científicos sobre o tema apenas duas instituições americanas se encontram entre aquelas que mais publicaram sobre o assunto estudado, indicando assim que o mesmo desperta a atenção de diversas instituições mundiais.

Tabela 7.10 - Países de origem dos artigos científicos

Países	Número de artigos científicos
EUA	166
Canada	63
Japão	60
Suecia	47
França	47
Alemanha	35
China	34
Espanha	28
Italia	26
Inglaterra	25
Finlandia	23
India	22
Eslovaquia	16
Brasil	13

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Tabela 7.11 - Principais instituições

Nome	Numero de artigos científicos	Tipo de instituição/país
Chalmers	21	Universidade - Suécia
Pulp & Paper Research Institute Canada	17	Instituto de pesquisa – Canadá
Tokyo Univ	13	Universidade - Japão
Univ British Columbia	12	Universidade - Canadá
North Carolina State Univ	11	Universidade – EUA
Nagoya Univ	11	Universidade – Japão
Georgia Inst Technology	10	Universidade de pesquisa - EUA
INRA	9	Instituto de pesquisa - França
Kyoto Univ	9	Universidade - Japão
S China Univ Technology	9	Universidade - China

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

A universidade sueca de Chalmers também foi a instituição que mais publicou artigos, perfazendo um total de 21. A Tabela 7.12 mostra as instituições brasileiras que publicaram artigos científicos, de acordo com a base de dados consultada, mostrando ainda as parcerias formadas com instituições nacionais e de outros países.

Tabela 7.12 - Instituições brasileiras e parcerias com instituições estrangeiras e/ou nacionais

Nome	Parceria com Instituições Estrangeiras
UFRJ	-
Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (*)	Texas A&M Univ (EUA) Univ Sassari (Italia)
Universidade Federal de Viscoça	North Carolina State Univ (EUA)
Univ. Federal de São Carlos UNESP UNOESTE USP	Univ Winsor (Canada)
USP Ctr Univ Salesiano São Paulo	-
Universidade Federal de Visçosa	-
USP (*)	Univ. Gavle (Suécia)
Universidade Federal de Pernambuco	Univ. Concepcion (Chile)
UFRJ, Universidade Federal do Pará e Fiocruz	-
UNICAMP (*)	Latvian State Inst Wood Chem (Letônia) Tallinn Tech Univ (Estonia)
USP (*)	Univ Bordeaux (França) Station de la Bretagne (França)
Universidade Federal do Parana	-
UniversidadeFederal de Uberlândia	Univ Bordeaux (França)

(*) Artigos encontrados na base de dados *Science Direct*

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Com relação a Tabela 7.12 destaca-se que os artigos descritos a seguir também foram encontrados na base de dados do *Science Direct*: (i) Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro em parceria com as universidades do Texas A&M (EUA) e

Sassari (Italia); (ii) USP em parceria com a Universidade de Gavle (Suécia); (iii) UNICAMP em parceria com as Universidades de Latvian State Inst Wood Chem (Letônia) e Tallinn Tech (Estônia); e (iv) USP em parceria com a universidade de Bordeaux (França) e Station de la Bretagne (França).

Cabe destacar que também foram encontrados outros artigos coincidentes nas bases do *Science Direct* e *Web of Science*. Os mesmos não serão apontados aqui tendo em vista que somente as informações de instituições brasileiras foram consideradas na elaboração do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.

7.2.2 **Análise meso**

Após a leitura criteriosa do resumos dos artigos científicos, os mesmos foram categorizados de acordo com a taxonomia utilizada nos documentos de patentes e os resultados encontrados são mostrados na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme artigos científicos encontrados

Taxonomia	**Nº de artigos científicos**
Usos da lignina e seus derivados	200
Remoção da lignina	138
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	18
Outros relacionados a lignina	293
Total	649

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

O resultado da Tabela 7.13, focando apenas as três grandes áreas identificadas na taxonomia adotada, mostra que a maior parte dos artigos científicos abordam os “usos da lignina e seus derivados”. Este resultado foi o mesmo obtido na base de dados do *Science Direct* e nas patentes concedidas e nos pedidos de patente encontrados na base de dados do *USPTO*.

No entanto, diferentemente do encontrado na outra base de dados de artigos científicos consultada (*Science Direct*), é possível verificar um interesse maior nas

formas de remoção da lignina considerando que 138 artigos foram enquadrados neste tema, o que corresponde a cerca de 21,3% dos registros encontrados.

7.2.3 **Análise micro**

Seguindo a mesma premissa adotada na análise dos documentos de patentes, os 200 artigos científicos que se enquadraram na categoria "usos da lignina e seus derivados" foram mais detalhadamente analisados de modo a identificar as suas principais aplicações mostradas através da Tabela 7.14.

Tabela 7.14 - Principais usos da lignina e seus derivados

Usos da lignina e seus derivados	**Nº de artigos científicos**
Na composição de polímeros e/ou copolímeros - resinas/biopolímeros/termoplásticos	44
Na produção de produtos químicos - aromáticos, guaiacila, siringila, aldeídos, compostos fenólicos	42
Como adesivos, aglutinantes, ligantes e plastificantes	30
Na produção de energia (vapor, termica, combustivel)	24
Como dispersante em várias aplicações industriais	18
Na produção de biocombustível	13
Como materia-prima para biorrefinaria	10
Em eletrodos de células de energia química	4
Como adsorvente (na formulação de géis de adsorção, polieletrólito)	3
Na produção de asfalto - a lignina atua como antioxidante	2
Na formulação de pesticidas	2
Na formulação de compostos para proteger organismos vivos dos efeitos nocivos de diferentes genotóxicos	2
Na produção de fibras (de carbono e de algodão)	2
Uso em medicamentos - antivirais	1
Na indústria de alimento como antioxidante (vanilina, acido ferúlico)	1
Como tensoativo aniônico	1
Na produção de fertilizantes	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Os dados da Tabela 7.14 mostram que os principais "usos da lignina e seus derivados" são: (i) na composição de polímeros e co-polímeros; (ii) na produção de produtos químicos, (iii) como adesivos, aglutinantes, ligantes e plastificantes; (iv) na produção de energia (vapor, térmica, combustivel, carvão ativado), (v) como

dispersante em várias aplicações industriais, (vi) na produção de biocombustível; e (vii) como matéria-prima para biorrefinaria tendo em vista todos os itens anteriormente citados.

De modo a repetir a análise efetuada no *Science Direct*, os itens (ii), (i) e (vi) foram mais detalhadamente analisados permitindo a comparação de resultados entre as bases consultadas. Cabe destacar que tais itens ("na produção de produtos químicos", "na composição de polímeros e/ou copolímeros" e "na produção de biocombustível") respondem por cerca de 49,5% do total de artigos encontrados para os "usos da lignina e seus derivados" na base do *Web of Science*.

7.2.3.1 Na produção de produtos químicos

Foram encontrados 42 artigos relacionados à produção de produtos químicos com destaque para aqueles de natureza aromática, sendo os mesmos classificados de acordo com a Tabela 7.15.

Tabela 7.15 - Produtos químicos citados

Grupos	Produtos químicos citados
Compostos fenólicos	fenol, flavanóide, isoflavanóide, metoxifenóis, guaiacol, 2,4 diclorofenol, 2 bromofenol, bisfenol, derivados fenólicos alquilados
Produtos oxidados	vanilina, siringaldeído, furaldeído, hidroquinona, tetracloroquinona, hidroxibenzaldeído, acetaldeído, aldeído aromático
Polióis aromáticos	m-o-cresol, p-cresol, catecol, tetraclorocatecol
Alifáticos	alcanos, alcenos, alcinos, hidrocarbonetos
Enzimas	peroxidase, laccase, polifenol oxidase, lignolíticas

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Comparando-se as Tabelas 7.6 (*Science Direct*) e 7.15 (*Web of Science*) é possível observar a presença de grupos (e produtos químicos) em comuns tais como: os compostos fenólicos, produtos oxidados, polióis aromáticos e alifáticos. Na base de dados do *Web of Science* ganha destaque também o grupo de enzimas, com ênfase naquelas para a obtenção de produtos específicos como a peroxidase e laccase.

7.2.3.2 Na composição de polímeros e/ou copolímeros

Foram encontrados 44 artigos relacionados à composição de polímeros e copolímeros que estão listados na Tabela 7.16.

Tabela 7.16 - Polímeros/copolímeros produzidos utilizando a lignina

Polímero/copolímero	Nº de artigos citados	Vantagem do uso da lignina
Polímeros modificados	17	A adição da lignina melhora as propriedades mecânicas dos polímeros
Resina de formaldeído-fenol	11	A lignina como uma alternativa promissora natural a produtos petroquímicos
Resina fenólica	9	Aumentar a compatibilidade entre as fibras e resinas fenólicas em compósitos
Poliéster	3	Uso de um intermediário de lignina confere aos polímeros fortes propriedades aderentes contra metal e vidro
Polímeros catiônicos e aniônicos solúveis em água	3	A lignina provoca um aumento na adsorção do polímero
Polioxometalatos	1	A lignina atua como antioxidante

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Comparando as Tabelas 7.7 (*Science Direct*) e 7.16 (*Web of Science*) é possível notar o uso da lignina na adição de resinas fenólica e de formaldeído-fenol para, respectivamente, aumentar a compatibilidade entre as fibras nos compósitos e como substituto ao fenol devido a suas caracteristicas adesivas. No caso da base de dados do *Web of Science* destaque-se também a sua adição na melhoria das propriedades mecânicas do polímero como abordado no Capítulo 2.

7.2.3.3 Na produção de biocombustível

Foram encontrados na busca 13 artigos relacionados a produção de biocombustíveis que estão listados na Tabela 7.17.

Tabela 7.17 - Biocombustíveis produzidos a partir da lignina

Tema da pequisa abordados nos artigos	Número de artigos
Produção de biocombustíveis a partir da lignina obtida do processo kraft	3
Produção de bio-óleo por meio de pirólise	3
Produção de bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos	2
Produção de biocombustível a partir da lignina purificada por meio de ultrafiltração	2
Produção de biocombustíveis através da liquefação do bagaço catalisada por ácido e utilizando etileno glicol	1
Produção de biocombustível para gaseificação de biomassa	1
Produção de biogasolina a partir da lignina usando catalisador HZSM-5	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

Assim como encontrado na Tabela 7.8 (*Science Direct*), a Tabela 7.17 mostra que a lignina, obtida por meio do processo kraft na produção de celulose e papel, tem sido pesquisada na produção de biocombustíveis. Além desta aplicação, verifica-se outros usos potenciais da lignina tanto na plataforma termoquímica (para produção do bio-óleo por pirólise e na gaseificação de biomassa) como na plataforma sucroquímcia (para produção de bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos) apresentadas no Capítulo 3 (itens 3.3.1 e 3.3.2).

7.2.3.4 Artigos oriundos de instituições brasileiras

A Tabela 7.18, que complementa as informações prestadas na Tabela 7.12, apresenta os temas relacionados a lignina em conformidade com a taxonomia adotada.

A Tabela 7.18 mostra que quatro artigos científicos de origem nacional se concentram no tema “usos da lignina e seus derivados”; a maior parte dos artigos abordam “outros temas relacionados a lignina”, relacionado a suas propriedades nas fibras e também na indústria de papel e celulose.

Tabela 7.18 - Instituições brasileiras e temas relacionados a lignina

Nome	Parceria com Instituições Estrangeiras	Taxonomia
UFRJ	-	Remoção da lignina – decomposição da biomassa por meio de enzimas oxidativas
Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (*)	Texas A&M Univ (EUA) Univ Sassari (Italia)	Outros relacionados a lignina – previsão de digestabildiade e preenchimento de fibra insolúvel alimentar
Universidade Federal de Viscoça	North Carolina State Univ (EUA)	Outros relacionados a lignina - estudo do número kappa em polpas kraft deslignificadas
Univ. Federal de São Carlos UNESP/UNOESTE/USP	Univ Winsor (Canada)	Outros relacionados a lignina – filmes nanoestruturados obtidos a partir da lignina para detectar níveis de metais em soluções aquosas
USP Ctr Univ Salesiano São Paulo	-	Uso da lignina – a lignina usada para substituir parcialmente o fenol em uma resina de fenol-formaldeído
Universidade Federal de Visçosa	-	Outros relacionados a lignina – avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana para a alimentação de ruminantes
USP (*)	Univ. Gavle (Suécia)	Outros relacionados a lignina – estudo da durabilidade de argamassas reforçados com fibra de coco, onde o teor da lignina da fibra foi medido pelo método do brometo de acetila
Universidade Federal de Pernambuco	Univ. Concepcion (Chile)	Uso da lignina – Efluentes ricos em lignina são convertidos em ácido acético por meio de oxidação com peróxido
UFRJ, Universidade Federal do Pará e Fiocruz	-	Outros relacionados a lignina – bioensaio para detectar a atividade da peroxidase
UNICAMP (*)	Latvian State Inst Wood Chem (Letônia) Tallinn Tech Univ (Estonia)	Uso da lignina como ligante para produzir painéis de madeira
USP (*)	Univ Bordeaux (França) Station de la Bretagne (França)	Outros relacionados a lignina – modificação química de fibras do bagaço de cana e curaua por meio da oxidação da lignina pelo dióxido de cloro e reação de unidades insaturadas com alcool furfurílico

Nome	Parceria com Instituições Estrangeiras	Taxonomia
Universidade Federal do Parana	-	Uso da lignina – na produção de enzimas ligninases (lacase e peroxidase)
UniversidadeFederal de Uberlândia	Univ Bordeaux (França)	Outros relacionados a lignina – processo de branqueamento fotoquímico de polpas celulósicas

(*) Artigos encontrados na base de dados *Science Direct*

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados *Web of Science* (2010)

7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os resultados gerais das duas bases consultadas – *Science Direct* e *Web of Science* pode-se verificar que:

- assim como verificado nos documentos de patentes, os EUA também desempenham o papel de liderança na produção de artigos científicos. Países desenvolvidos e em desenvolvimento desempenham papel de destaque na produção científica sobre o tema estudado. A participação brasileira mostra-se tímida com apenas seis artigos na base *Science Direct* e 13 na base *Web of Science*, dos quais quatro se repetem nas duas bases.

- nos artigos científicos, diferentemente dos documentos de patentes, os autores são majoritariamente afiliados a universidades e centros/institutos de pesquisa ou laboratórios.

- quanto ao objeto de proteção abordada nos artigos, observa-se que o interesse maior dos pesquisadores está concentrado nos “usos da lignina e seus derivados”, pois este resultado foi encontrado nas duas bases de dados consultadas.

- na base do *Science Direct*, os principais usos da lignina identificados são: (i) na produção de produtos químicos; (ii) na composição de polímeros e/ou copolímeros e (iii) na produção de biocombustíveis. Com relação aos seis artigos publicados com participação de instituições brasileiras observa-se que aquele publicado pela UNICAMP com a participação do Latvian State Institute of Wood Chemistry e a Tallinn Technical University se enquadra na categoria de “usos da lignina e seus derivados” – a lignina

atua como um ligante para produzir painéis de madeira; os cinco demais, são classificados como “outros relacionados a lignina”.

- na base do *Web of Science*, os principais usos da lignina identificados são: (i) na composição de polímeros e/ou copolímeros; (ii) na produção de produtos químicos; (iii) como adesivos, aglutinantes, ligantes e plastificantes e (iv) na produção de energia.

- ainda com relação a base do *Web of Science*, verifica-se que dos 13 artigos publicados com participação de instituições brasileiras, quatro foram também encontrados na base do *Science Direct*. Assim, dos nove artigos analisados, quatro abordam os “usos da lignina e seus derivados”: (i) para substituir parcialmente o fenol em uma resina de fenol-formaldeído, (ii) para produzir ácido acético por meio de oxidação com peróxido, (iii) como ligante para produzir painéis de madeira, e (iv) na produção de enzimas ligninases (lacase e peroxidase).

- por fim, o número de artigos oriundo de instituições nacionais nas duas bases, descontando aqueles publicados nas duas bases é de 15, distribuídos da seguinte forma: (i) outros relacionados a lignina – dez artigos; (ii) usos da lignina – quatro artigos; e (iii) remoção da lignina – um artigo.

- cabe destacar ainda que as informações constantes dos itens 7.1.3.4 e 7.2.3.4 referente à análise micro relacionada a artigos oriundos de instituições brasileiras subsdiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil, lembrando que os quatros artigos duplicados nas duas bases serão considerados apenas uma vez.

A Tabela 7.19 mostra a consolidação dos principais resultados obtidos a partir da consulta as bases de dados de patentes do INPI e *USPTO* (patentes concedidas e pedidos de patente) e as bases de dados de artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science*.

Tabela 7.19 - Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO* e artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science* – período entre 1990 a 2009

Resultados	**INPI**	***USPTO* – patentes concedidas**	***USPTO* – pedidos de patente**	***Science Direct***	***Web of Science***
Documentos encontrados	192	132	15	196	649
País com maior número de documentos	EUA – 62 BR - 40	EUA – 75 DE- 20	EUA – 8 JP -3	EUA – 49 FR - 25	EUA – 166 CA - 63
Documentos de origem nacional	40	1 (*)	0	6	13(**)
Principais instituições	Neste Chemical Oy – 6 Novo Nordisk A/S - 6	Rutgerwerke Aktiengesellschaft – 6 Texaco Inc. – 5 Westvaco Corporation - 5	Weyerhaeuser Company, Sugar Industry Innovations Pty, Andritz Inc., Toyo Tire & Rubber Co., Lignol Innovations e Novozymes A/S - 1	University of London – 5 Université Bordeaux – 4 Washington State University -4	Chalmers -21 Pulp & Paper Research Institute Canada - 17
Principal objeto de proteção					
Usos da lignina e seus derivados	58	69	7	70	200
Remoção da lignina	65	46	6	11	138
Alteração da genética da planta	19	0	0	6	18

Resultados	**INPI**	***USPTO* – patentes concedidas**	***USPTO* – pedidos de patente**	***Science Direct***	***Web of Science***
Principais usos da lignina e seus derivados					
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	**9**	**16**	**2**	5	30
Na composição de polímeros e/ou copolímeros	0	13	1	17	**44**
Na produção de produtos químicos	5	8	1	**25**	42
Na produção de biocombustível	4	1	1	11	13
% do total de usos da lignina e seus derivados	31,0%	55,1%	71,4%	82,8	64,5%
% do total de documentos encontrados	9,4%	28,8%	33,3%	29,6%	19,9%

(*) patente também encontrada na base de dados do INPI
(**) quatro artigos também encontrados na base de dados do *Science Direct*

OBS: Os pedidos de patentes concedidos são migrados automaticamente para a base de patentes concedidas, não existindo duplicação de registro nas bases consultadas no *USPTO.*

Fonte: Elaboração própria a partir de bases de dados do INPI (2010), *USPTO* (2010), *Science Direct* (2010) e *Web of Science* (2010)

8 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – LINHAS DE PESQUISA

O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os principais resultados obtidos a partir das linhas de pesquisas relacionadas a aplicações da lignina proveniente de materiais lignicelulósicos obtidos a partir do processamento da biomassa e de resíduos agroindustriais no Brasil. A busca foi realizada na base de dados do Portal Inovação conforme Metodologia apresentada no Capítulo 5.

O Portal Inovação, desenvolvido pelo MCTI, é um instrumento que possibilita identificar informações sobre a dinâmica de inovação em uma determinada área de atuação, apontando, consequentemente, tendências tecnológicas em cada setor através das linhas de pesquisas cadastradas para cada pesquisador.

As informações extraídas nesta base de dados, mediante as análises macro e meso, fornecem um panorama brasileiro a respeito do tema, enquanto àquelas referentes à análise micro subsidiaram a construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil a ser apresentado no Capítulo 9.

8.1 ANÁLISE MACRO

A Tabela 8.1 mostra as principais instituições que desenvolvem pesquisas sobre o tema conforme a busca realizada. A Universidade Federal de São Paulo (USP) apresenta o maior número de pesquisas – um total de 19, seguida da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Estadual de Maringuá (UEM) com seis linhas de pesquisa cada.

Cabe destacar ainda que a maior parte das pesquisas são conduzidas por pesquisadores vinculados a Universidades, com exceção daquelas realizadas pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

Tabela 8.1 - Instituições que realizam pesquisas sobre a lignina

Instituições	Linhas de pesquisa
USP	19
UFRRJ	6
UFPR	6
UEM	6
UFU	4
INT	4
UFLA	4
UNICAMP	4
UFRJ	3
Faculdade de Eng. Química de Lorena	3
UFMG	2
UMC	2
CTBE	2
UNIPAR	1
UNB	1
UFSCAR	1
UFV	1
UNIR	1
UNIVASF	1
UFCG	1

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

A Tabela 8.2 mostra as parcerias de cooperação encontradas na base de dados. Observa-se que das 72 linhas de pesquisa encontradas 18 apresentam parcerias com universidades e/ou empresas nacionais e internacionais, que corresponde a 25% do total de pesquisas encontradas. É possível verificar ainda que as parcerias firmadas nas linhas de pesquisas envolvem instituições/universidades de origem nacional e internacional. A participação de parcerias envolvendo empresas ainda é pouca, representando 12,5% do total de pesquisas encontradas (nove pesquisas).

A Tabela 8.3 mostra as linhas de pesquisa em que há financiamento por parte de alguma instituição de fomento a pesquisa, financiadora, universidade, instituto de pesquisa e/ou empresa de origem nacional e/ou internacional. Verifica-se que 57 do total de 72 linhas de pesquisas apresentam algum tipo de financiamento (cerca de 79,2%), sendo que a maior parte oriundo de recursos nacionais, o que demonstra a importância que o tema vem despertando na agenda nacional de ciência e tecnologia.

Tabela 8.2 - Parcerias de cooperação nas linhas de pesquisas

Instituição	Cooperação	Natureza e origem da Cooperação
USP	OXITENO S.A. Indústria e Comércio	Empresa nacional
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	Communitee Economique Europeen	Instituição de fomento a pesquisa Internacional
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	BIOEN-Program Parceria para Inovação Tecnológica -Oxiteno S.A. Indústria e Comércio	Instituição de fomento a pesquisa e empresa nacional
UFPR	Comunidade Européia - Programa FP7 e Novozymes Latin America	Instituição de fomento a pesquisa e empresa internacional
UFRJ	Dedini S/A Indústria de Base	Empresa nacional
UFRJ	Empresa BIOMM	Empresa internacional
INT	Toyobo do Brasil Ltda / Instituto de Química - UFRJ	Empresa e Universidade nacional
INT	UFRJ, UNICAMP, FAENQUIL, CTC, IPT, Toyobo do Brasil, UEM, FURB, UNB, UCS, USP, UENF	Empresa e Universidade nacional
UFPR	Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná / RIGESA-WESTDACO DO BRASIL / Klabin do Paraná Produtos Florestais Ltda	Instituição de fomento a pesquisa e empresa nacional
UNIPAR	Instituto de Química de São Carlos - USP	Universidade nacional
USP	CTNBIO, Embrapa	Comissão de Biossegurança e Empresa de pesquisas agrícolas nacional
UNIVASF	IFES	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UNICAMP	WISETEC	Empresa nacional
UFLA	Centre Cooperation Internationale En Recherche Agronomique Pour Le Developpement	Centro de Pesquisa Internacional
UFLA	Centre Cooperation Internationale En Recherche Agronomique Pour Le Developpement	Centro de Pesquisa Internacional
UNICAMP	CRF-SP	Conselho de Farmácia Nacional
CTBE	LUND University	Universidade internacional
CTBE	Laboratório de Engenharia de Processos Fermentativos e Enzimáticos, FEQ/Unicamp, e o Laboratoire de Biotechnologie de l Environnement (INRA)	Instituição de fomento a pesquisa internacional

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

Tabela 8.3 - Financiamentos nas linhas de pesquisa

Instituição	Financiamento	Natureza e origem do financiamento
USP	FINEP	Financiadora de estudos nacional
USP	Embrapa	Empresa de pesquisa nacional
UFU	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFU	FAPEMIG	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFU	FAPEMIG	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFU	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	FAPESP e OXITENO S.A. Indústria e Comércio	Instituição de fomento a pesquisa e empresa nacional
UFRJ	Japan International Cooperation Agency	Instituição de fomento a pesquisa internacional
UFFRJ	FAPERJ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFFRJ	FAPERJ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFMG	Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior	Instituição de fomento a pesquisa nacional
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	Communitee Economique Europeen	Instituição de fomento a pesquisa internacional
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	FAPESP e Oxiteno S.A. Indústria e Comércio	Instituição de fomento a pesquisa e empresa nacional
Faculdade de Engenharia Química de Lorena, USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFPR	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional

Instituição	Financiamento	Natureza e origem do financiamento
UFPR	Comunidade Européia - Programa FP7 e Novozymes Latin America	Instituição de fomento a pesquisae empresa internacional
UEM	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UEM	CNPQ e CAPES	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFRJ	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFRJ	FINEP	Financiadora de estudos nacional
USP	Academia da Finlândia e CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa internacional e nacional
USP	Basf Brasileira S A	Empresa nacional
INT	FINEP	Financiadora de estudos nacional
INT	FINEP	Financiadora de estudos nacional
INT	FINEP	Financiadora de estudos nacional
Universidade federal do paraná	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UMC	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UMC	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UNIPAR	Universidade Paranaense	Universidade nacional
USP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional

Instituição	Financiamento	Natureza e origem do financiamento
UEM	CNPQ / Fundação Araucária	Instituição de fomento a pesquisa e instituição de pesquisa nacional
UEM	Fundação Araucária	Instituição de pesquisa nacional
UFLA	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFLA	FAPEMIG	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UNICAMP	Votorantim Celulose e Papel	Empresa nacional
UNB	Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação	Instituição de pesquisa nacional
USP	FAPESP	Instituição de pesquisa nacional
USP	Programa Ibero-Americano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo	Instituição de fomento a pesquisa internacional
UFPR	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
USP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UNICAMP	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UNICAMP	Wisetec Centro de Pesquisa e / Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico	Instituto de Pesquisa e Financiadora de projetos nacionais
UEM	CNPQ	Instituição de fomento a pesquisa nacional
UFLA	Centre de Coopération International de Recherche Agronomique pour le Dévelo / - V&M Florestal Ltda.	Instituição de fomento a pesquisa internacional e nacional
UFLA	Centre de coop inter en recherche agronomique pour le développement	Instituição de fomento a pesquisa internacional
UNICAMP	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
CTBE	FAPESP	Instituição de fomento a pesquisa nacional
CTBE	FAPESP - INRA	Instituição de fomento a pesquisa nacional e internacional

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

Assim como observado nas parcerias, há pouca participação de empresas nacionais e internacionais atuando como financiadoras de pesquisas cujo tema se refira a lignina – apenas seis linhas de pesquisa, que representa 8,33% do total de pesquisas encontradas.

8.2 ANÁLISE MESO

A Tabela 8.4 mostra as pesquisas categorizadas de acordo com a mesma taxonomia utilizada nos documentos de patentes e artigos científicos, após a leitura do conteúdo do currículo lattes de cada pesquisador encontrado.

Tabela 8.4 - Principais objetos de estudo das pesquisas conforme linhas de pesquisa encontradas

Taxonomia	**Linhas de pesquisa**
Usos da lignina e seus derivados	26
Remoção da lignina	22
Alteração da genética da planta para reduzir o teor da lignina e /ou facilitar sua degradação	11
Outros relacionados a lignina	13
Total	72

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

O resultado da Tabela 8.4 mostra que a maior parte das pesquisas sobre a lignina está direcionada para novos “usos da lignina e seus derivados” conforme observado também na base de dados de patentes concedidas e pedidos de patente do *USPTO* e das bases de dados de artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science*. Observa-se ainda que há um interesse grande - 22 linhas de pesquisa cujas instituições de pesquisa são apresentadas na Tabela 8.5 – em pesquisar novas formas de “remoção da lignina”, associadas em grande parte a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos.

Tabela 8.5 - Instituições e tema das pesquisas relacionadas a remoção da lignina

Instituição	Objeto da pesquisa
USP	Ação de Compostos Aromáticos presentes em hidrolisados de bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor sobre processos fermentativos e enzimáticos
USP	Obtenção de derivados energéticos de alto valor agregado a partir de biomassa florestal, incluindo a produção de etanol a partir de biomassa florestal pré-tratada por explosão a vapor
USP	Estudo da solvência da lignina através das reações de deslignificação. Os processos de solvência da lignina fundamentam-se basicamente em três processos: convencional, organossolve e organossolve em conjunto com fluído supercrítico.
UFRJ	Produção de biocombustíveis, especialmente bioetanol, sendo o bioetanol produzido a partir de biomassa lignocelulósica, especialmente de bagaço de cana de açúcar, que é abundante no Brasil, através de pré-tratamentos que não usam ácido sulfúrico e seguidos de sacarificação enzimática e fermentação
UFFRJ	Deslignificação de resíduos lignocelulósicos por ozonólise visando aplicação de acessibilidade enzimática para a produção de álcool de segunda geração
UFMG	Desenvolvimento de pré-tratamentos para a desconstrução da parede celular de clones de eucalipto e capim-elefante em seus componentes, objetivando-se a produção de bioetanol (biocombustíveis e biogás), juntamente com polpas especiais e outros bioprodutos, enfatizando fortemente a seleção de matérias-primas e utilização de ferramentas avançadas de análise.
Faculdade de Engenharia Química de Lorena, USP	Obtenção de açúcares e glicóis a partir da hidrólise e deslignificação de bagaço e palha de cana-de-açúcar e caracterização rápida de materiais lignocelulósicos.
USP	Estudo do papel das reações de peroxidação de lipídeos na biodegradação de madeira por *Ceriporiopsis subvermispora*. Os experimentos pretendem verificar se a reação de peroxidação de lipídeos catalisada pelos extratos dos cultivos de *C. subvermispora* proporciona a degradação de lignina e quais são as reações efetivamente ocorridas.
UFPR	A investigação de métodos de caracterização química, fracionamento e bioconversão de fitobiomassa, utilizando explosão a vapor mediada por catálise ácida com ácido fosfórico diluído.
UFPR	Desenvolver e aprimorar técnicas adequadas à caracterização, pré-tratamento e hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos de origem florestal, agrícola e agroindustrial, particularmente visando a otimização do pré-tratamento a vapor de resíduos agroindustriais de interesse regional para a recuperação máxima de seus componentes básicos (celulose, hemicelulose, lignina e, eventualmente, amido) e posterior utilização em processos biotecnológicos
UFPR	Transformação de Biomassa de cana de açúcar em etanol – CaneBioFuel. Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento do primeiro processo industrial e economicamente viável para a conversão do bagaço e dos resíduos da cana-de-açúcar (i.e., biomassa da cana-de-açúcar) em açúcares fermentescíveis.
UFRJ	Produção de Etanol de 2ª Geração a partir da biomassa da cana-de-açúcar em escala piloto: pré-tratamento, produção de enzimas, hidrólise enzimática e fermentação alcoólica.
UFRJ	Estudo das etapas envolvidas na produção de etanol de biomassa (pré-tratamento da biomassa, sua hidrólise enzimática e fermentação alcoólica dos xaropes de biomassa), considerando a sua interdependência
INT	Desenvolvimento de tecnologia enzimática de transformação da biomassa da cana-de-açúcar, em particular de sua fração lignocelulósica, o bagaço e a

Instituição	Objeto da pesquisa
	palha, em álcool combustível. O pré-tratamento por *steam-explosion* e o tratamento enzimático do material lignocelulósico são também estudados.
INT	Hidrólise enzimática de resíduos celulósicos, bagaço de cana-de-açúcar, para a produção de bioetanol. Este projeto estuda o pré-tratamento de bagaço e cana-de-açúcar para a produção de etanol combustível.
USP	Hidrólise da biomassa - usar compostos redutores de Fe^{3+}, na presença ou não de enzimas lignolíticas, visando a oxidação da lignina residual presente nos polissacarídeos extraídos do bagaço.
USP	Produção de hidrolisados fermentescíveis a partir do pré-tratamento do bagaço de cana com ácido sulfúrico diluído e hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos. O subprojeto tem objetivo avaliar como as condições de pré-hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar (concentração ácida, temperatura e tempo de residência) influenciam a composição e a digestibilidade enzimática da celulignina resultante..
UNB	Estudo de diferentes métodos de pré-tratamento de biomassa vegetal para obter glicose para produção etanol.
UEM	Controle químico da digestibilidade do bagaço da cana-de-açúcar. Desenvolvimento de métodos de aplicação e desenvolvimento de inibidores químicos da produção de fenilpropanóides associados à parede celular.
UNICAMP	Uso de resíduos agricolas e industriais para bioconversão em produtos de interesse industrial: produção de biomoléculas, biorrefinaria e biocombustíveis. Seleção de microrganismos produtores de enzimas lignocelulolíticas, amilolíticas, lipases e lactases. Produção otimizada de enzimas e purificação para uso em processos hidrolíticos de resíduos industriais e agrícolas. Biotransformação e bioconversão de resíduos a compostos de interesse industrial, produção de etanol industrial e biocombustíveis de segunda geração.
CTBE	Avaliação de pré-tratamentos e hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. O objetivo deste projeto é estudar a produção de etanol via hidrólise enzimática de bagaço. São realizados experimentos para comparação de dois pré-tratamentos que ocorrem em condições brandas de temperatura e pressão e na ausência de ácidos (peróxido de hidrogênio alcalino e hidróxido de cálcio).
CTBE	- Otimização de pré-tratamento de biomassa e hidrólise para maximizar a produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais. A hidrólise de biomassa lignocelulósica tem sido pesquisada principalmente com o objetivo de produzir bioetanol

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

Também existe o interesse em promover pesquisas sobre o tema “alteração da genética da planta”, em especial relacionadas a cultura da cana-de-açúcar, visando a redução do teor de lignina, promovendo uma melhoria nos processos para produção de produtos a partir da celulose e hemicelulose. Estas pesquisas estão concentradas em instituições como UFRRJ (quatro linhas de pesquisa), USP (quatro linhas de pesquisa), UNICAMP (duas linhas de pesquisa) e UFLA (uma linha de pesquisa).

8.3 ANÁLISE MICRO

As 26 linhas de pesquisas que se enquadraram na categoria “usos da lignina e seus derivados” foram mais detalhadamente analisadas de modo a identificar as suas principais aplicações mostradas através da Tabela 8.6.

Tabela 8.6 - Principais usos da lignina e seus derivados nas linhas de pesquisas

Usos da lignina e seus derivados	**Linhas de pesquisas**
Em aplicações eletrônicas como dispositivos eletrônicos, optoeletrônica e sensores	4
Na produção de material adsorvente e carvões ativados	4
Como biocompósitos na composição de polímeros termorrígidos	4
Na produção de energia (elétrica)	3
Em novos produtos químicos	3
Como biocompósito na produção de fibrocimento e cimento	3
Em filmes alimentícios	2
Na produção de briquete	2
Na produção de polieletrólito	1
Na produção de quelantes e resinas fenólicas	1
Em novos materiais	1
Em substituição a resinas fenol-formaldeído	1

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

A Tabela 8.6 aponta que no Brasil os pesquisadores têm investigado alguns usos para a lignina de acordo com suas propriedades já apresentadas no Capítulo 2, em especial as suas propriedades eletrônicas e adsorventes, e como agente de reforço da matriz polimérica e de cimento e também sua grande capacidade calorífica.

A Tabela 8.7 apresenta um detalhamento maior das linhas de pesquisa cujo foco são o “uso da lignina e seus derivados”, mostrando a instituição na qual o pesquisador está vinculado e as principais diretrizes da pesquisa em andamento.

Tabela 8.7 - Instituições brasileiras que pesquisam sobre novos usos da lignina

Instituição	Objeto da pesquisa
UFU	Síntese e estudo espectroscópico de filmes de lignina quimicamente modificada complexados com íons de terras raras. A complexação da lignina com íons de terras raras abre infindáveis possibilidades de utilização como dispositivos fotônicos, por exemplo
UFU	Modificação quimicamente de duas ligninas, obtidas por acidólise do bagaço (LABC) e de polpação Kraft de eucalipto (LKEC), por um processo de eterificação, em que o produto final é um polieletrólito. O material foi testado como filtrantes e se mostraram excelentes para captura de fosfato (PO43-) em águas
UFU	Compósitos lignocelulósicos (lignina e celuloses) constituídos a partir desses resíduos quimicamente modificados com propriedades antioxidantes, antifúngicas, etc., poderão ter aplicações como filmes alimentícios e outros.
UFU	Estudo espectroscópico e fotoquímico de lignina quimicamente modificada e blendas dopados com neodímio e íons metálicos. Tal característica funcional das ligninas potencializa sua interação com íons metálicos que podem ser interessantes do ponto de vista de sua utilização em dispositivos filtrantes, sistemas condutores, blendas, suspensões eletroreológicas, dispositivos fotônicos, filmes alimentícios com propriedades antioxidantes e antimicrobianas, etc., na presença de outros polímeros naturais como a celulose, ou sintéticos, com objetivos os mais variados.
USP	Obtenção de polímeros e compósitos a partir materis provenientes de fontes renováveis: lignina, taninos são usados como "macromonômeros" na obtenção de polimeros termorrígidos, visando-se aplicações diversificadas como em espumas isolantes térmicas e compósitos, sendo que nesses últimos fibras vegetais (bagaço de cana de açúcar, sisal, curaua, juta , dentre outras), são usados como agentes de reforço, na forma não modificada, ou modificado via reações químicas e/ou métodos físicos como ionização de ar.
UFMG	Melhorar a eficiência econômica de utilização de vários recursos fibrosos na indústria de polpa e papel, através da aplicação do conceito de biorefinaria e produzir polpas celulósicas especiais para fabricação de papéis de alto valor agregado, além de bioetanol e grande excedente de energia elétrica.
Faculdade de Eng. Química de Lorena	Estudos na área de adsorção, carvões e ligninas.
Faculdade de Eng. Química de Lorena	Obtenção e avaliação da aplicabilidade de quelantes e resinas fenólicas a partir de ligninas e lignossulfonatos.
USP	Avaliação da viabilidade de utilização de biomassas brasileiras e finlandesas em biorefinarias avançadas – FEASEBIO (bioenergia e produtos químicos)
USP	Prospecção de químicos a partir do bagaço de cana.
UFPR	Processos alternativos de polpação e utilização dos resíduos no desenvolvimento de novos produtos.
USP	Preparação de materiais poliméricos com aplicação em optoeletronica e sensores a partir da lignina.
UNIPAR	Obtenção de novos materiais a partir da mistura física de amido e lignina.
UFLA	Esterificação de resíduos da colheita do café para produção de materiais absorventes de óleos. Utilizar esse material, que é abundante na região (sul de Minas Gerais) na produção de absorventes de óleos. Para isso os resíduos são modificados quimicamente, substituindo os grupos OH dos polímeros da parede celular por outros grupos, alterando as propriedades destes materiais de modo que se tornem hidrofóbicos.
UFLA	Utilização dos resíduos da agroindústria ou modificação química dos mesmos para preparação de materiais como adsorventes, carvões ativados, celulose.

Instituição	Objeto da pesquisa
UFSCAR	Compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com materiais lignocelulósicos e análises de propriedades.
USP	Reciclagem das cinzas provenientes da queima de resíduos agroindustriais na fabricação de fibrocimento sem amianto, para uso em placas planas de interesse à construção rural.
USP	Valorizar partículas e materiais fibrosos obtidos de resíduos agroindustriais ao aplicar-los como aditivos e material de reforço em matrizes cimentosas de natureza mineral (cimento Portland) e de natureza orgânica (polímeros termoplásticos).
UFPR	O design de novos materiais híbridos com propriedades eletrônicas que podem ser modificadas através da variação dos segmentos da cadeia polimérica ou do tipo do material inorgânico adicionado ao polímero amplia a possibilidade de obtenção de células solares mais eficientes. Neste contexto, a síntese de novos polímeros que possuam absorção extendida até a região do infravermelho próximo, boa mobilidade de cargas e níveis de energia que permitam uma eficiente dissociação e alto valor de VOC são extremamente necessários.
UFV	Produção de briquete a partir de resíduo de biomassa das indústrias de base florestal (celulose e indústria moveleira), visando agregar valor, gerar emprego e dar um destino ambientalmente correto aos resíduos gerados nas fábricas. Os briquetes serão produzidos a partir da mistura dos resíduos (lignina extraída do licor de negro do processo Kraft, resíduos de madeira da indústria de celulose e da indústria moveleira), as quais serão definidas previamente a sua caracterização.
UNIR	Geração de novas tecnologias a partir de biomassa a partir da avaliação da capacidade de adsorção (biomassa: sabugo de milho, serragem pinus e bagaço de cana-de-açúcar) utilizando corantes de industrias texteis.
USP	Fibras naturais como agente de reforço de matriz polimérica termorrígida fenólica baseada em tanino e lignina: desenvolvimento de biocompósitos. Considerando-se as inúmeras vantagens do uso de resinas fenólicas, neste projeto busca-se a melhora das propriedades deste material pela introdução de reforços de origem natural, fibrosos ou não, originando compósitos. Além de melhorar as propriedades mecânicas, a substituição de parte da resina por fibras vegetais diminui o custo do produto e, ainda, colabora para com a expansão da aplicação de material de origem natural em produtos com maior valor agregado que aqueles tradicionalmente encontrados.
UNICAMP	Substituição parcial de resina fenol-formaldeído por lignosulfonato para fabricação de materiais de fricção automotivos. Desenvolvimento de uma resina fenólica com incorporação de lignosulfonato de amônio modificado ou não na confecção de pastilhas de freio automobilísticas.
UFLA	Desenvolvimento do processo de pirólise da madeira de plantações de *Eucalyptus* usado para aplicação para bioenergia e produtos finais no Brasil.
UFRRJ	Desenvolvimento de briquetes a partir de mistura definos de carvão vegetal residuos de serrarias.
UFCG	Desenvolvimento de tratamentos para fibras vegetais para incorporação em matrizes de compósitos. O emprego de fibras vegetais na confecção de compósitos tem grande viabilidade no que diz respeito ao uso de materiais oriundos de fontes renováveis, a biodegradabilidade e aos benefícios socio-econômicos gerados na produção de matéria-prima vegetal. As fibras vegetais são altamente higroscópicas e esta característica se apresenta como um dos principais problemas na produção de compósitos induzindo a variações dimensionais sob a influência da umidade, deposição dos produtos da matriz em seus poros e a degradação. Visando encontrar alternativas para

Instituição	Objeto da pesquisa
	minimizar os problemas gerados nos compósitos cimentíceos e polimericos com relação às fibras vegetais, objetiva-se o desenvolvimento de tratamentos com o intuito de reduzir a absorção d água, evitando conseqüentemente a sua variação dimensional e melhorando a sua compatibilização com a matriz.

Fonte: Elaboração própria a partir do Portal Inovação (2010)

8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da base de dados do Portal Inovação foram encontradas as competências (pesquisadores) e, a partir das mesmas, identificou-se as linhas de pesquisas vinculadas a cada pesquisador, por meio do acesso ao seu currículo lattes de acordo com a metodologia exposta no Capitulo 5. Os principais resultados são discriminados a seguir:

- a USP apresenta o maior número de pesquisas – um total de 19, seguida da UFRRJ, UFPR e UEM com seis linhas de pesquisa cada. Há a presença de apenas duas instituições de pesquisas nas quais os pesquisadores estão afiliados.

- 18 linhas de pesquisa apresentam parcerias com outras universidades e/ou empresas nacionais e internacionais, que corresponde a 25% do total de pesquisas encontradas. Verifica-se que a participação de parcerias envolvendo empresas nacionais e/ou internacionais ainda é pouca, representando 12,5% do total de pesquisas encontradas (nove pesquisas).

- observa-se que 57 do total de 72 linhas de pesquisas apresentam algum tipo de financiamento (cerca de 79,2%), sendo que a maior parte oriundo de recursos nacionais, o que demonstra a importância que o tema vem despertando na agenda nacional de ciência e tecnologia.

- assim como observado nas bases consultadas de artigos científicos, quanto ao objeto de proteção abordada nas linhas de pesquisas, observa-se que o interesse maior dos pesquisadores está concentrado em novos “usos da lignina em seus derivados” (26 linhas de pesquisa), seguido de 22 pesquisas que abordam o tema “remoção da lignina”.

- os principais usos da lignina identificados nas 26 linhas de pesquisas são: (i) em aplicações eletrônicas (quatro), (ii) na produção de material adsorvente e (iii) na composição de polímeros termorrígidos.

- cabe destacar ainda que as informações constante no item 9.3 referente à análise micro relacionada às linhas de pesquisa de instituições brasileiras, subsidiaram na construção do *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.

- A Tabela 8.8 mostra a consolidação dos principais resultados obtidos a partir da consulta as bases de dados de patentes do INPI e *USPTO* (patentes concedidas e pedidos de patente), as bases de dados de artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science* e a base de dados do Portal Inovação.

Tabela 8.8 - Consolidação dos resultados encontrados nas bases de dados de documentos de patentes do INPI e *USPTO*, artigos científicos do *Science Direct* e *Web of Science* e linhas de pesquisas obtidas a partir do Portal Inovação

Resultados	**INPI**	***USPTO* – patentes concedidas**	***USPTO* – pedidos de patente**	***Science Direct***	***Web of Science***	**Portal da Inovação**
Documentos encontrados	192	132	15	196	649	72
País com maior número de documentos	EUA – 62 BR - 40	EUA – 75 DE- 20	EUA – 8 JP -3	EUA – 49 FR - 25	EUA – 166 CA - 63	não cabe
Documentos de origem nacional	40	1 (*)	0	6	13(**)	72
Principais instituições	Neste Chemical Oy – 6 Novo Nordisk A/S - 6	Rutgerwerke Aktiengesellschaft – 6 Texaco Inc. – 5 Westvaco Corporation - 5	Weyerhaeuser Company, Sugar Industry Innovations Pty, Andritz Inc., Toyo Tire & Rubber Co., Lignol Innovations e Novozymes A/S - 1	University of London – 5 Université Bordeaux – 4 Washington State University -4	Chalmers -21 Pulp & Paper Research Institute Canada - 17	USP – 19 UFRRJ – 6 UFPR -6 UEM - 6
Principal objeto de proteção						
Usos da lignina e seus derivados	58	69	7	70	200	26
Remoção da lignina	65	46	6	11	138	22
Alteração da genética da planta	19	0	0	6	18	13

Resultados	**INPI**	***USPTO* – patentes concedidas**	***USPTO* – pedidos de patente**	***Science Direct***	***Web of Science***	**Portal da Inovação**
Principais usos da lignina e seus derivados						
Como adesivos, aglutinantes e plastificantes	**9**	**16**	**2**	5	30	0
Na composição de polímeros e/ou copolímeros	0	13	1	17	**44**	**4**
Na produção de produtos químicos	5	8	1	**25**	42	3
Na produção de biocombustível	4	1	1	11	13	0
% do total de usos da lignina e seus derivados	31,0%	55,1%	71,4%	82,8	64,5%	26,9%
% do total de documentos encontrados	9,4%	28,8%	33,3%	29,6%	19,9%	9,72%

(*) patente também encontrada na base de dados do INPI
(**) quatro artigos também encontrados na base de dados do *Science Direct*

OBS: Os pedidos de patentes concedidos são migrados automaticamente para a base de patentes concedidas, não existindo duplicação de registro nas bases consultadas no *USPTO.*

Fonte: Elaboração própria a partir de bases de dados do INPI (2010), *USPTO* (2010), *Science Direct* (2010), *Web of Science* (2010) e Portal da Inovação (2010)

9 *ROADMAPS* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA

O objetivo deste capítulo é construir, analisar e comparar os *roadmaps* para biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA e Brasil de acordo com as metodologias apresentadas no Capítulo 5. O *roadmap* dos EUA foi construído a partir das informações constante no documento intitulado "Top Value-Added Chemicals from Biomass – Volume II – Results of Screening for Potential Candidates from Biorrefinery Lignin" preparado pelo Departamento de Energia dos EUA em Outubro de 2007 (BOZELL *et al*, 2007); enquanto que o do Brasil foi construído a partir da prospecção tecnológica efetuada nas bases de dados de documentos de patente (INPI e *USPTO*), artigos científicos (*Science Direct* e *Web of Science*) e linhas de pesquisa (Portal Inovação).

9.1 *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NOS EUA

9.1.1 Informações gerais sobre o documento utilizado

O documento foi elaborado pelo USDOE com o objetivo de avaliar o papel da lignina como fonte de matéria-prima renovável e de modo a subsidiar as pesquisas americanas quanto ao uso da lignina, tanto na geração de energia como para a produção de combustíveis e produtos químicos, de acordo com a conceituação de biorrefinaria de biomassa lignocelulósica exposta no Capítulo 3.

Tal documento visa apontar os produtos que são atualmente mais favoráveis e que possam ter maior impacto sobre a substituição do petróleo como matéria-prima e a viabilidade econômica de biorrefinarias. Cabe destacar que o foco principal é a identificação dos avanços de P&D, no curto, médio e longo prazo, necessários para fazer a biorrefinaria economicamente mais atraente através de uma melhor utilização da lignina. A estratégia adotada no estudo é ilustrada na Figura 9.1.

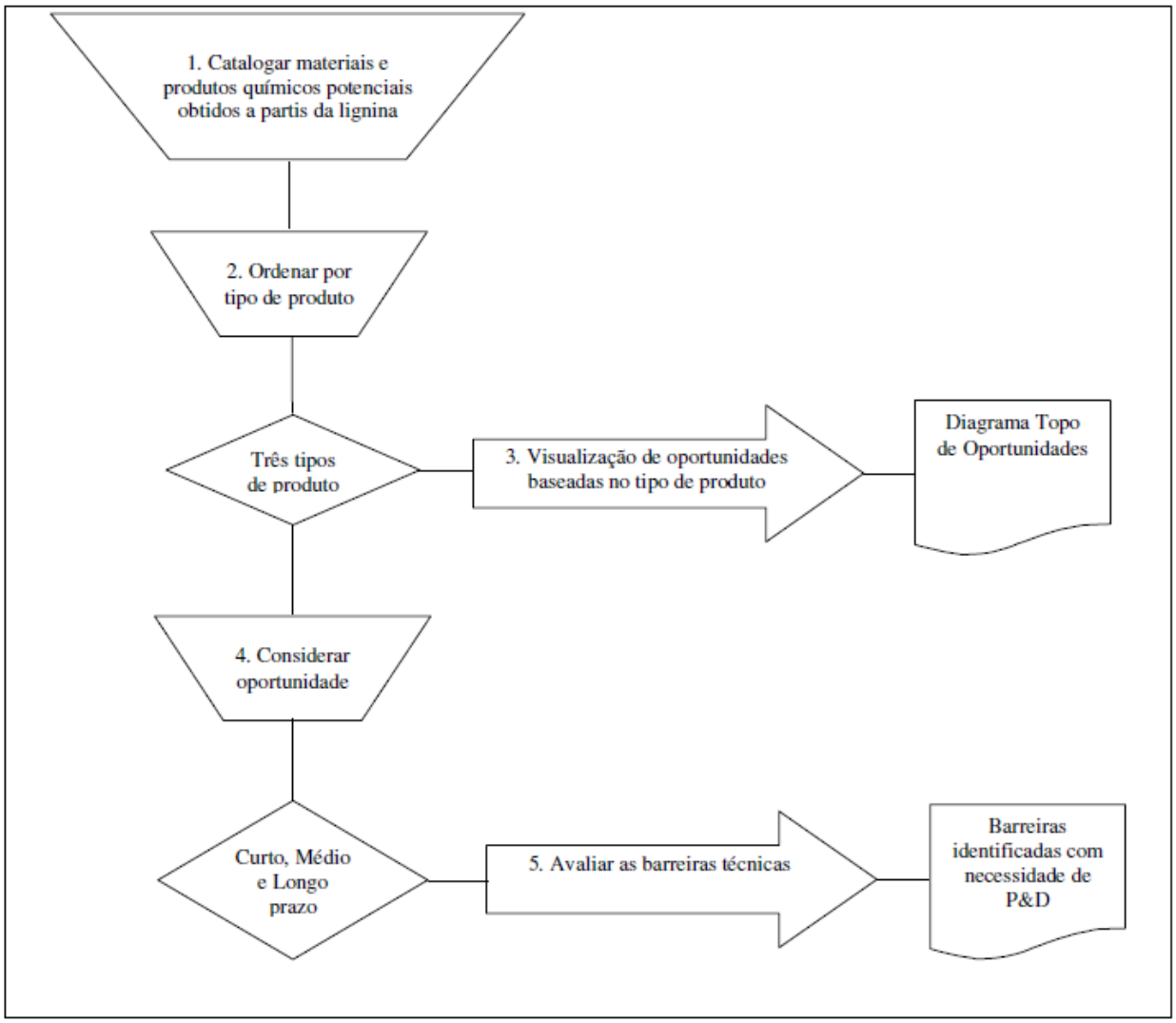


Figura 9.1 - Representação visual da estratégia de seleção

Fonte: BOZELL *et al* (2007)

Inicialmente, a lista de usos potenciais de lignina foi montada e compilada a partir de diversas fontes. As oportunidades de tipos de produtos foram divididos em três categorias descritas a seguir:

(i) Energia, combustíveis verdes e gás de síntese: utilização da lignina puramente como fonte de carbono, através de meios agressivos para quebrar a sua estrutura polimérica. Os combustíveis verdes são descritos como aqueles que se parecem com os combustíveis utilizados hoje, mas são derivados da biomassa ao invés de petróleo;

(ii) Macromoléculas: é o extremo oposto da anterior e procura aproveitar a estrutura macromolecular disponibilizada na natureza em aplicações de alta massa molecular; e

(iii) Produtos químicos aromáticos: entre os dois extremos citados, corresponde a tecnologias que poderiam promover a quebra da estrutura macromolecular da lignina mantendo a natureza aromática das moléculas de bloco de construção.

Uma vez classificadas, as oportunidades para os produtos de cada categoria foram analisadas. A avaliação feita no estudo incluiu o estado da tecnologia atual, e como os produtos se encaixam na infra-estrutura atual e futura da biorefinaria e os mercados de produtos químicos ou combustíveis.

Além desta avaliação, as oportunidades também foram classificadas como de curto, médio e longo prazo. Este conceito corresponde as probabilidades para o uso da lignina na biorrefinaria e foram definidos por Bozell *et al* (2007) da seguinte forma:

(i) Curto prazo: é definido como os usos atuais e aqueles que parecem ser possíveis dentro de três a dez anos. Alguns desenvolvimentos tecnológicos são necessários, mas muito pode ser aproveitado a partir de processos atualmente disponíveis, como por exemplo, a pirólise e gás de síntese;

(ii) Médio prazo: tecnologias empregadas talvez de cinco a 20 anos e que requeiram um desenvolvimento tecnológico significativo e alguns novos conhecimentos fundamentais, como por exemplo, o uso da lignina em aplicações de alta massa molecular ; e

(iii) Longo prazo: tecnologias empregadas a partir de dez anos e que requeiram significativos conhecimentos fundamentais e significativo desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo, a conversão catalítica direta de lignina para os combustíveis do tipo gasolina ou produtos químicos aromáticos.

9.1.2 Aplicação da metodologia criada para elaboração do *roadmap*

Como mencionado no item 5.3.1, foi aplicada a metodologia própria inspirada no processo de *technology roadmpping,* desenvolvido por Garcia & Bray (1997), cujas etapas e fases foram discriminadas na Tabela 5.2.

9.1.2.1 Fase I: Atividade preliminar

a. Definir o problema a ser solucionado pela TRM

O problema a ser solucionado consiste na orientação dos investimentos em P,D&I, através de uma boa política pública, para garantir um futuro energético seguro e limpo para os EUA, conforme as necessidades de pesquisa do Departamento de Energia dos EUA.

b. Definir o objetivo do *roadmap*

O *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina elaborado visa identificar os avanços de P&D, no curto, médio e longo prazo, necessários para fazer a biorrefinaria mais atrativa economicamente, por meio do melhor uso da lignina.

c. Definir os benefícios do uso do *roadmap*

A investigação e o entendimento da estrutura, tipos, fontes e métodos de produção da lignina, bem como de suas aplicações potenciais atuais e futuras com o uso da ferramenta TRM, auxilia na identificação de oportunidades específicas que vão ao encontro dos objetivos gerais do USDOE, com vistas a independência energética e a substituição do petróleo.

<u>1ª etapa – Satisfazer as condições de contorno</u>

1.1 Prever a participação de diferentes atores como membros da indústria, governo e universidades

O TRM requer a participação de diversos grupos, levando em consideração as diferentes perspectivas do setor industrial objeto de estudo de modo que se concentre esforços em P,D&I.

O documento elaborado atendeu esta condição tendo em vista que contou com a participação de diferentes *players* liderados pelo USDOE (participação do governo) em parceria com o Laboratório Nacional do Noroeste Pacífico (laboratório de pesquisa), Universidade do Tenessee (universidade) e do Laboratório de Energia Renovável Nacional (laboratório de pesquisa).

1.2 Orientado para as necessidades e não para as soluções

O estudo realizado procurou identificar como a lignina pode ser usada para suportar a saúde econômica da biorrefinaria.

2ª etapa – Definir o escopo e as condições de contorno para o *roadmap*

O *roadmap* elaborado foi orientado pelo produto, ou seja, pelos usos da lignina na produção/formulação de diferentes produtos e refere-se a um *roadmap* de nível industrial uma vez que seu foco se concentra nas aplicações da lignina no contexto da biorrefinaria nos EUA.

2.1 Definir o propósito, o formato e a estrutura

De acordo com o exposto no Capítulo 4, o *roadmap* elaborado possui:

(i) o propósito de planejamento de produto (aplicações/usos da lignina) e o formato de camadas múltiplas, de acordo com os propósitos e formatos classificados por Phaal *et al* (2004); e

(ii) a estrutura genérica descrita por Phaal *et al* (2001) na qual a disposição em camadas contempla os três parâmetros-chave: mercado, produto e tecnologia.

A camada mercado está relacionada com mudanças de natureza econômica, social e ambiental. Como exemplos de informações analisadas no estudo, é possível citar: o tamanho do mercado potencial, o valor esperado do produto, o risco potencial de trazer um determinado produto derivado de lignina para o mercado, custo de matéria-prima e pressões ambientais.

A camada produto é a ponte entre as tendências de mercado e as tecnologias. A camada tecnologia está relacionada com os processos necessários para a produção dos diferentes produtos identificados.

2.2 Definir o período temporal

Como anteriormente mencionado, o estudo dividiu o horizonte temporal em curto, médio e longo prazo, conforme mostrado na Tabela 9.1. Cabe destacar que o período foi calculado considerando que o estudo foi publicado em 2007.

Tabela 9.1 - Condições de contorno do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA

Tipo de Produto	Prazo	Período
Energia, combustíveis verdes e gás de síntese	Curto prazo - dentro de três a dez anos	2010-2017
Macromoléculas	Médio prazo - de cinco a 20 anos	2012-2027
Produtos químicos aromáticos	Longo prazo - a partir de dez anos	2017-2030

Fonte: Elaboração própria a partir de Bozell *et al* (2007)

9.1.2.2 Fase II: Desenvolvimento do *roadmap*

1ª etapa – Identificar os produtos que serão foco do *roadmap*

Conforme citado anteriormente, no estudo realizado foram categorizados três tipos de produtos que serão o foco do *roadmap*: (i) Energia, combustíveis verdes e gás de síntese; (ii) Macromoléculas; e (iii) Produtos químicos aromáticos.

2ª etapa – Identificar os elementos direcionadores de mercado e de tecnologia

Cada um dos parâmetros-chaves do *roadmap* (mercado, produto e tecnologia) contêm *drivers* (elementos direcionadores), também conhecidos como requerimentos críticos que dependem da área tecnológica, que determinarão as alternativas tecnológicas a serem selecionadas de acordo com as potencialidades de mercado.

No estudo, a apresentação e análise dos elementos direcionadores foram discriminados ao longo do documento, em especial nos tópicos que tratam das três categorias de produtos selecionados. Tal análise considerou as oportunidades de uso dos produtos selecionados a partir de critérios: econômicos, estado da tecnologia atual, produtos na infra-estrutura da biorrefinaria e mercado de combustíveis e produtos químicos.

As Tabelas 9.2, 9.3 e 9.4 elencam os elementos direcionadores de produto, tecnologia e mercado para o curto, médio e longo prazo.

Tabela 9.2 - Elementos direcionadores para curto prazo - EUA

Produto	Mercado	Tecnologia
Vapor	Risco de mercado baixo	Combustão
Metanol (MeOH), Dimetil Eter (DME), Olefinas	Risco de mercado baixo Problemas de economia de escala	Gaseificação
Combustíveis verdes obtidos a partir de Fischer-Tropsch	Risco de mercado baixo-médio Problemas de economia de escala	Gaseificação
Etanol combustível, Propanol, Butanol	Risco de mercado baixo-médio Problemas de economia de escala	Gaseificação
Combustíveis verdes e produtos químicos	Risco de mercado baixo Problemas de economia de escala	Pirólise

Fonte: Elaboração própria a partir de Bozell *et al* (2007)

Tabela 9.3 - Elementos direcionadores para médio prazo - EUA

Produto	Mercado	Tecnologia
Fibras de carbono	Menor custo da matéria-prima Redução do impacto ambiental Risco de mercado médio	Melt spinning seguida de pirólise
Enchimento de polímeros	Risco de mercado médio-alto	Processos químicos que valorizem os grupos funcionais
Resinas termofixas, Resinas livres de formaldeído, Adesivos e Ligantes	Redução do impacto ambiental Risco de mercado médio-alto	Processos químicos como carbonilação, carboxilação e desesterificação que valorizem os grupos funcionais

Fonte: Elaboração própria a partir de Bozell *et al* (2007)

Tabela 9.4 - Elementos direcionadores para longo prazo - EUA

Produto	Mercado	Tecnologia
Benzeno-Tolueno-Xileno (BTX)/Fenol	Aumento do preço do petróleo Risco de mercado baixo	Catálise – exemplos: dehidroxilação e demetoxilação seletivas
Moléculas monoméricas de lignina (coniferóis substituídos)	Aumento do preço do petróleo Desenvolvimento de mercados e aplicações	Catálise seletiva – exemplos: hidrogenólise seletiva, dealquilação catalítica, demetoxilação
Monômeros de lignina oxidados (siringaldeído, vanilina e ácido vanílico)	Aumento do preço do petróleo	Catálise – exemplo: oxidação seletiva
Novos diácidos e diácidos aromáticos	Aumento do preço do petróleo	Catálise e outros processos químicos que valorizem os grupos funcionais
Novos polióis	Aumento do preço do petróleo	Biocatálise e outros processos químicos/bioquímicos que valorizem os grupos funcionais

Produto	Mercado	Tecnologia
Polióis aromáticos	Aumento do preço do petróleo Risco de mercado médio	Processos químicos que valorizem os grupos funcionais
Ciclohaxanos e ciclohexanos substituídos	Aumento do preço do petróleo Risco de mercado baixo	Processos químicos que valorizem os grupos funcionais
Quinonas	Aumento do preço do petróleo	Catálise – exemplo: oxidação seletiva

Fonte: Elaboração própria a partir de Bozell *et al* (2007)

3ª etapa – Construir o *roadmap*

Para construir o *roadmap* de biorrefinarias de produtos da lignina para os EUA foram realizadas as seguintes operações:

- Construir uma Tabela com quatro colunas e quatro linhas. O título da primeira coluna refere-se aos elementos direcionadores e em cada camada, ou seja, em cada linha desta coluna, foi inserido os três parâmetros-chaves (mercado, produto e tecnologia);

- Dividir cada camada em subcamadas que correspondem aos elementos direcionadores de cada parâmetro-chave que foram identificados nas Tabelas 9.2, 9.3 e 9.4;

- Identificar nas demais colunas da Tabela os três períodos temporais correspondentes ao curto, médio e longo prazo conforme informação na Tabela 9.1;

- Introduzir os elementos direcionadores dos produtos em retângulos de cores verde (curto prazo), amarelo (médio prazo) e azul (longo prazo) que representa o tempo previsto de acordo com o estudo para que esta tecnologia esteja disponível no mercado;

- Cada produto deve ser conectado aos seus elementos direcionadores de tecnologia e mercado de acordo com o teor das Tabelas 9.2, 9.3 e 9.4.

9.1.2.3 Fase III: Atividade de continuidade

1ª etapa – Revisar o *roadmap*

O *roadmap* gerado passou por uma revisão geral de modo a detectar se não houve nenhuma inconsistência em relação ao documento que lhe serviu de fonte de informações.

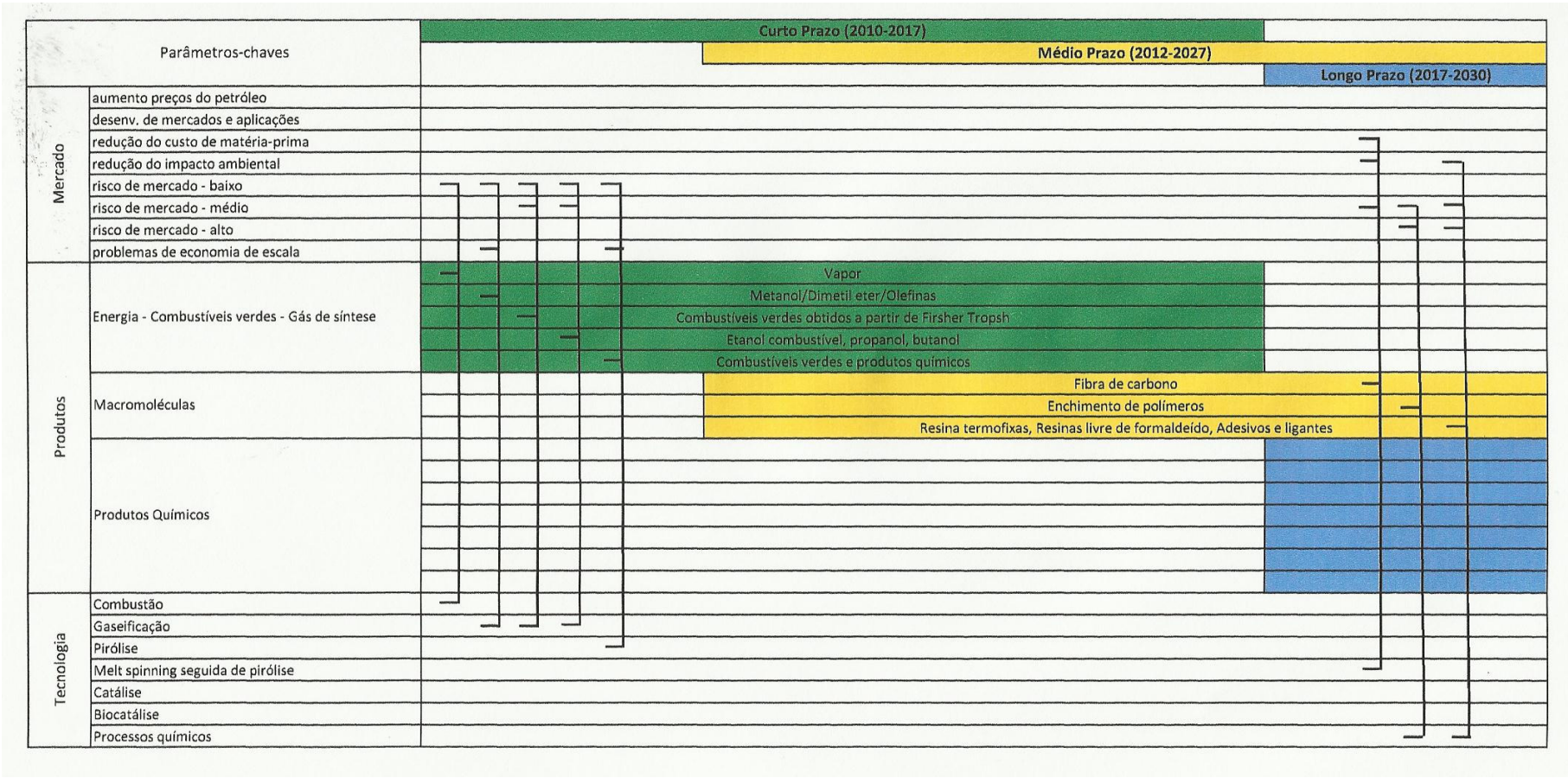
2ª etapa – Avaliar o *roadmap*

Para avaliação do *roadmap* gerado, esta etapa se baseou nos atributos de um "bom" *roadmap* reportados por Phaal *et al* (2001) definidos a seguir:

- Simplicidade: o *roadmap* favorece a comunicação entre os parâmetros-chave;
- Profundidade: o *roadmap* representa uma visão altamente condensada de mercados, enquanto que o objetivo é tipicamente produzir uma figura de uma página, que deve ser suportada pelos dados necessários, geralmente na forma de um relatório detalhado (que corresponde a análise do *roadmap* – item 9.1.3);
- Processo: embora o objetivo principal seja produzir o *roadmap*, o processo *technology roadmapping* é de valor significante. A qualidade e a credibilidade do *roadmap* dependem do seu processo de construção, particularmente em termos de garantir que a entrada de informações reflita o melhor conhecimento disponível;
- Contexto: o *roadmap*, por si, pode ser difícil de interpretação sem um entendimento dos objetivos particulares aos quais foi endereçado, como ele foi produzido e quem estava envolvido. Estas informações devem estar presentes junto ao *roadmap*.

9.1.3 **Apresentação e análise do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA**

A Figura 9.2 mostra o *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA elaborado a partir da metodologia apresentada na Tabela 5.2 e com base nas informações do documento do USDOE.


Parâmetros-chaves
Curto Prazo (2010-2017)
Médio Prazo (2012-2027)
Longo Prazo (2017-2030)
Mercado
aumento preços do petróleo
desenv. de mercados e aplicações
redução do custo de matéria-prima
redução do impacto ambiental
risco de mercado - baixo
risco de mercado - médio
risco de mercado - alto
problemas de economia de escala
Produtos
Energia - Combustíveis verdes - Gás de síntese
Vapor
Metanol/Dimetil eter/Olefinas
Combustíveis verdes obtidos a partir de Firsher Tropsh
Etanol combustível, propanol, butanol
Combustíveis verdes e produtos químicos
Macromoléculas
Fibra de carbono
Enchimento de polímeros
Resina termofixas, Resinas livre de formaldeído, Adesivos e ligantes
Produtos Químicos
Tecnologia
Combustão
Gaseificação
Pirólise
Melt spinning seguida de pirólise
Catálise
Biocatálise
Processos químicos

(CONTINUA)

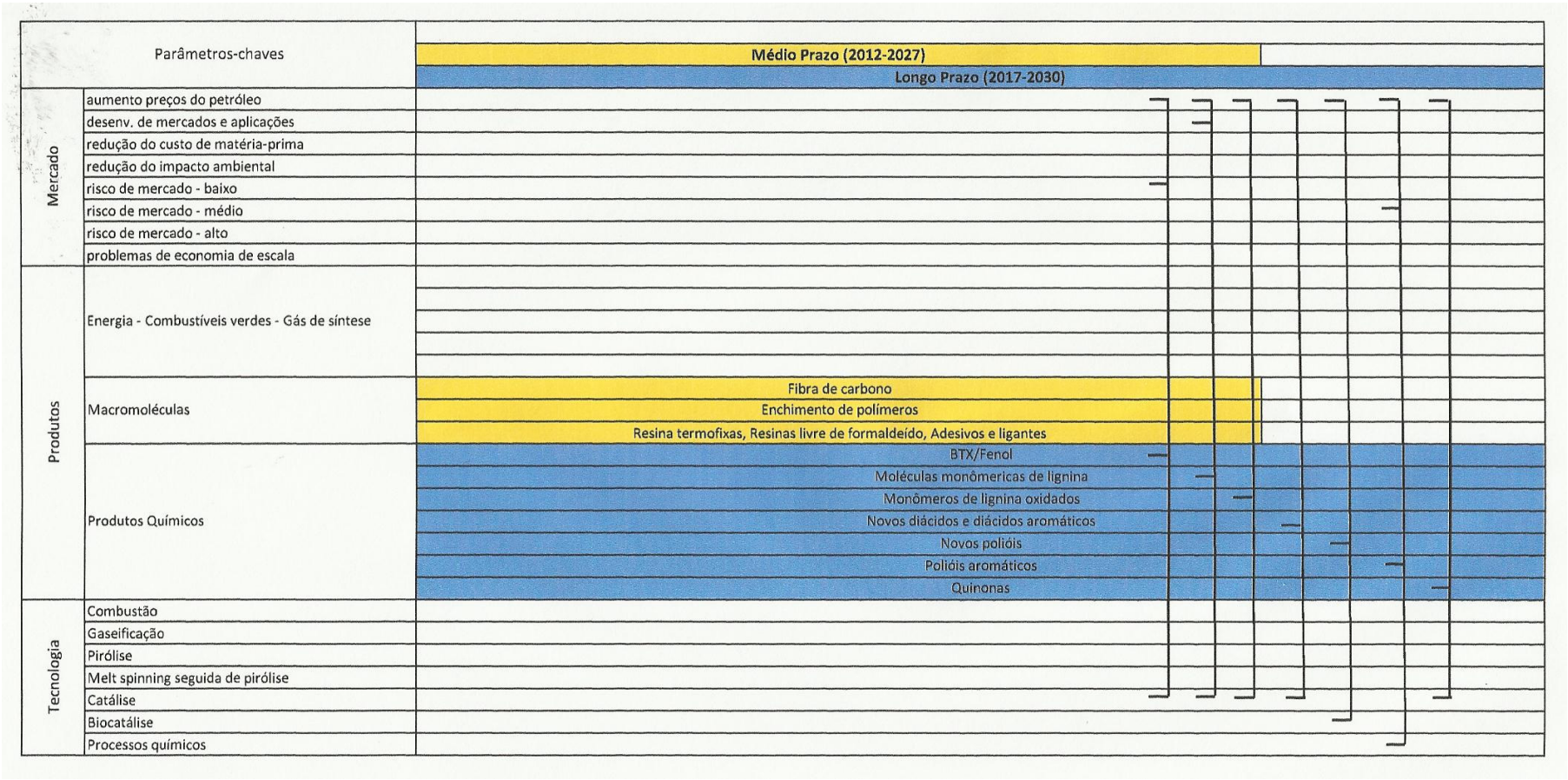


Figura 9.2 - *Roadmap* de Biorrefinaria de Produtos da Lignina dos EUA

Fonte: Elaboração própria

A análise do *roadmap* dos EUA foi conduzida pelo horizonte de tempo, uma vez que cada uma das três categorias de produtos (Energia-Combustíveis verdes-Gás de Síntese; Macromoléculas e Produtos químicos aromáticos) foram alocadas respectivamente no curto, médio e longo prazo.

Curto prazo

No curto prazo, é possível observar que o USDOE aponta em seus estudos que a lignina consolidadará sua posição como fonte de energia na produção de vapor, através da combustão direta, como matéria-prima para produção de combustíveis diversos, como metanol, etanol e outros utilizando processos termoquímicos, como a pirólise e gaseificação.

Cabe destacar ainda a integração de rotas sucroquímicas as termoquímicas. Um exemplo desta integração pode ser visto na elaboração do *Technological roadmap* da Industria de Produtos Floretais (AGENDA 2020 TECHNOLOGY ALLIANCE, AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION & DEPARTMENTO DE ENERGIA DOS EUA, 2006) que adota o conceito de biorrefinaria avançada de produtos florestais implicando no desenvolvimento de tecnologias para suporte a dois novos processos paralelos a produção de celulose: a extração e a conversão da hemicelulose em produtos químicos como etanol e ácido acético e a gaseificação da biomassa e licor negro gerado para produção de energia e combustíveis.

Este estudo aponta que a gaseificação da biomassa e negro de fumo pode gerar um faturamento, em base anual, de cerca de US$ 32 milhões e US$ 63 milhões, respectivamente, na capacidade de geração de eletricidade adicional (para uso na propria usina ou na venda) e na produção de 1,1 milhões de baris de combustível líquido de Fischer-Tropsch renovável.

Assim, a planta de energia da biorefinaria pode ser fundamentada na gaseificação da biomassa e do licor negro em substituição as fontes fosseis. Além de cumprir com o fornecimento de calor e eletricidade para a recuperação dos produtos químicos da polpação, os gaseificadores produzem o gás de síntese, composto de hidrogênio e monóxido de carbono que pode ser: (i) queimado em turbinas para

produzir vapor e energia para a usina em geral ou (ii) convertido em combustíveis de transportes como os combustíveis líquidos de Fischer-Tropsch ou hidrogênio puro.

Um outro exemplo de integração de rotas bioquímicas e termoquímicas é ilustrada na Figura 9.3, que mostra que o resíduo rico em lignina, proveniente da bioconversão do etanol a partir do milho, é submetido a uma pirólise, seguida de um hidrotratamento/hidrocraqueamento em que é obtida a chamada gasolina verde (BOZELL *et al*, 2007).

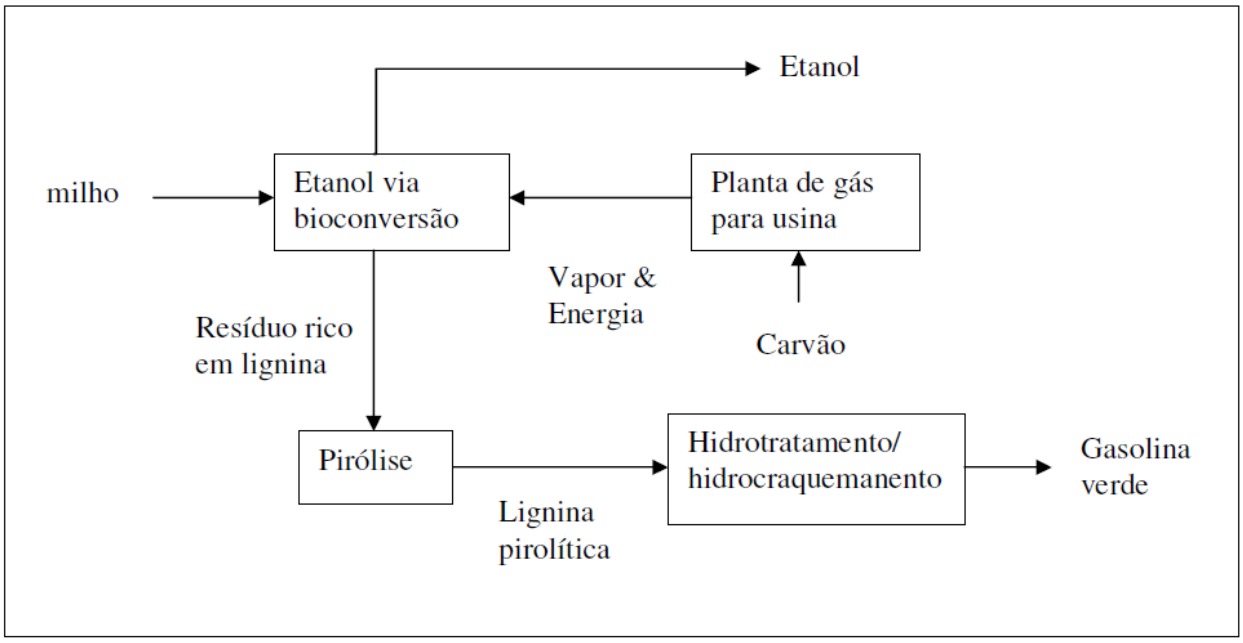


Figura 9.3 - Biorrefinaria Bioquímica/Termoquímica

Fonte: Bozell *et al* (2007)

No entanto, a utilização das tecnologias de gaseificação e pirólise têm implicações para o balanço energético e viabilidade econômica da biorrefinaria que necessitam ser melhor investigadas. Uma série de obstáculos técnicos precisam ser superados, e investimentos em P,D&I são necessários para completar a tecnologia em desenvolvimento, otimização e demonstração de tecnologias emergentes, e depois integrar as novas tecnologias com operação da fábrica de celulose, por exemplo, em escala comercial. As biorrefinarias de produtos florestais, por exemplo, representam

uma alta tecnologia "perturbadora", exigindo um grande investimento de capital para instalar e um novo modelo de negócio para funcionar.

O *roadmap* para bioenergia e bioprodutos nos EUA (BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT TECHNICAL ADSISORY COMMITEE, 2007) aponta, conforme mostra a Tabela 9.5, as necessidades de P&D relacionadas as rotas termoquímicas de gás de síntese e pirólise no periodo de 2007 a 2012 (curto prazo).

Tabela 9.5 - Necessidades de P&D para conversão termoquímica – 2007 a 2012

Gás de Síntese	Líquido da Pirólise
- Demonstração de tecnologias de ponta para o gás de síntese - Gaseificação: alimentação em reatores pressurizados, economia em escala menor - Gaseificação: limpeza de gases e, catalisadores de síntese melhores - Demonstrar gaseificação de biomassa em escala comercial - Converter o gás de síntese em combustível e produtos em escala adequada	- Melhorar a qualidade dos biocombustíveis - Separações por ou após a pirólise - Melhoramentos na extração do óleo de pirólise - Métodos para usar o líquido de pirólise em craqueamentos

Fonte: Adaptado de BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT TECHNICAL ADSISORY COMMITTEE (2007)

Tendo em vista o acima exposto, juntamente com a análise do *roadmap* elaborado, é possível observar que no curto prazo o governo americano busca investir em tecnologias que permitam o uso integral da biomassa e auto-suficiência energética das biorrefinarias, visando o fortalecimento da segurança energética e sua competitividade no mercado. Neste primeiro momento, tecnologias como a gaseificação e pirólise são usadas como estratégicas para produção de energia e combustíveis, em que a lignina ou o material contendo lignina é usado de forma direta sem grandes preocupações com processos de purificação.

Médio prazo

Por outro lado, as aplicações de médio prazo têm se mostrado mais como o uso da lignina ou de produtos da lignina adicionados/misturados a outros produtos como

polímeros e resinas termofixas, de modo a melhorar as propriedades fisico-químicas dos mesmos, tais como a estabilidade oxidativa e térmica.

Neste caso, há necessidade de purificação e assim estudos mais detalhados são requisitados para que o uso da lignina não cause defeitos, tais como vazios e contaminações que podem provocar a ruptura do material. Como exemplo do uso da lignina neste contexto, o *roadmap* elaborado aponta o seu uso na produção de fibras de carbono, como enchimento de polímeros e na produção de resinas, adesivos e ligantes.

A lignina representa uma fonte potencial e de baixo custo de carbono adequada para substituir os polímeros sintéticos, tais como fibras de poliacrilonitrila (PAN) na produção de fibras de carbono. O uso da lignina no processo de fabricação de fibras de carbono estimula o uso de matérias-primas renováveis, diminuindo assim a sensibilidade quanto aos custos do petróleo e reduzindo os impactos ambientais (COMPERE *et al*, 2001).

A lignina pode ser suficiente para deslocar parte do aço utilizado nos veículos de passageiros domésticos nos EUA, fazendo com que os painéis de aço sejam substituídos por plásticos, leves porém fortes, reforçados com fibras de carbono, reduzindo, assim, significativamente o peso dos veículos e promovendo a melhoria no consumo de combustíveis.

O segundo uso da lignina verificado no *roadmap* foi como enchimento de polímeros; a lignina é um modificador de polímero que é usado como um aditivo que promove a melhoria das propriedades físicas e de desempenho dos polímeros. As pesquisas se concentram no controle da massa molecular, na introdução de funcionalidade reativa e polieletrolítica dentre outras (BOZELL *et al*, 2007).

Os desafios técnicos em torno de polímeros modificadores (enchimentos) incluem a compreensão de como fazer essas modificações de forma econômica e eficaz com ligninas de diferentes fontes. As ligninas modificadas precisam ser validadas de acordo com suas aplicações, que podem incluir plásticos de alta resistência de engenharia, polímeros resistentes ao calor e adesivos livres de formaldeído.

Como visto no Capítulo 2, o mercado mundial de poliolefinas, em especial o norte-americado, movimenta grandes valores, o que possibilita a criação de oportunidades de crescimento para o uso de lignina, de modo a melhorar as

propriedades dos polímeros, permitindo assim a substituição de outros materiais mais poluentes e de fontes esgotáveis como papel, metal e vidro.

Por fim, a lignina, devido a seu caracter fenólico, pode ser utilizada para substituir parcialmente o fenol em resinas de fenol-fomaldeído. O interesse em substituir o fenol por lignina reside no fato de que hoje o fenol é obtido a partir de uma fonte não-renovável, o petróleo, ao passo que a lignina pode ser obtida a partir de matéria-prima renovável (CARVALHO & FRONLLINI, 1999).

Os estudos de Stewart (2008), mostrados no Capítulo 2, apontam que a introdução da lignina no mercado de compostos fenólicos é viável e que as previsões do futuro indicam que o preço atual do fenol aumentará de acordo com a demanda anual prevista.

Longo prazo

O *roadmap* aponta que, no longo prazo, as biorrefinarias de produtos obtidos a partir da lignina terão seu foco na produção de produtos químicos aromáticos de maior valor agregado, tais como: BTX, fenóis, polióis, quinonas dentre outros. A tecnologia chave para a obtenção destes produtos é a catálise, em especial catalisadores biológicos mais tolerantes a temperaturas e catalisadores altamente seletivos, de modo a melhorar a eficiência dos processos.

Além disso, a P&D é necessária em substratos catalíticos designados para produção de produtos, combustíveis e energia específicos, de forma que menos processamento seja demandado havendo assim uma maior redução de custos.

Com relação a necessidade de matéria-prima, a Tabela 2.8 mostra a estimativa da substituição para os EUA dos derivados aromáticos, sendo necessária uma quantidade de lignina requerida de 41,1 $*10^9$ kg. É possível observar que esta quatidade está disponível nos EUA, considerando que a disponibilidade desta matéria é de cerca de 286 milhões de toneladas de lignina (22 milhões oriunda da indústria da celulose e 264 milhões dos resíduos agrícolas) conforme mostrado no Capítulo 2.

9.2 *ROADMAP* PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL

9.2.1 **Aplicação da metodologia criada para elaboração do *roadmap***

Como mencionado no item 5.3.2, e mostrado na Tabela 5.3, foi aplicada a metodologia própria para elaboração do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil, adaptada daquela criada para elaboração do *roadmap* para os EUA.

9.2.1.1 Fase I: Atividade preliminar

a. Definir o problema a ser solucionado pela TRM

Fornecer uma orientação aos investimentos nacionais de P,D&I com relação ao aproveitamento da lignina, obtida a partir de materiais lignocelulósicos (em especial proveniente da agroindústria do etanol/açúcar da cana-de-açúcar e da produção de papel e celulose), através da elaboração de um documento dinâmico que oriente as políticas públicas nacionais. O objetivo é garantir um futuro energético seguro e limpo ao Brasil, bem como possibilitar ao país manter a competitividade no setor agroindustrial e consolidar sua posição no novo paradigma tecnológico que surge com o advento do aproveitamento total da biomassa gerada.

b. Definir o objetivo do *roadmap*

Identificar os avanços de P,D&I, em um horizonte temporal de curto, médio e longo prazo, necessários para fazer com que projetos de biorrefinaria se tornem mais atrativos economicamente através do melhor uso da lignina gerada.

c. Definir os benefícios do uso do *roadmap*

A metodologia de prospecção tecnológica selecionada para a presente tese, o TRM, se configura como uma ferramenta valiosa para identificar e orientar os investimentos necessários em P,D&I de modo a concentrar esforços de todos os atores envolvidos.

A investigação e o entedimento (i) dos métodos de obtenção/produção da lignina (fracionamento de materiais lignocelulósicos), (ii) das alterações genéticas para reduzir o seu teor na planta e (iii) de suas aplicações atuais e futuras auxiliam na identificação de oportunidades específicas de acordo com a realidade nacional.

1ª etapa – Satisfazer as condições de contorno

1.1 Prever a participação de diferentes atores como membros da indústria, governo e universidades

O *roadmap* elaborado é direcionado para a Indústria Nacional e servirá de instrumento de consulta para os diversos atores, em especial para as universidades, empresas, institutos de pesquisa e governo, podendo subsidiar as decisões e a concentração de esforços tecnológicos para enfrentar os desafios para a consolidação desta nova plataforma tecnológica.

1.2 Orientado para as necessidades e não para as soluções

O *roadmap* é orientado para as necessidades de mercado e tecnológicas, tendo em vista que procura indicar como a lignina pode ser melhor utilizada para suportar a saúde econômica da biorrefinaria.

2ª etapa – Definir o escopo e as condições de contorno para o *roadmap*

2.1 Definir o propósito, o formato e a estrutura

O *roadmap* desenvolvido nesta tese possui o mesmo propósito, formato e estrutura adotado no *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA, ou seja:

(i) o propósito de planejamento de produto (aplicações/usos da lignina) e o formato de camadas múltiplas, de acordo com os propósitos e formatos classificados por Phaal *et al* (2004); e

(ii) a estrutura genérica descrita por Phaal *et al* (2001), na qual a disposição em camadas contempla os três parâmetros-chave: mercado, produto e tecnologia.

A camada mercado está relacionada com a origem da biomassa (oriunda da indústria sucroalcooleira, de papel e celulose e de diversas fontes agrícolas) e com as características da lignina nas diferentes aplicações (poder calorífico, natureza aromática, adsorção, aglutinantes e adesivos, aditivo, atividade antimicrobiana e emulsificante).

A camada produto é a ponte entre as tendências de mercado e as tecnologias. A camada tecnologia está relacionada com os processos necessários para a produção dos diferentes produtos identificados.

2.2 Definir as fontes de informação utilizadas no *roadmap*

As fontes de informação selecionadas foram os documentos de patentes, artigos científicos e linhas de pesquisa conforme justificativas e metodologias apresentadas no Capítulo 5, itens 5.3.2.1 e 5.4.1 a 5.4.3 respectivamente.

2.3 Definir o período temporal

Com base na análise dos *roadmaps* referentes ao emprego de energia renovável, apresentados no Capítulo 4 (item 4.8), destacando que alguns deles também utilizam alguns dos indicadores empregados neste estudo, foi definido o período temporal de 20 anos (2010-2030). O *roadmap* elaborado, que contém as visões atual e prospectiva, permite a visualização de informações tecnológicas da seguinte forma:

(i) Curto prazo (2010 a 2015): representando o cenário atual;
(ii) Médio prazo (2015 a 2020): representando o cenário futuro próximo; e
(iii) Longo prazo (2020 a 2030): representando o cenário futuro distante

Ressalta-se ainda que a maior parte dos *roadmaps* encontrados na literatura adotam o intervalo de cinco, dez e vinte anos para o curto, médio e longo prazo, em especial aquele intitulado “Química Verde no Brasil: 2010-2030”.

2.4 Definir as fontes de informação selecionadas no período temporal determinado

Considerando que as informações tecnológicas devem ser inseridas no curto, médio e longo prazo no *roadmap*, foi necessário realizar uma pesquisa em estudos de natureza prospectiva na literatura para verificar como tais indicadores selecionados são classificados nos diferentes horizontes de tempo.

Avellar (2005) aborda em seu trabalho intitulado “Metodologias de avaliação de políticas tecnológicas: Uma resenha a partir de experiências internacionais” um panorama sobre os métodos utilizados internacionalmente para se avaliar os efeitos econômicos gerados por uma política tecnológica.

Segundo este estudo, as políticas tecnológicas vêm fazendo parte da agenda econômica, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, com o objetivo de ampliar sua capacidade tecnológica. De maneira geral, o objetivo é incentivar, não somente, os investimentos privados, mas também a melhoria na infra-estrutura disponível, a interação e a transferência de tecnologia entre diferentes agentes, como universidades, institutos de pesquisa (público e privado) e empresas.

Para o autor, identificar os benefícios sócio-econômicos de uma política tecnológica significa realizar uma análise da dinâmica de inovação, considerando tanto os impactos no curto quanto no longo prazo. Por isso, está fortemente relacionado tanto com o desenvolvimento de novos produtos e processo, bem como com a geração de novas capacidades e de aprendizado dos agentes econômicos.

O estudo mostra que, tradicionalmente, as medidas de avaliação de uma política tecnológica utilizadas baseiam-se em análise dos gastos em P&D, dos resultados bibliométricos, do número de patentes e do aumento de qualificação dos recursos humanos. Tais indicadores foram alocados no curto, médio e longo prazo para que seja feita a análise da política tecnológica ao longo do tempo da maneira descrita na Tabela 9.6.

Tabela 9.6 - Indicadores alocados no curto, médio e longo prazo para subsidiarem a análise dos efeitos da política tecnológica

Efeitos de curto prazo	- formação de um conjunto de recursos humanos destinado à atividade tecnológica - aumento de gasto em P&D, como compra de equipamentos - redução do custo - aumento nas vendas de novos produtos
Efeitos de médio prazo	- aumento do número de publicações - apropriabilidade dos resultados, patentes - efeitos das vendas de novos produtos, processos e serviços sobre a produtividade das firmas - aumento de colaborações empresas e outras instituições - mudanças no tamanho da firma e da indústria
Efeitos de longo prazo	- aumento do nível de qualificação de recursos humanos para atividades tecnológicas - aumento do emprego de nível mais qualificado - impactos sobre a balança comercial: aumento de exportações de maior grau tecnológico - aumento da competitividade internacional da indústria - crescimento do PIB

Fonte: Elaboração própria a partir de Avellar (2005)

No trabalho desenvolvido por Avellar (2005), as publicações (dentre elas, os artigos científicos) e as patentes podem ser classificadas como indicadores de médio prazo para efeitos de política tecnológica. Cabe destacar ainda que o aumento de gastos de P&D são visto como indicadores de curto prazo; o exemplo dado foi a compra de equipamentos que tem um impacto mais rápido nas política tecnológicas.

Segundo Arruda *et al* (2010), no ano de 2008, a Secretaria de Estados de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior convidou a Fundação Dom Cabral, através do Núcleo de Inovação, para realizar uma pesquisa sobre as práticas de inovação entre as grandes empresas operando no Estado e fazer recomendações para políticas regionais de inovação.

Através da pesquisa de campo junto a 60 empresas dos setores de: agronegócio (2), indústria (41), comércio (1) e serviços (16), de um total de 243 identificadas, foram extraídas uma série de informações que possibilitou diagnosticar a capacidade de inovação das empresas mineiras.

De acordo com a pesquisa das 60 empresas consultadas: (i) 61% fazem uso de indicadores para medir e avaliar sua gestão da inovação e (ii) 25% afirmam possuir

patentes em vigor. Como resultado da pesquisa de uma forma geral, foi verificado que as empresas mineiras inovam da maneira descrita na Tabela 9.7:

Tabela 9.7 - Formas de inovação nas empresas mineiras

Processo de Impacto de Curto Prazo	Inovação Espontânea Inovação Induzida Projetos de revisão de processos
Processo de Impacto de Médio Prazo	Projetos de desenvolvimento de produtos (internos ou com parceiros) Projetos de desenvolvimento de gestão Licenças
Processo de Impacto de Longo Prazo	P&D Redes de P&D Aquisições

Fonte: Elaboração própria a partir de Arruda *et al* (2010)

Diferentemente do estudo de Avellar (2005) os investimentos em P&D e Redes de P&D, como linhas e projetos de pesquisa, foram classificados como impacto de longo prazo.

Tendo em vista o teor dos estudos mencionados, e considerando a particularidade dos usos da lignina e seus derivados, as informações identificadas nos documentos de patentes, artigos científicos e linhas de pesquisa foram alocadas no curto, médio e longo prazo, respectivamente, conforme mostrado na Tabela 9.8. As justificativas quanto estas escolhas são apresentadas a seguir.

Tabela 9.8 - Condições de contorno do *roadmap* de biorrefinaria de lignina no Brasil

Fonte de Informação	Prazo	Período
Documentos de patente	Curto prazo - dentro de cinco anos	2010-2015
Artigos Científicos	Médio prazo - de cinco a dez anos	2015-2020
Linhas de Pesquisa	Longo prazo - de dez a vinte anos	2020-2030

Fonte: Elaboração própria

Os documentos de patentes foram alocadas no curto prazo (2010-2015) porque:

- os documentos de patentes, solicitados e concedidos, são tecnologias disponíveis no mercado conforme descrito nas suas características (item 5.3.2.1); e

- os estudos referentes aos materiais lignocelulósicos, em especial os usos e aplicações da lignina, podem ser classificados como uma tecnologia emergente, na qual os novos produtos ainda estão sendo desenvolvidos.

Os artigos científicos publicados foram alocados no médio prazo (2015-2020) porque:

- as tecnologias, produtos e processos desenvolvidos e publicados em artigos científicos necessitam de estudos de natureza técnico-econômico, conforme mostrado na Figura 5.2, para que possam migrar da escala laboratorial (pesquisa em bancada), para a escala piloto e posteriormente para a escala industrial (*scale-up*); e

- os estudos de Avellar (2005) classificaram as publicações científicas como efeitos de médio prazo para a análise de políticas tecnológicas, bem como efeitos das vendas de novos produtos, processos e serviços sobre a produtividade das firmas.

As linhas de pesquisa foram alocadas no longo prazo (2020-2030) porque:

- as dificuldades e gargalos de natureza tecno-econômico encontrados nos documentos de patentes e artigos científicos servem como alimento para a orientação de novas pesquisas de modo a contornar as barreiras encontradas e tornar os novos produtos, processos e usos competitivos no mercado (ver Figura 5.2);

- os estudos de Arruda *et al* (2010) classificaram também as atividades de P&D como impactos de longo prazo no processo inovativo das empresas mineiras; e

- as atividades de P&D, que são estimuladas pelo aumento nos gastos de P&D (investimentos), são atividades que demoram algum tempo para dar retorno.

Por fim, uma releitura da Figura 5.2 mostra que as atividades de P&D, que podem ser analisadas no acompanhamento das linhas de pesquisa, geram em um primeiro momento artigos científicos. Estes podem tanto realimentar as atividades de pesquisa como gerar pedidos de patentes, desde que as invenções/inovações atendam aos requisitos de patentabilidade. No entanto, para que as invenções se tornem inovações é necessário que as mesmas tenham aplicação no mercado, sendo então

importante os estudos de viabilidade técnico-econômico. Assim a Figura 5.2, para este estudo, é interpretada como ilustrado na Figura 9.4.

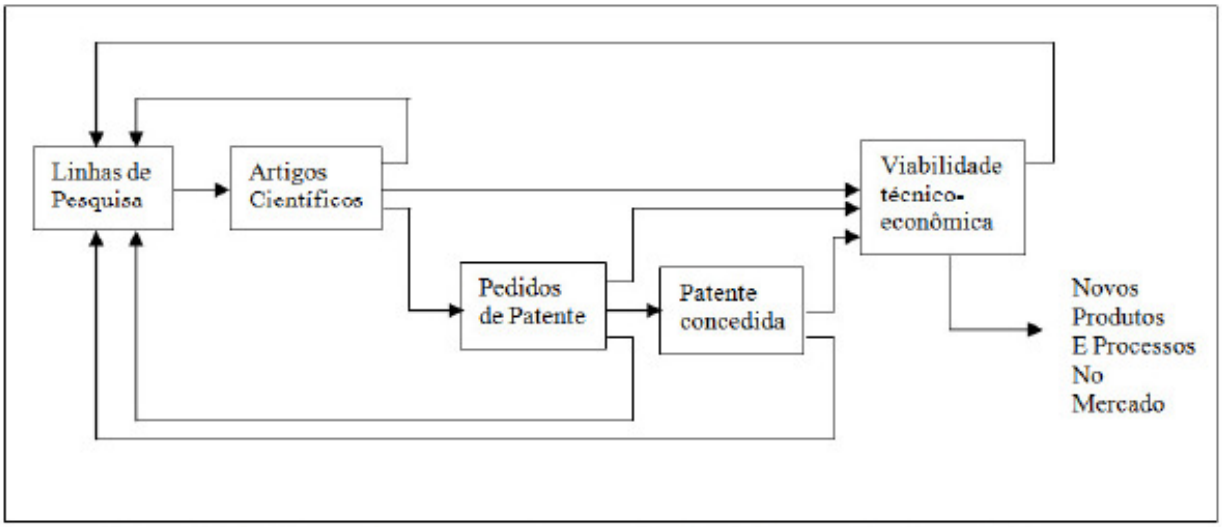


Figura 9.4 - Fluxo de acompanhamento das informações tecnológicas

Fonte: Elaboração própria

9.2.1.2 Fase II: Desenvolvimento do *roadmap*

<u>1ª etapa – Analisar as fontes de informação selecionadas</u>

As fontes de informação selecionadas foram analisadas, conforme exposto no Capítulo 5, destacando o fato de que as invenções/estudos/pesquisas relacionadas a lignina e desenvolvidos por instituições nacionais foram agregados em três tipos principais de categorias: (i) “remoção da lignina”, (ii) “alteração da genética da planta”, e (iii) “usos da lignina e seus derivados”.

<u>2ª etapa – Identificar os produtos que serão foco do *roadmap*</u>

Como o foco do *roadmap* é o estudo dos “usos da lignina e seus derivados”, estes foram agregados em três categorias principais: (i) Energia, Combustíveis Verdes e Gás de Síntese, (ii) Macromoléculas e (iii) Produtos Químicos Aromáticos, de modo a permitir a comparação com o *roadmap* para biorrefinarias de produtos da lignina nos EUA apresentado na seção 9.1 no presente Capítulo desta tese.

3ª etapa – Identificar os elementos direcionadores de mercado e de tecnologia

As atividades de prospecção tecnológica apresentadas nos Capítulos 6, 7 e 8 permitiram, por meio da leitura e da análise de cada um dos documentos selecionados, a identificação dos elementos direcionadores para os parâmetros-chave do *roadmap* (mercado, produto e tecnologia). As Tabelas 9.9, 9.10 e 9.11 elencam os elementos direcionadores de produto, tecnologia e mercado para as três categorias de produtos selecionadas par o curto, médio e longo prazo.

Tabela 9.9 - Elementos direcionadores de curto prazo - Brasil

Energia – Combustíveis Verdes – Gás de Síntese		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Combustível de celulignina	Poder calorífico Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Pré-hidrólise com uso de solução ácida pré-aquecida
Ecocarvão	Poder calorífico Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Outros – compactação
Macromoléculas		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Óleo emulsificante	Estabilizador de emulsões (emulsificante) Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas – lascas de madeira de Pinnus	Outros – mistura de dois tipos de óleo (de neem e tall oil, este ultimo a base de lignina) e posterior homogeinização para se obter o óleo emulsificante
Remoção de poluentes	Adsorção	Outros – mistura de produtos fornecendo um licor misto que em concentrações específicas por meios automáticos ou manuais se atinge a remoção de poluentes da água
Fibra dietética	Adsorção de sais	Outros – a lignina é o componente das fibras alimentares com maior capacidade de absorver sais biliares, diminuindo o colesterol sanguineo
Perfis plásticos	Aglutinante Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Outros – mistura dos dos materiais na forma seca, extrusão e resfriamento
Tratamento da madeira	Atividade antibactericida	Outros – provocar modificações químicas na estrutura da madeira
Chapa aglomerada sintética	Aglutinante Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Outros – mistura dos dos materiais na forma seca, extrusão e resfriamento

Macromoléculas		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Carvão ativado	Adsorção Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas – bagaço do malte	Processo químico – ativação química
Indicador de digestabilidade	Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas – madeira Eucalyptus grandis	Outros – a técnica de identificação de digestabilidade herbívoros e não herbívoros é a espectroscopia no infravermelho
Produtos Químicos aromáticos		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Aldeídos aromáticos	Natureza aromática Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – licor negro lignínico	Catálise heterogênea trifásica

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9.10 - Elementos direcionadores de médio prazo - Brasil

Macromoléculas		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Painéis de madeira usado como material de contrução	Lignina com aglutinante Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – bagaço da cana	Lignina obtida por explosão a vapor Outros - prensagem a quente para formar um papelão rígido e posterior carbonização
Resina fenol-formaldeído	Lignina como adesivo Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Outros - Compósitos foram produzidos por compressão do molde, de várias fibras de sisal, em combinação com fenol-formaldeído ou resinas de lignina em substituição ao fenol-formaldeído
Ácido acético	Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – bagaço da cana	Oxidação com peróxido
Enzimas	Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Hidrólise enzimática

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9.11 - Elementos direcionadores de longo prazo - Brasil

Energia – Combustíveis Verdes – Gás de Síntese		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Energia elétrica	Poder calorífico Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Outros - aproveitamento de resíduos fibrosos dentro do conceito de biorrefinaria
Briquetes	Poder calorífico Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Outros - Mistura dos resíduos - briquetes mais resistentes a umidade, com baixa emissão de poluentes e tempo de ignição
Bioenergia	Poder calorífico Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Pirólise
Macromoléculas		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Dispositivos fotônicos	Adsorção de metais Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – bagaço da cana	Outros - síntese e estudo espectroscópico de filmes de lignina químicamente modificada complexados com íons de terras raras.
Polietetrólito	Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – bagaço da cana Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Outros - Processo de eterificação para modificar quimicamente a lignina
Filmes alimentícios	Antioxidante atividade antimicrobiana	Outros - Modificações químicas
Polímeros termorrígicos e termoplásticos	Lignina como agente de reforço (aditivo) Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Outros – a lignina atua como agente de reforço na estrutura polimérica
Adsorventes de óleos e carvão ativado	Adsorção Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas – resíduos do café	Outros - Modificação química com a substituição dos grupos OH dos polímeros da parede celular por outros grupos, alterando as propriedades destes materiais
Resinas fenólicas	Adesivo Lignina e lignossulfonatos	Sem detalhamento
Quelantes	Adsorção de metais Lignina e lignossulfonatos	Sem detalhamento
Novos materiais com prop. eletrônicas	Adsorção de metais Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Sem detalhamento
Novos materiais	Sem detalhamento	Outros - Mistura física de amido e lignina
Biocompósitos de matrizes poliméricas	Adesivo Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas	Sem detalhamento
Fibrocimento	Aditivo Biomassa proveniente de diversas fontes agrícolas – resíduos do café	Sem detalhamento

Produtos químicos aromáticos		
Produto	**Mercado**	**Tecnologia**
Produtos químicos	Natureza aromática Biomassa proveniente da Industria sucroalcooleira – bagaço da cana Biomassa proveniente da Indústria de Papel e Celulose	Sem detalhamento

Fonte: Elaboração própria

Cabe esclarecer alguns pontos sobre os elementos direcionadores de mercado que foram classificados em duas categorias principais identificadas na busca efetuada: (i) a procedência da biomassa utilizada nos usos da lignina e (ii) as características da lignina observadas nos seus usos.

No presente estudo, optou-se por estas duas categorias tendo em vista que foram estas as informações disponibilizadas nas fontes pesquisadas. Dados sobre risco de mercado e problemas de escala não foram revelados e a importância da redução de impacto ambiental e menor dependência aos aumentos do preço do petróleo estão presentes em quase todos os documentos consultados (documentos de patente, artigos científicos e linhas de pesquisa).

Com relação a procedência da biomassa, observa-se três tipos: biomassa oriunda da indústria sucroalcoleira, biomassa oriunda da indústria de papel e celulose e a biomassa oriunda de diversas fontes agrícolas. Na revisão bibliográfica, foi apontado que tanto a indústria de papel e celulose como outros resíduos agrícolas (inclusive bagaço da cana-de-açúcar) oferecem uma grande disponibilidade de lignina no Brasil cerca de 6 milhões e 88 milhões de ton respectivamente.

As principais características da lignina observadas nos seus usos identificados na pesquisa realizada foram: poder calorífico, natureza aromática, adsorção, aglutinantes e adesivos, atividade antimicrobiana, aditivos, e emulsificante. Cabe destacar que estas características foram abordadas no Capítulo 2.

4ª etapa – Construir o *roadmap*

Para construir o *roadmap* de biorrefinarias de produtos de lignina para Brasil foram realizadas as seguintes operações:

- Construir uma Tabela com quatro colunas e quatro linhas. O título da primeira coluna corresponde aos elementos direcionadores e em cada camada, ou seja, em cada linha desta coluna, foi inserido os três parâmetros-chaves (mercado, produto e tecnologia);

- Dividir cada camada em subcamadas que correspondem aos elementos direcionadores de cada parâmetro-chave que foram identificadas nas Tabelas 9.9, 9.10 e 9.11;

- Identificar nas demais colunas da Tabela os três períodos temporais correspondentes ao curto, médio e longo prazo conforme informação na Tabela 9.8;

- Introduzir os elementos direcionadores de produtos em cada uma das categorias que cabe a ele em retângulos de cores distinstas no curto (verde), médio (amarelo) e longo (azul) prazo;

- Cada produto deve ser conectado aos seus elementos direcionadores de tecnologia e mercado de acordo com o teor das Tabelas 9.9, 9.10 e 9.11.

9.2.1.3 Fase III: Atividade de continuidade

1ª etapa – Revisar o *roadmap*

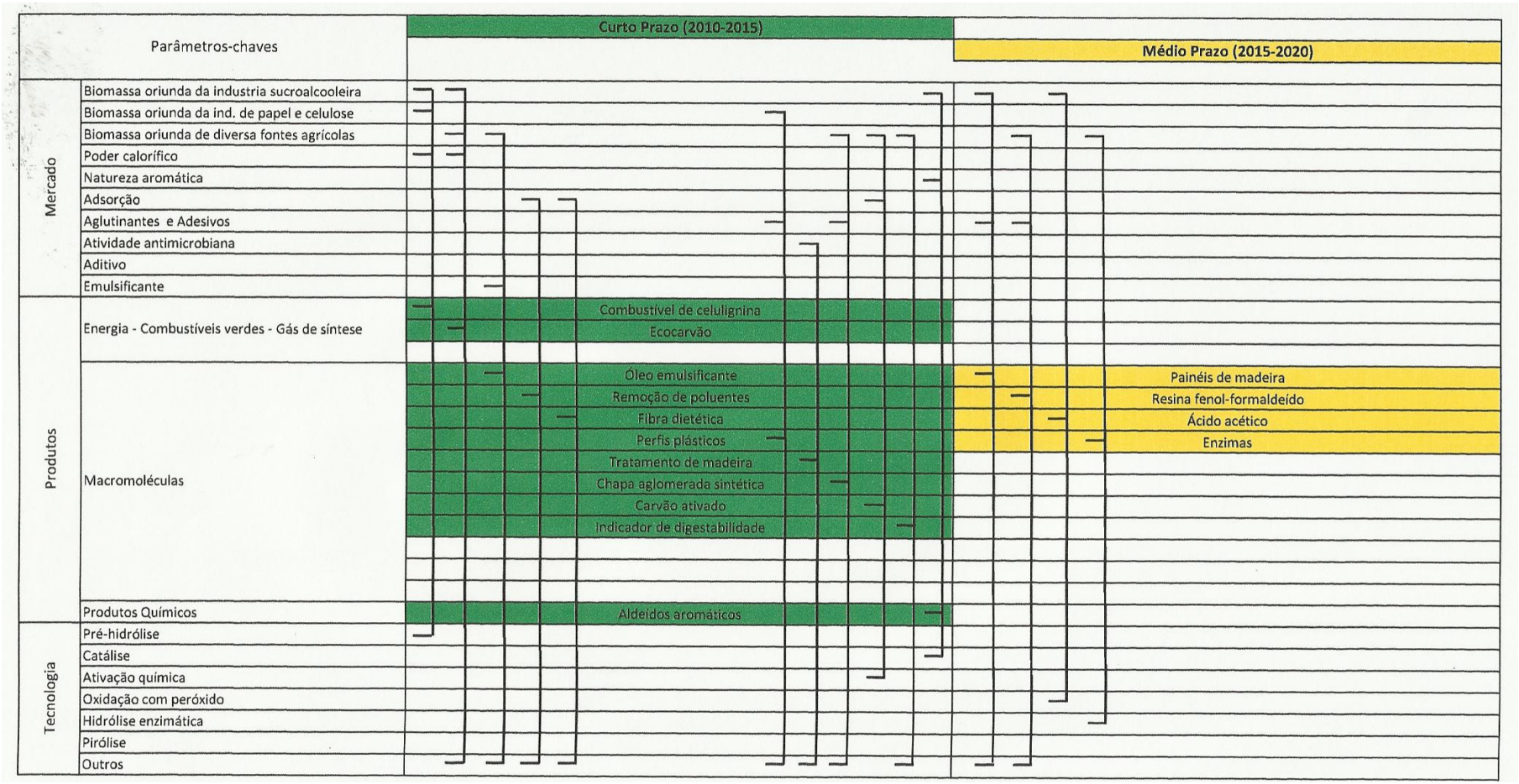
O *roadmap* gerado foi submetido a uma revisão geral de modo a detectar se não houve nenhuma inconsistência com relação as informações obtidas.

2ª etapa – Avaliar o *roadmap*

Para avaliação do *roadmap* gerado esta etapa se baseou nos atributos de um “bom” *roadmap* reportados por Phaal *et al* (2001) já previamente definidos quando da elaboração do *roadmap* dos EUA (item 9.1.1.3).

9.2.2 **Apresentação e análise do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil**

A Figura 9.5 mostra o *roadmap* de biorrefinaria de lignina no Brasil, com foco nas aplicações da lignina e seus derivados.


Parâmetros-chaves
Curto Prazo (2010-2015)
Médio Prazo (2015-2020)
Mercado
Biomassa oriunda da industria sucroalcooleira
Biomassa oriunda da ind. de papel e celulose
Biomassa oriunda de diversa fontes agrícolas
Poder calorífico
Natureza aromática
Adsorção
Aglutinantes e Adesivos
Atividade antimicrobiana
Aditivo
Emulsificante
Produtos
Energia - Combustíveis verdes - Gás de síntese
Combustível de celulignina
Ecocarvão
Macromoléculas
Óleo emulsificante
Remoção de poluentes
Fibra dietética
Perfis plásticos
Tratamento de madeira
Chapa aglomerada sintética
Carvão ativado
Indicador de digestabilidade
Painéis de madeira
Resina fenol-formaldeído
Ácido acético
Enzimas
Produtos Químicos
Aldeídos aromáticos
Tecnologia
Pré-hidrólise
Catálise
Ativação química
Oxidação com peróxido
Hidrólise enzimática
Pirólise
Outros

(CONTINUA)

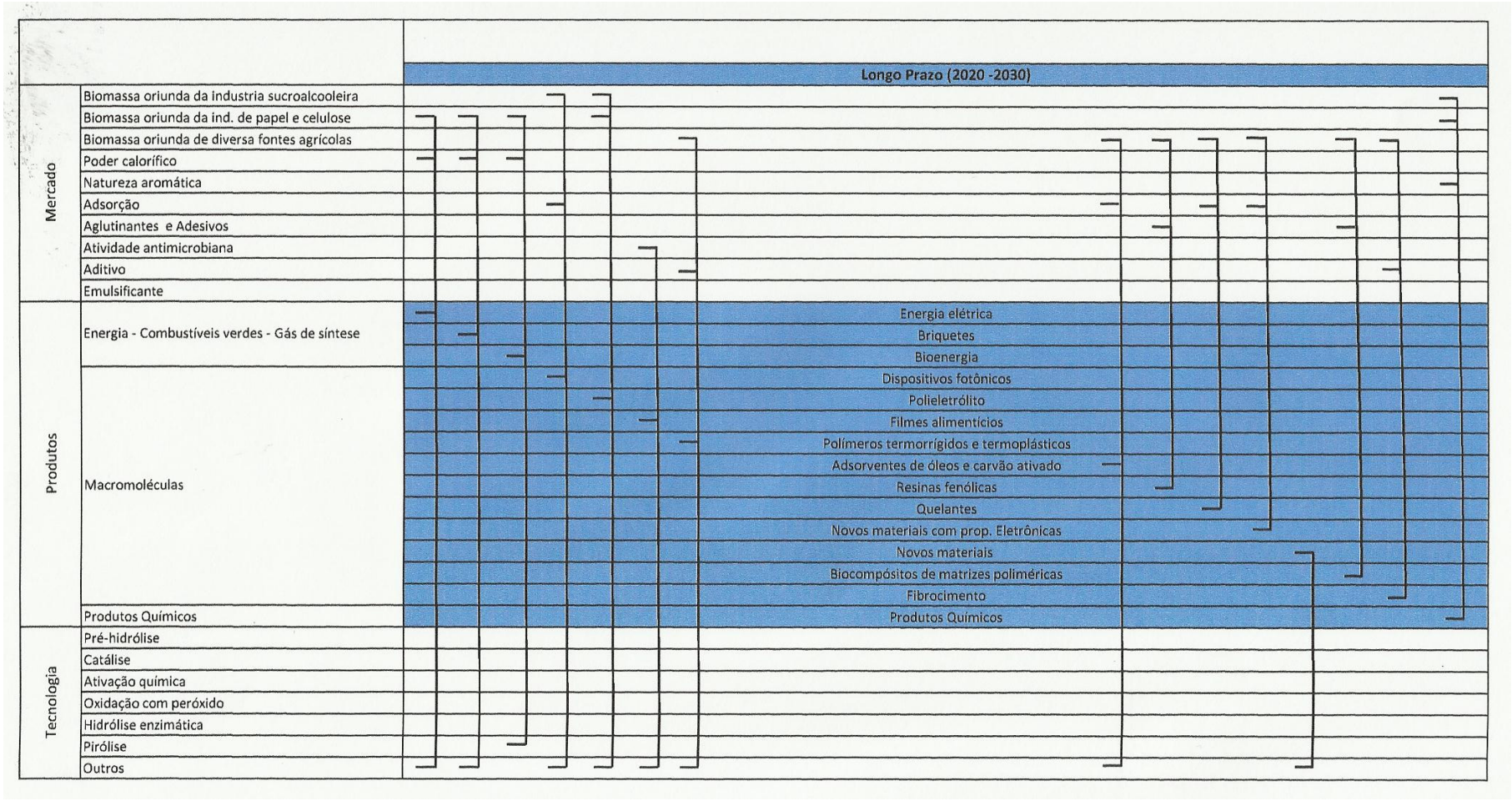


Figura 9.5 - *Roadmap* de Biorrefinaria de Produtos da Lignina do Brasil

Fonte: Elaboração própria

A análise do *roadmap* do Brasil vai ser conduzida pelo horizonte de tempo como a efetuada no *roadmap* dos EUA.

Curto prazo

Como visto na revisão bibliográfica, o maior uso da lignina é na geração de energia, na forma de eletricidade e vapor de processo, na produção de celulose e nas usinas de açúcar e etanol no Brasil. Isto se deve ao elevado poder calorífico da lignina na sua forma isolada (24 MJ/kg) ou presente no licor negro (13,4 MJ/kg), no bagaço da cana-de-açúcar (7 MJ/kg) e na palha do milho (3,6 MJ/kg).

Assim, como produtos de energia-combustíveis verdes-gás de síntese que exploram esta característica foram encontrados dois produtos: combustível de celulignina e e ecocarvão.

O combustível de celulignina, obtido por meio de um processo de pré-hidrolise da biomassa, é utilizado em boilers e turbina, podendo ainda ser usado para produzir bioóleo através da pirólise. Cabe destacar que o calor de combustão deste combustível é de cerca de 18 a 20 MJ/kg, quase igual ao da lignina na sua forma isolada. Já o ecocarvão é produzido por meio de uma máquina de compactação de resíduos vegetais.

Desta forma, no curto prazo com relação a produtos de energia-combustíveis verdes-gás de síntese, observa-se que no Brasil há um interesse em aproveitar a biomassa residual do agronegócio de uma forma direta, sem necessidade de isolar a lignina, visando a eficiência energética da indústria da celulose e da cana-de-açúcar por exemplo, e possibilitando a venda da energia potencial excedente.

Neste contexto de utilizar a lignina presente na biomassa sem necessidade de isolamento, a plataforma termoquímica ganha importância por possibilitar a obtenção de produtos de maior valor agregado, uma vez que a biomassa (contendo em parte a lignina) é submetida a uma pirólise para obtenção do bio-óleo que é submetido a uma gaseificação, para produção de gás de síntese e posterior conversão via reação de Fischer Tropsch em combustíveis líquidos (diesel, nafta, querosene) e produtos químicos (COUTINHO & BOMTEMPO, 2010).

Cabe destacar, no entanto, que ainda há oportunidades de pesquisa de novos produtos e processos, em especial aqueles em que a lignina é isolada de modo a fornecer uma queima mais eficiente do ponto de vista energético, uma vez que o poder calorífico da lignina isolada é maior do que das outras formas acima apontadas.

Há uma grande variedade de usos da lignina alocados na categoria de macromoléculas tais como: na formulação de óleo emulsificante, remoção de poluentes, fibra dietética, perfis plásticos, tratamento da madeira, chapa aglomerada sintética, carvão ativado e indicador de digestabilidade devido as características que a lignina desempenha no referido produto.

Dentre tais características, destacam-se a adsorção de metais e outros materiais presentes no produtos referentes a remoção de poluentes, fibras dietéticas e carvão ativado. Na remoção de poluentes é feita a adição de pó de lignina carbonizada no tratamento de efluentes para a remoção de metais e sais. As fibras dietéticas atuam baixando o nível de colesterol sanguíneo pela capacidade de se ligar aos sais e ácidos biliares e de eliminá-los com as fezes. Assim, a lignina é o componente das fibras dietéticas que possui a maior capacidade de adsover sais biliares. Por fim, o carvão ativado é usado em processos de destoxificação e remoção de resíduos, especialmente na adsorção de metais possibilitada pela presença da lignina na sua composição.

Outra característica da lignina que se destaca nos produtos denominados macromoléculas é seu caracter aglutinante e adesivo presente nas aplicações de perfis plásticos e chapa aglomerante sintética. Com relação a estas aplicações, o objetivo é modificar os produtos que modo a torná-los mais leves e resistentes aliado a uma grande durabilidade. Estes materiais apresentam aplicações em divisórias, prateleiras e outros materiais.

As outras caraterísticas observadas, a atividade antimicrobiana e o caracter emulsificante, estão presentes no tratamento da madeira e na produção de óleo emulsificante. No primeiro, os compostos de lignina introduzem modificações químicas na estrutura da madeira com o objetivo de eliminar o ataque microbiológico e de cupins; no segundo, a lignina é capaz de estabilizar as interações de óleo em água.

De uma maneira geral, com relação aos produtos de macromoléculas, observa-se que a adição da lignina ou compostos de lignina em determinados tipos de produto

(polímeros, fibras, etc) promove uma melhoria nas características e desempenho desse produto de acordo com uma característica da lignina alvo (aditivo, aglutinante, antimicrobiana, etc.). Assim, é possível enquadrar esta aplicação como um uso direto de resíduos contendo a lignina, ou seja, não é preciso grandes esforços em pesquisa, desenvolvimento e inovação para este tipo de aproveitamento direto da lignina.

O único produto enquadrado na categoria de produtos químicos foi referente a produção de aldeídos aromáticos, como vanilina, siringaldeído e p-hidroxibenzaldeído, a partir do licor negro lignílico do bagaço da cana obtido através de um processo catalítico heterogêneo. Dentre todas as aplicações de curto prazo, esta é aquela que apresenta produtos de maior valor agregado. Esta pode ser um caminho estratégico para o Brasil considerando que a balança comercial da vanilina no país apresenta um deficit crescente nos últimos anos como visto no Capítulo 2. No entanto, é necessário verficar ainda os gargalos de natureza econômica, tecnológica e logística associada a esta tecnologia, em especial por se tratar de uma catálise heterogênea.

Médio prazo

Foram identificadas apenas aplicações para lignina em macromoléculas no médio prazo, assim como no *roadmap* elaborado para biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA.

O destaque é para aplicações em macromoléculas devido as características aglutinantes, no caso de painéis de madeira, e adesivas, no caso das resinas de fenol-formaldeído. O caso do painel de madeira é uma aplicação semelhante a dos perfis plásticos e chapa de aglomerada sintética identificada como macromoléculas no curto prazo.

No outro caso, a lignina é usada para substituir parcialmente o fenol em uma resina de fenol-formaldeído, uma promissora alternativa natural aos produtos petroquímicos devido a sua semelhança estrutural conforme apontado no Capítulo 2. Esta aplicação é uma oportunidade para o Brasil consolidar sua posição superavitária nos mercados de resinas de fenol-formaladeído e fenol (conforme exposto no Capítulo 2, item 2.8) e reverter a posição desfavorável da Balança Comercial de Produtos Químicos em geral apontadas na Introdução.

Outra aplicação interessante para o Brasil é a aquela em que se produz ácido acético a partir de efluentes líquidos ricos em lignina misturada com licor negro, obtida a partir do bagaço hidrolisado, por meio de oxidação com peróxido molhado. Os metais de transição (Fe, Cu e Mn) presentes no efluente foram utilizados como catalisadores homogêneos. O artigo encontrado aponta que os resultados experimentais demonstram a viabilidade técnicia da conversão de bagaço de cana hidrolisado em celulose, polpas de cloro e ácido acético via processos integrados ecologicamente corretos.

Esta integração de processos pode ser encarado como uma oportunidade para o Brasil, considerando que o ácido acético é importado, acarretando nos anos de 2007, 2008 e 2009 dispêndios de cerca de US$ 56, 53 e 36 milhões (CGEE, 2010). Desta forma, obter ácido acético a partir dos efluentes ricos em lignina poderia contribuir para reduzir o deficit da balança comercial brasileira para este produto.

Por fim, o último uso da lignina identificado é na produção de enzimas ligninases como lacase peroxidade, que são enzimas extracelulares fúngicas que catalisam a degradação da lignina encontrada na parede celular das plantas. Estes estudos são relevantes porque, devido a algumas características associadas a lignina, as ligninases podem ser consideradas como uma promissora alternativa biotecnológica para a remoção de compostos tóxicos do ambiente.

Um dos principais exemplos tem sido na indústria têxtil, onde existe um vasto consumo de água e componentes químicos durante o processo de tingimento, o que resulta em efluentes altamente complexos e recalcitrantes. O uso destas enzimas podem contribuir para remoção e/ou degradção de componentes químicos muitas vezes carcinogênicos ou mutagênicos como algumas classes de corantes, principalmente os azocorantes (BONFÁ *et al*, 2003).

<u>Longo prazo</u>

Diferentemente do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina nos EUA que considerava a longo prazo apenas produtos químicos de natureza aromática, o *roadmap* elaborado para Brasil prevê esforços em P,D&I em todas as categorias de produtos, com um maior número de aplicações em macromoléculas e apenas uma aplicação relacionada a produtos químicos.

Com relação ao uso da lignina para aplicações referentes a energia-combustíveis verdes-gás de síntese, é possível observar que o tema ainda desperta interesse nacional sob novas formas de aproveitamento energético da lignina no que se relaciona a geração de energia elétrica, produção de briquete e bioenergia.

A geração de energia elétrica está associada a utilização eficiente da madeira e de outros recursos fibrosos, através do conceito de biorrefinaria ligado a indústria de celulose e papel, em que são produzidos polpas celulósicas, bioetanol e energia elétrica que é utilizada na indústria e vendido o excedente.

Os briquetes (produtos densificados) apresentam como característica a dificuldade de entrar em ignição, queima lenta e produção de muita fumaça durante a queima. Além disso, tendem a se desintegrar quando exposto à umidade, motivo pelo qual devem ser armazenados e transportados com muito cuidado. Assim, novas pesquisas objetivam a produção de briquetes mais resistentes a umidade, com baixa emissão de poluentes e menor tempo de ignição a partir da adição de lignina extraída do licor negro do processo kraft.

Por fim, pesquisas apontam para o desenvolvimento do processo de conversão termoquímica, em especial a pirólise, da madeira de plantações de *Eucalyptus* usado para aplicação de bioenergia no Brasil. Com visto anteriormente, o bio-óleo obtido pode ainda ser convertido a gás de síntese e submetido a uma reação de Fischer-Tropsch para obtenção de combustíveis verdes como visto no Capítulo 3.

Assim como observado no curto prazo, há uma grande variedade de usos da lignina alocados na categoria de macromoléculas como em: polímeros, resinas fenólicas, biocompósitos de matrizes poliméricas, dispositivos fotoeletrônicos, polieletrólito, filmes alimentícios, adsorventes de óleos e carvão ativado, quelantes, novos materiais com propriedades eletrônicas, novos materiais e fibrocimento.

Dentre as características que a lignina desempenha nestes produtos, destacam-se a adsorção de metais e outros materiais e também seu caráter aglutinante, adesivo e aditivo.

O caráter de adsorção de metais e outros produtos está presente nas aplicações em dispositivos fotoeletrônicos, adsorventes de óleos, quelantes e novos materiais com propriedades eletrônicas.

Estudos envolvendo ligninas produzidas a partir da hidrólise de resíduos agroindustriais, na qual os filmes de lignina quimicamente modificada e complexada com íons de terras raras, estão sendo pesquisados pois abrem possibilidades de utilização das mesmas como dispositivos fotônicos, por exemplo.

Outro exemplo de aplicação de ligninas quimicamente modificadas refere-se a sua utilização como absorventes de óleos. Neste caso, os resíduos são modificados quimicamente, substituindo os grupos OH dos polímeros da parede celular por outros grupos, alterando as propriedades destes materiais de modo a torná-los hidrofóbicos.

O design de novos materiais híbridos com propriedades eletrônicas que podem ser modificadas através da variação dos segmentos da cadeia polimérica ou do tipo do material inorgânico adicionado ao polímero amplia a possibilidade de obtenção de células solares mais eficientes. Neste contexto, a síntese de novos polímeros pela adição da lignina que possuam absorção extendida até a região do infravermelho próximo, boa mobilidade de cargas e níveis de energia e que permitam uma eficiente dissociação são extremamente necessários.

Outra característica da lignina que se destaca nas aplicações enquadradas como macromoléculas é seu caráter aglutinante, adesivo ou aditivo presente nas aplicações de resinas fenólicas, biocompósitos de matrizes poliméricas e fibrocimento.

Considerando-se as inúmeras vantagens do uso de resinas fenólicas, as pesquisas buscam melhorar as propriedades deste material pela introdução de reforços de origem natural, fibrosos ou não, originando compósitos. Além de melhorar as propriedades mecânicas, a substituição de parte da resina por fibras vegetais diminui o custo do produto e, ainda, colabora para com a expansão da aplicação de material de origem natural em produtos com maior valor agregado que aqueles tradicionalmente encontrados. Visando diminuir a dependência da preparação destes compósitos via reagentes derivados de fontes não renováveis, o objetivo é substituir o fenol por taninos e ligninas, em proporções diversificadas, idealmente na sua totalidade. Desta forma, são preparados materiais baseados principalmente em matéria-prima proveniente de fontes naturais, ou seja, os chamados biocompósitos.

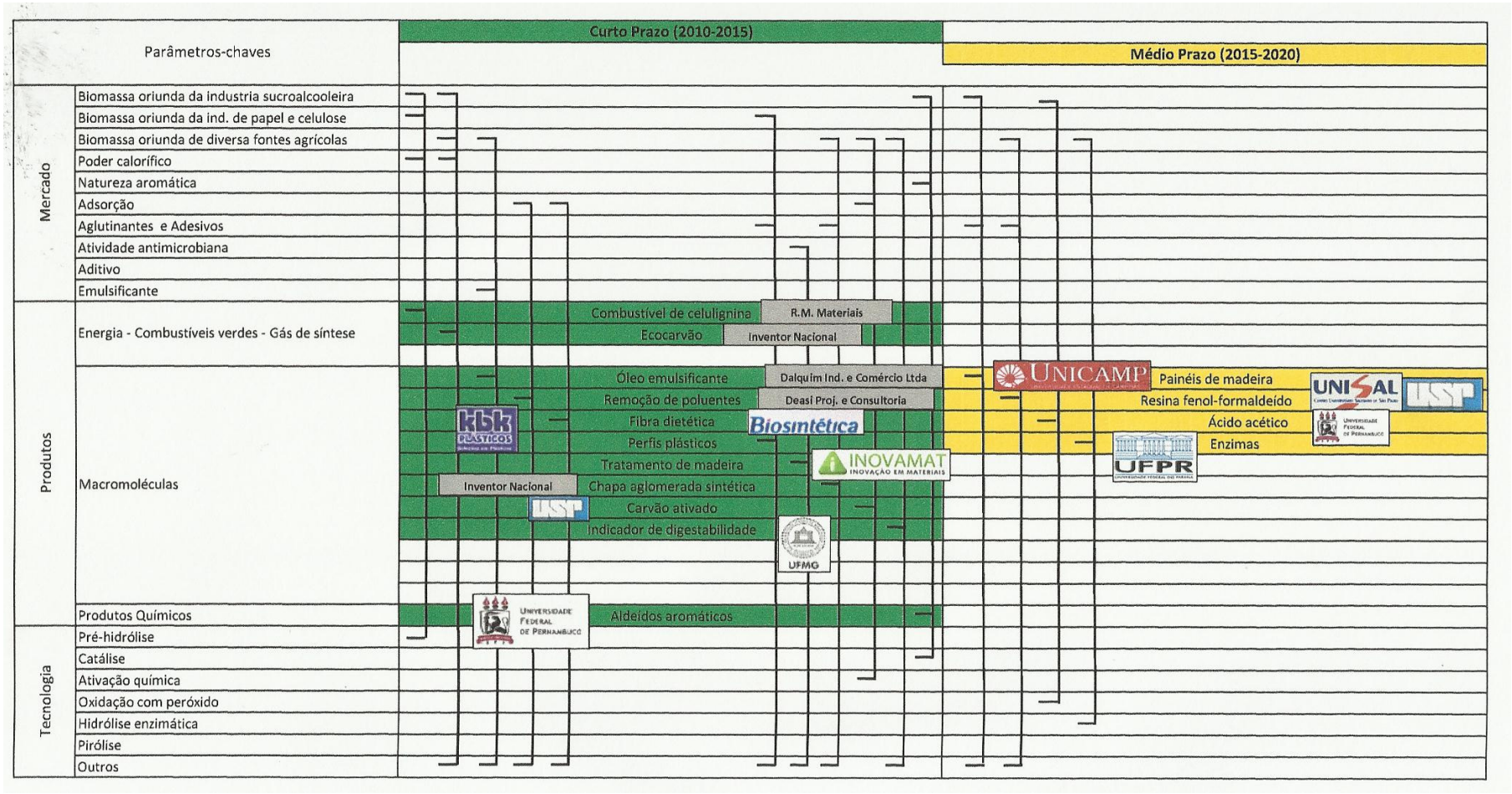
Uma outra aplicação da lignina refere-se a reciclagem das cinzas provenientes da queima de resíduos agroindustriais na fabricação de fibrocimento sem amianto, para uso em placas planas de interesse à construção rural.

Tem-se ainda o uso da lignina quimicamente modificada com íons metálicos em filmes alimentícios com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Tais propriedades têm relação com a presença de grupos fenólicos com substituintes no anel aromáticos que estabilizam os radicais fenoxilas.

Por fim, com relação a produtos químicos, as linhas de pesquisa mostram uma abordagem generalista sem um detalhamento profundo dos produtos e processos que estão sendo objeto de estudo. Os relatos apenas confirmam que há o interesse em produzir produtos químicos de maior valor agregado a partir da biomassa oriunda da industria sucroalcooleira e de papel e celulose no Brasil.

9.2.2.1 Informações adicionais extraídas da prospeção e do *roadmap* Brasil

A partir da Figura 9.5, junto com as informações obtidas da prospecção tecnológica efetuada nos documentos de patentes, artigos científicos e linhas de pesquisa, foi construída a Figura 9.6 que mostra os *players* brasileiros identificados, bem como o tópico dos usos da lignina que o mesmo aborda. Esta informação é valiosa porque identifica os *players* e o que os mesmos estudam/pesquisam/produzem e possibilita a construção de uma futura rede de cooperação nacional sobre o tema.


Parâmetros-chaves
Curto Prazo (2010-2015)
Médio Prazo (2015-2020)
Mercado
Biomassa oriunda da industria sucroalcooleira
Biomassa oriunda da ind. de papel e celulose
Biomassa oriunda de diversa fontes agrícolas
Poder calorífico
Natureza aromática
Adsorção
Aglutinantes e Adesivos
Atividade antimicrobiana
Aditivo
Emulsificante
Produtos
Energia - Combustíveis verdes - Gás de síntese
Combustível de celulignina
R.M. Materiais
Ecocarvão
Inventor Nacional
Macromoléculas
Óleo emulsificante
Dalquim Ind. e Comércio Ltda
Remoção de poluentes
Deasi Proj. e Consultoria
Fibra dietética
Biosintética
Perfis plásticos
Tratamento de madeira
INOVAMAT
Inventor Nacional
Chapa aglomerada sintética
Carvão ativado
Indicador de digestabilidade
UFMG
UNICAMP
Painéis de madeira
Resina fenol-formaldeído
Ácido acético
Enzimas
UNISAL
USP
UFPR
Produtos Químicos
Aldeídos aromáticos
Universidade Federal de Pernambuco
Tecnologia
Pré-hidrólise
Catálise
Ativação química
Oxidação com peróxido
Hidrólise enzimática
Pirólise
Outros

(CONTINUA)

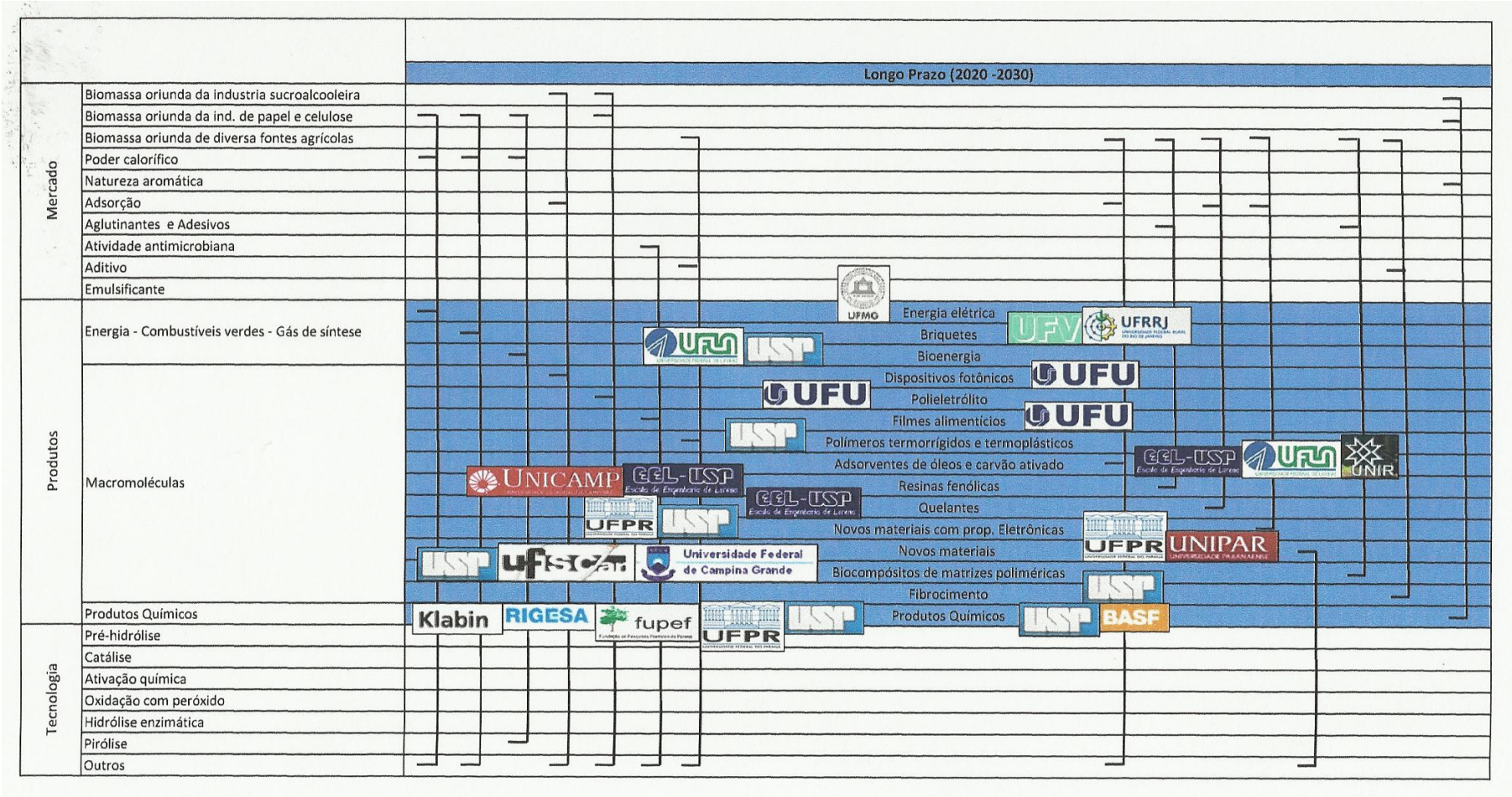


Figura 9.6 - Players brasileiros relacionados ao uso da lignina

Fonte: Elaboração própria

No curto prazo, é possível observar uma maior participação de empresas e inventores nacionais, o que reafirma que as invenções foram realizadas e motivadas por aplicações práticas do mercado.

Já no médio prazo, não foi identificada nenhuma empresa, apenas universidades nacionais, o que revela o caràter de divulgação de pesquisas que ainda estão sendo conduzidas e cuja as inovações ainda não estão disponíveis no mercado, tendo em vista que ainda devem passar por um estudo detalhado de viabilidade tecnico-econômica.

No longo prazo, nota-se uma presença, ainda que tímida, de parcerias entre universidades, instituições de pesquisa e empresas nacionais e estrangeiras. Esta parceira parece ser o modo mais adequado de realizar pesquisas orientadas por demandas reais do mercado e com patrocínio dos orientadores das demadas.

Com relação aos estudos realizados, duas universidades brasileiras se destacam: a USP e a UNICAMP. A USP desenvolve estudos com aplicações no curto, médio e longo prazo, explorando os três diferentes tipos de produtos da lignina. Além disso, esta universidade aborda outras linhas de pesquisa como: “remoção da lignina”, “alteração genética de plantas” e “outros tópicos relacionados a lignina” conforme verificado ao longo da prospecção tecnológica realizada e apresentada nos Capítulos 6, 7 e 8. Já a UNICAMP, apresenta uma ênfase em estudos da lignina ligado a suas aplicações em macromoléculas conforme pode ser visto na Figura 9.6.

Por fim, o tema da “remoção da lignina”, juntamente com os “usos da lignina e seus derivados”, desperta um grande interesse de pesquisa no Brasil como pode ser visto na prospecção tecnológica efetuada. O mesmo está fortemente vinculado a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos que atualmente é foco de pesquisas mundiais, tendo em vista a questão das altas cotações internacionais do petróleo, o aproveitamento integral da biomassa e a possibilidade de obtenção de novos produtos químicos a diminuir o déficit da balança comercial da Indústria Química Brasileira.

9.3 COMPARAÇÃO ENTRE *ROADMAPS* DO BRASIL E EUA

Antes de se efetuar uma comparação entre os dois *roadmaps*, há que destacar que, em que pese os dois apresentaram estruturas similares, os mesmos foram elaborados a partir de fontes de informações distintas, destacando que no *roadmap* do Brasil a metodologia de prospecção das informações foi detalhadamente explicada no Capítulo 5. Além disso, os horizontes de curto, médio e longo prazo são diferentes, pois para o *roadmap* dos EUA o curto, médio e longo prazo correspondem aos períodos de 2010-2017, 2012-2027 e 2017-2030 respectivamente; enquanto que o brasileiro corresponde a 2010-2015, 2015-2020 e 2020-2030. Ainda assim, é possível comparar alguns resultados obtidos pelos mesmos de uma forma macro.

Uma primeira constatação oriunda da comparação entre os *roadmaps* dos Brasil e dos EUA mostra que, de acordo com este último, cada um dos elementos direcionadores de produtos estão confinados em um horizonte de tempo apenas, ou seja, as aplicações referentes a energia-combustíveis verdes-gás de síntese, macromoléculas e produtos químicos aromáticos estarão consolidadas no mercado no curto, médio e longo prazo.

O que é mostrado no *roadmap* do Brasil é que o interesse de estudos envolvendo a lignina como energia-combustíveis verdes-gás de síntese não fica restrito ao curto prazo, já que pesquisas ainda estão em andamento sobre o tema, levando a crer que este tópico ainda desperta o interesse do mercado nacional de produtos da lignina.

Isto também é observado com relação as macromoléculas, considerando que foram verificadas uma série de iniciativas nacionais com relação a este tipo de uso já disponibilizadas no mercado no curto prazo (2010-2015); enquanto que para o mercado dos EUA estas aplicações só estariam dispobilizadas no mercado no médio prazo (2012-2027).

Com relação aos produtos químicos, observa-se um pequeno interesse por parte do Brasil, ou seja, há apenas uma aplicação de curto prazo em aldeídos aromáticos e uma de longo prazo em produtos químicos não especificados claramente. Isto pode ser justificado pelo fato de que tais aplicações requerem grandes esforços de P,D&I

porque, nestes casos, é necessário efetuar uma quebra seletiva da lignina para que não se perca as unidades aromáticas de interesse. Nos EUA, observa-se um grande interesse em produtos químicos de natureza aromática como os BTX, uma vez que estes produtos possuem um grande valor de mercado, aliado ao fato de que sua produção por meio de biomassa levaria a uma redução na dependência do petróleo.

Por fim, a Tabela 9.12 ilustra a comparação possível de realizar entre os produtos encontrados nos *roadmaps* dos EUA e BR de acordo com as características da lignina em comum.

Tabela 9.12 - Comparação entre produtos identificados nos *roadmaps* EUA e BR

Características da lignina	**EUA**		**BR**	
	Produto	**Prazo**	**Produto**	**Prazo**
Poder calorífico	Combustíveis verdes	Curto	Combustível de celulignina	Curto
Aditivo	Enchimento de polímeros	Médio	Polímeros termorrígidos e termoplásticos	Longo
			Fibrocimento	Longo
Adesivo/Aglutinante	Adesivos e ligantes	Médio	Perfis plásticos	Curto
			Chapa aglomerante sintética	Curto
			Painéis de madeira	Médio
			Resina fenol-formaldeído	Médio
			Resinas fenólicas	Longo
			Biocompósitos de de matrizes poliméricas	Longo
Natureza aromática	BTX/Fenol	Longo	Aldeídos aromáticos	Curto
	Moléculas monoméricas de lignina	Longo		
	Monômeros oxigenados de lignina	Longo		
	Novos diácidos e diácidos aromáticos	Longo	Produtos químicos	Longo
	Novos polióis	Longo		
	Polióis aromáticos	Longo		
	Quinona	Longo		

Fonte: Elaboração própria

É possível observar que os combustíveis verdes encontram aplicações no curto prazo tanto para o *roadmap* do Brasil quanto para o dos EUA. Com relação ao uso da lignina como aditivo, nota-se que a aplicação como enchimento de polímeros tem uma

projeção de médio prazo, enquanto que no Brasil a prospecção revelou que o seu uso está previsto para longo prazo.

Por outro lado, o uso da lignina em aplicações como adesivos e ligantes no Brasil está prevista no curto, médio e longo prazo, diferentemente do observado nos EUA cujo *roadmap* aponta que tais aplicações estarão no mercado americano no médio prazo.

Quanto a produtos de natureza fenólica que podem ser obtidos a partir da lignina, a Tabela 9.12 revela que tais produtos só deverão estar disponibilizados ao longo prazo nos EUA e Brasil, apesar do fato de terem sido encontradas informações sobre a produção de aldeídos aromáticos a partir da lignina em um documento de patente.

9.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina para os EUA foi elaborado de acordo com a metodologia própria apresentada no Capítulo 5 e com base nas informações constante no documento intitulado “Top Value-Added Chemicals from Biomass – Volume II – Results of Screening for Potential Candidates from Biorrefinery Lignin” preparado pelo Departamento de Energia dos EUA em Outubro de 2007 (BOZELL *et al*, 2007).

Observa-se que no curto prazo o foco é na geração de energia e combustíveis que podem ser obtidos pelo uso direto da lignina ou da biomassa que contém uma fração de lignina, visando a obtenção da auto-suficiência energética nas biorrefinarias. As rotas termoquímicas estão em evidência, em especial os processos de gaseificação e pirólise.

No médio prazo, nota-se que os produtos de natureza macromolecular requerem uma necesidade de purificação e estudos mais detalhados, de modo que a lignina ou a biomassa contendo lignina não cause defeitos como vazios e contaminações quando misturados a polímeros e resinas, visando a melhoria das suas propriedades físicas e químicas.

No longo prazo, o processo chave é a catálise em que se procura catalisadores biológicos mais tolerantes a temperaturas e altamente seletivos de modo a melhorar a

eficiência dos processos e reduzir seus custos. Os produtos alvos são os aromáticos que apresentam alto valor agregado no mercado mundial.

O *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina para o Brasil foi elaborado de acordo com a metodologia própria apresentada no Capítulo 5, adaptada daquela para a elaboração do *roadmap* dos EUA, com base na prospecção tecnológica efetuada nas bases de dados de documentos de patente (INPI e *USPTO*), artigos científicos (*Science Direct* e *Web of Science*) e linhas de pesquisa (Portal Inovação).

No curto prazo, diferentemente do identificado no *roadmap* dos EUA em que o interesse é somente de aplicações referentes a Energia- Combustível verde-Gás de Síntese, observa-se também o interesse de aplicações enquadradas na categoria de macromoléculas, em especial devido ao carater de adsorção da lignina e seus derivados. Uma outra característica marcante da lignina é seu caráter como aditivo, que permite a modificação do material ao qual a mesma é adicionada, possibilitando assim a melhora de determinadas propriedades do material.

No médio prazo, só foram encontradas aplicações em macroméculas, com destaque para aquelas devido as propriedades aglutinante e adesiva conferida pela lignina. Cabe destacar o seu uso em resinas de fenol-formaldeído, também identificado no *roadmap* dos EUA, na qual a lignina é usada para substituir parcialmente o fenol em uma resina de fenol-formaldeído, uma promissora alternativa natural aos produtos petroquímicos devido á sua semelhança estrutural.

Outros aplicações relevantes ao Brasil referem-se ao seu uso para produzir ácido acético, um produto importado pelo país, e na produção de enzimas que podem ser utilizadas como uma promissora alternativa biotecnológica para a remoção de compostos tóxicos do ambiente.

No longo prazo, verifica-se que as pesquisas estão indicando que todas as categorias de aplicações de lignina estão sendo objeto de estudo no Brasil. Com relação ao uso da lignina para aplicações referentes a energia-combustíveis verdes-gás de síntese, é possível observar que o tema ainda desperta interesse nacional sob novas formas de aproveitamento energético da lignina no que se relaciona a geração de energia elétrica, produção de briquete e bioenergia.

Assim como observado no curto prazo, há uma grande variedade de usos da lignina alocados na categoria de macromoléculas. Cabe destacar ainda o interesse observado com relação ao uso da lignina em resinas de fenol formaldeído e resinas fenólicas, indicando que esta aplicação é foco de interesse no Brasil.

Por fim, com relação a produtos químicos, as linhas de pesquisa mostram uma abordagem generalista sem um detalhamento profundo dos produtos e processo que estão sendo objeto de estudo. Os relatos apenas confirmam que há o interesse em produzir produtos químicos de maior valor agregado a partir da biomassa oriunda da industria sucroalcooleira e de papel e celulose no Brasil.

O presente Capítulo ainda identificou os *players* brasileiros que abordam em seus estudos/pesquisas/produção os usos da lignina identificados na prospecção tecnológica realizada. Esta informação é valiosa e servirá como subsídio para a sugestão de agenda relacionada a estudos da lignina que será abordada no Capítulo 10, uma vez que possibilita a construção de uma futura rede de cooperação nacional sobre o tema.

Cabe destacar que a adaptação da metodologia para elaboração do *roadmap* do Brasil trouxe alguns benefícios quanto comparado ao dos EUA porque permitiu: (i) a identificação dos atores e (ii) informações não somente sobre “usos da lignina e seus derivados”, mas também sobre “remoção da lignina” e “alteração na genética da planta”.

Por fim, a Figura 9.7 mostra a árvore das aplicações estratégicas da lignina identificadas na prospecção tecnológica efetuada para o Brasil. Os produtos são classificados em três categorias principais:

(i) Blocos de construção – são moléculas com grupos funcionais que podem ser transformados em outros grupos moleculares;

(ii) Intermediários secundários – são produtos fabricados através de síntese química ou processos biotecnológicos a partir da biomassa lignocelulósica; e

(iii) Intermediários de uso – obtidos a partir dos intermediários secundários sendo utilizados na produção de produtos destinados ao mercado consumidor.

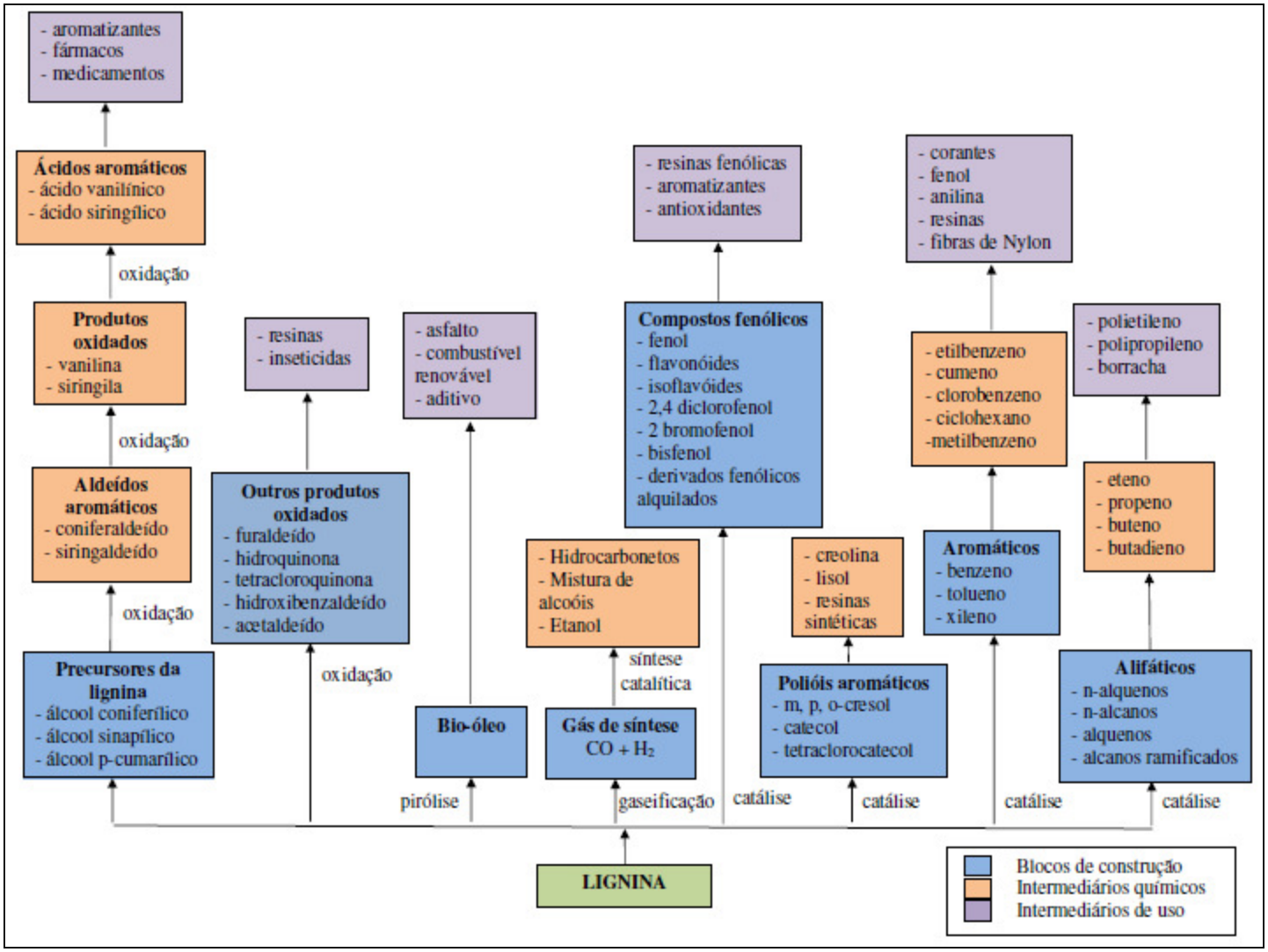


Figura 9.7 – Árvore das aplicações estratégicas da lignina

Fonte: Elaboração própria

10 DIRETRIZES PARA UMA AGENDA NACIONAL DE C,T&I PARA A LIGNINA

O objetivo deste capítulo é apresentar diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para os usos da lignina com base em toda as informações coletadas ao longo da presente tese.

10.1 PROPOSTA DE AGENDA NACIONAL

Segundo Bresser Pereira (2004) a discussão dos grandes problemas nacionais deve começar pela definição da chamada agenda nacional tendo em vista que nem sempre as sociedades são capazes de resolver os problemas que enfrentam, mas para que possam fazê-lo, devem primeiro ter claro para si mesmas quais são os desafios que delas requerem prioridade.

A agenda deve ser pró-ativa, ou seja, as diretrizes ou ações nela contidas devem atecipar os questionamentos dos vários segmentos brasileiros envolvidos, pois é preciso que o conhecimento seja produzido para que os desafios indentificados sejam plenamente resolvidos e não apenas tenham seus efeitos minimizados.

No contexto do presente estudo, a discussão não será sobre os problemas a serem enfrentados mas sim sobre a oportunidade brasileira de utilizar uma fonte de materia-prima renovável e abundante como a lignina, sugerindo ações que devem ser tomadas para se atingir objetivo identificado e de modo a preparar o país para que dispute uma posição de destaque no mercado da biomassa, em especial da fração lignina.

A proposta de uma agenda nacional de C,T&I para o mercado da lignina não pode ser construída sem se considerar que esta matéria-prima renovável faz parte de um conceito maior de biomassa no Brasil. Assim, as diretrizes para a construção de uma agenda nacional para usos da lignina deverão abordar também aspectos relacionados a utilização de materiais lignocelulósicos (hemicelulose, celulose e lignina) e a biomassa em geral, bem como aspectos não abordados neste estudo como infromações sobre logística, custos e estudos de natureza técnico-econômico-social.

10.1.1 **Diretrizes para uma Agenda Nacional para usos da lignina**

A Agenda Nacional para usos da lignina no Brasil aborda os seguintes tópicos:

Objetivo macro: possibilitar que o Brasil aproveite integral da biomassa dentro do conceito de biorrefinaria para produção de combustíveis, produtos químicos e energia.

Objetivo específico: propor diretrizes/ações que estimulem os usos da lignina, na sua forma isolada ou não, orientando esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação de novos produtos e tecnologias associadas a novas aplicações da lignina.

Contextualização: grande disponilidade deste tipo de matéria-prima, na ordem 94 milhões de toneladas de lignina, oriunda principalmente da indústria de celulose e sucroalcooleira.

Fatores críticos: as diretrizes foram classificadas em cinco categorias principais, chamadas neste estudo de fatores críticos, definidos como aqueles críticos para o sucesso no processo de concretização do *roadmap* de biorrefinaria de produtos na lignina no Brasil. As categorias são descritas a seguir:

(i) Recursos Humanos (Diretrizes de 1 a 8): o aproveitamento integral da biomassa é intensiva em tecnologia e requer a incorporação de tecnologias mais avançadas o que exige uma qualificação diferenciada dos profissionais que atuam no setor, em especial em áreas ligadas a biotecnologia e bioconversão.

(ii) Articulação entre atores (Diretrizes de 9 a 17): o foco está na necessidade de uma maior interação entre empresas, universidades e instituições de diversas natureza de modo que a P&D das novas tecnologias estejam alinhadas aos interesses do setor industrial, concentrando esforços em áreas realmente prioritárias.

(iii) Políticas públicas (Diretrizes de 18 a 31): o foco está nos compromissos adotados no Brasil relacionados a questões ambientais, em especial aquelas ligadas as fontes renováveis de energia de modo a diminuir a dependência econômica do petróleo bem como reverter o déficit da balança comercial referente a Indústria Química.

(iv) P&D, Tecnologia & Inovação (Diretrizes de 32 a 38): o foco está no desenvolvimento de questões ligadas ao desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e processos que utilizam a biomassa como matéria-prima. O aproveitamento integral da biomassa associada a biorrefinaria são conceitos novos que necessitam de

grandes inventismentos em P,D&I, uma vez que se configura em um setor altamente inovador e com uma grande quantidade de barreiras tecnológicas a serem vencidas.

(v) Infra-estrutura (Diretrizes de 39 a 49): o foco está na resolução de questões ligadas a infra-estrutura, incluindo os desafios do transporte da biomassa para as biorrefinarias e no transporte dos produtos químicos, biocombustíveis e energia a partir das biorrefinarias para os distribuidores e indústria de processamento.

O Quadro 10.1 consolida a proposta de diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para lignina. As diretrizes apontadas podem ser interpretadas com o Plano de Ação apontado na Figura 4.4 (ALBRIGHT, 2007).

	Fatores críticos	Diretrizes para Agenda Nacional de C,T& I
Biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil Horizonte 2010-2030	Recursos Humanos	(D1) Formar recursos humanos, em nível técnico, graduação e pós-graduação que atuam em disciplinas relacionadas com aproveitamento integral de biomassa lignocelulósica. (D2) Criar disciplinas para trabalhar o conceito de biorrefinaria nas universidades. (D3) Criar linhas de pesquisa para utilização de resíduos lignocelulósicos provenientes da indústria sucroalcooleira e de papel de celulose no Brasil. (D4) Aumentar o quadro efetivo de pesquisadores no Brasil que atuam nos tópicos relacionados a aproveitamento integral da biomassa. (D5) Realizar pesquisa básica e aplicada sobre obtenção de novos produtos químicos de alto valor agregado oriundos da lignina. (D6) Promover e estimular a realização de pesquisa básica e aplicada sobre novas formas mais eficazes de remover a lignina das frações lignocelulósicas e alterações genéticas na planta de modo a reduzir o teor da lignina. (D7) Criar linhas de pesquisas para avaliar e caracterizar a composição das diversas fontes de biomassa no Brasil. (D8) Desenvolver pesquisas aplicadas relacionadas ao tema de biorrefinaria, em especial aquelas relativas aos materiais lignocelulósicos.
	Articulação entre atores	(D9) Realizar encontros, foruns e grupos de debates entre os pesquisadores e representantes de empresas nacionais que desenvolvam pesquisas sobre o tema. (D10) Validar entre os especialistas nacionais o *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil. (D11) Propor a elaboração de um roadmap de biorrefinaria de produtos da lignina em nível mundial. (D12) Formar arranjos cooperativos e parcerias em pesquisa no Brasil e com outras instituições/empresas/universidades internacionais, estimulando a cooperação nas áreas de P,D&I e industrial. (D13) Formar parcerias com pesquisadores que desenvolvem pesquisas sobre as outras frações lignocelulósicas (hemicelulose e celulose). (D14) Desenvolver uma agenda de cooperação internacional em pesquisas na área de bionergia, em especial para usos da lignina e seus derivados, com países estratégicos. (D15) Criar redes de serviços relacionadas a biorrefinaria no Brasil. (D16) Fortalecer redes de informação para identificar oportunidades de uso da lignina no mercado nacional e exterior. (D17) Articular projetos integrados da academia com a indústria em nível nacional e internacional.

	Fatores críticos	Diretrizes para Agenda Nacional de C,T& I
Biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil Horizonte 2010-2030	Políticas Públicas	(D18) Estabelecer redes cooperativas envolvendo representantes da Indústria Química, setores agroindustriais geradores de biomassa lignocelulósica, órgãos financiadores, empresas, universidades e centros de pesquisa. (D19) Criar empresas de base tecnológica para fornecimento de bens e serviços ao setor agroindustrial, bem como criar Parques Tecnológicos voltados a pesquisas sobre bioenergia por meio de convênios e parcerias com instituições identificadas nas linhas de pesquisa como BNDES, FINEP, FAPERJ, FAPESP. (D20) Formar parcerias público-privada para estimular o processo de inovação e desenvolvimento das aplicações da lignina e seus derivados no mercado nacional. (D21) Construir e integrar agendas de P,D&I no Brasil em temas relacionados à fronteira do conhecimento na área de bioenergia e biomassa envolvendo toda a cadeia de conhecimento associada ao tema. (D22) Incentivar a implantação de empreendimentos que otimizem o aproveitamento energético de produtos oriundos do processamento de diversos tipos de biomassa. (D23) Aumentar o aporte de recursos financeiros em pesquisas estratégicas e incentivos para impulsionar a a integração das pesquisas em diversas áreas do conhecimento. (D24) Estimular programas de apoio à P,D&I dedicados ao desenvolvimento setorial de bionergia. (D25) Articular a agenda nacional para usos da lignina e seus derivados com a política energética nacional e relacioná-la com as mudanças climáticas de modo a estimular a inovação tecnológica no setor de biomassa lignocelulósica. (D26) Adotar mecanismos mais eficazes de proteção intelectual com ampliação da divulgação de formas de proteção de invenções realizadas nas universidades brasileiras. (D27) Desenvolver uma política de incentivo a Patentes e Propriedade Industrial no setor de biomassa lignocelulósicas em colaboração com o INPI para proteger as invenções sobre o tema. (D28) Consolidar os novos modelos industriais associados as biorrefinarias lignocelulósicas que permitam a geração de energia, biocombustíveis e insumos à indústria petroquímica. (D29) Criar incentivos fiscais para incentivar a produção e o consumo de produtos oriundos da biomassa. (D30) Estimular programas que exigem a aquisição de produtos oriundos da biomassa por parte de órgãos e agências federais. (D31) Desenvolver normas e atividades de certificação para a indústria da biomassa de modo a garantir que os produtos, combustíveis e energia provenientes obtidos a partir do seu processamento atendam a padrões de desempenho.

	Fatores críticos	Diretrizes para Agenda Nacional de C,T& I
Biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil Horizonte 2010-2030	P&D, Tecnologia & Inovação	(D32) Realizar estudos prospectivos entre outras bases nacionais e mundiais de modo a identificar o que está sendo estudado sobre a lignina. (D33) Direcionar as pesquisas para áreas estratégicas de modo a concentrar esforços em áreas com gargalos tecnológicos. (D34) Fomentar estudos em novas tecnologias que permitam ampliar o espectro de matérias-primas como celulose e hemicelulose. (D35) Instituir a dinâmica de prospecção e monitoramento de tendências e demandas do mercado mundial e nacional. (D36) Criar um banco de dados sobre possibilidades de aproveitamento de biomassa lignocelulósica. (D37) Pesquisar e aplicar tecnologias que permitam atender às exigências do mercado interno e externo. (D38) Realizar pesquisas para desenvolvimento comercial de substitutos viáveis para produtos petroquímicos.
	Infra-estrutura	(D39) Promover estudos logísticos envolvendo o aproveitamento da lignina oriunda da biomassa residual. (D40) Realizar estudos de viabilidade técnica-econômica-social-ambiental para caracterizar os impactos e/ou direcionar novas formas de aproveitamento das frações lignocelulósicas. (D41) Integrar os processos industriais presentes nas biorrefinarias lignocelulósicas. (D42) Promover estudos logísticos visando a redução de custos de transporte da plantação até a biorrefinaria. (D43) Promover estudos logísticos de modo a diminuir o custo da biomassa. (D44) Promover estudos logísticos de forma a reduzir os custos de processamento da matéria-prima lignocelulósica. (D45) Desenvolver e implantar as tecnologias de produção do etanol de 2ª geração, possibilitando assim aumentar a produção de etanol e de outros biocombustíveis e produtos, sem necessidade de ampliar a area de cultivo. (D46) Desenvolver uma infra-estrutura de recolhimento de biomassa adequada para suportar uma variedade mais ampla e maior quantidade de matérias-primas de origem lignocelulósica. (D47) Desenvolver, testar e demostrar tecnologias novas e avançadas de conversão e instalações em uma escala de produção, a fim de provar a viabilidade comercial. (D48) Desenvolver novas formas de armazenamento de material colhidos em áreas rurais. (D49) Realizar um amplo estudo de transporte multimodal para analisar as opções de transporte para matérias-primas de biomassa e produtos obtidos do seu processamento.

Quadro 10.1 - Apresentação da proposta de diretrizes para a construção de uma Agenda Nacional de C,T&I para lignina

Fonte: Elaboração própria

10.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diretrizes propostas foram elencadas com o intuito de alcançar o cenário desejável de um modelo agroindustrial sustentável para o aproveitamento da lignina e seus derivados no Brasil. Para que este modelo se consolide é necessário mais do que estímulos e incentivos de mercado. É preciso uma participação mais incisiva do Estado Brasileiro, propiciando um maior volume de recursos e coordenando iniciativas de maior porte capazes de introduzir rupturas na atual trajetória tecnológica do sistema produtivo agroindustrial.

Com base na pesquisa bibliográfica e documental realizada, subsidiada em especial pelos *roadmaps* construídos para biorrefinarias de produtos da lignina nos EUA e nos Brasil, foram identificados cinco fatores críticos para a consolidação das referidas biorrefinarias no Brasil: (i) Recursos Humanos, (ii) Articulação entre atores, (iii) Políticas Públicas, (iv) P&D, Tecnologia e Inovação, e (v) Infra-estrutura.

Para que o Brasil possa manter a liderança adquirida na área de bioenergia, deverá converter a sua atual vantagem produtiva, em especial na indústria sucroalcooleira, em uma efetiva liderança científica e tecnológica. Assim, faz-se necessário que: (i) os pesquisadores nacionais aumentem suas publicações em temas relacionados com a pesquisa básica e aplicada referente a biomassa; e (ii) as empresas liderem o setor em termos de patentes, de modo a deixar claro à comunidade internacional que o país desempenha um importante papel na evolução científica e tecnológica do setor. Isto ocorre como consequência a incentivos governamentais e privados à pesquisa básica e aplicada e à geração de novas tecnologias patenteáveis e inovações tecnológicas.

Para realizar um salto qualitativo e quantitativo como visto na prospecção de informações tecnológicas efetuada nesta tese, as instituições e agências de fomento, no nível estadual e nacional, devem mobilizar recursos para inovação. Para que tal salto seja alcançado é preciso uma política nacional articulada e coordenada de inovação sobre o tema.

As políticas públicas, em associação com os diversos atores relevantes do setor, como aqueles identificados na Figura 9.6, devem atuar em conjunto de modo a imprimir

maior densidade científica e tecnológica aos sistema de inovação brasileiro da agroindústria.

A infra-estrutura, ainda que não seja tópico do presente estudo, desempenha um papel fundamental para que as biorrefinarias no Brasil e no mundo se tornem economicamente atraentes e com potencial real para substituir as refinarias de petróleo. No entanto, para que isto ocorra, é preciso vencer alguns desafios de natureza técnico-econômica de modo que sejam contornados problemas associados principalmente ao custos da matéria-prima lignocelulósica, estocagem e processamento.

Por fim, cabe destacar que as diretrizes propostas nesta tese não tem como objetivo esgotar a discussão sobre as mesmas, mas ampliar o debate e subsidiar os tomadores de decisão nacionais na construção de um cenário de desenvolvimento do setor de modo a consolidar a posição brasileira no aproveitamento integral da biomassa, em especial a fração da lignina.

11 CONCLUSÕES

O objetivo deste capítulo é promover reflexões sobre o processo de *technology roadmapping* aplicado, os *roadmaps* construídos, em especial o referente ao da biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil e as diretrizes para construção de uma Agenda Nacional de C,T&I, procurando apontar as principais contribuições obtidas a partir do estudo realizado. Encontra-se dividido em quatro partes principais: conclusões sobre o método, limitações da pesquisa, sugestões para trabalhos futuros e considerações finais.

11.1 CONCLUSÕES SOBRE O MÉTODO *TECHNOLOGY ROADMAPPING*

O método *technology roadmapping* demonstrou ser um método muito flexível e totalmente aderente a proposta de estudo da tese quanto a elaboração de um *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina.

A disponibilidade e a qualidade das informações obtidas definem os resultados do método. Para o *roadmap* dos EUA foram utilizadas informações consolidadas no documento elaborado pelo USDOE; já para o *roadmap* do Brasil, as informações foram prospectadas em bancos de dados de documentos de patentes, artigos científicos e linhas de pesquisa.

Os principais produtos do presente estudo são: (i) o aprendizado do processo de contrução do *roadmap*, permitindo avaliar e priorizar o conhecimento adquirido, bem como reconhecer as falhas de modo a oferecer oportunidades de melhoria contínua no método; (ii) os *roadmaps* elaborados que oferecem um estudo quanto a provável evolução tecnológica do setor agroindutrial objeto da tese; e (iii) o direcionamento de ações e diretrizes que devem ser tomadas de modo que se atinja os resultados expressos no *roadmap*.

A representação gráfica do *roadmap* escolhida na presente tese se mostrou um mecanismo de comunicação concisa que possibilita uma discussão estruturada e construtiva de processos de prospecção tecnológica. No entanto, para subsidiar sua análise, sugere-se que o *roadmap* deve ser apoiado por um relatório ou documentação

apropriada, que neste estudo é desempenhado pelo item 9.2.2 - Análise do *roadmap* de biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.

A aplicação do método *technology roadmapping* atendeu de modo satisfatório aos objetivos gerais e específicos formulados no primeiro capítulo desta tese. Realizar estudos prospectivos não se constitui em um exercício de predição, mas sim um esforço no sentido de obter descrições consistentes de situações futuras possíveis, revelando informações relevantes do caminho entre a situação atual e a futura, auxiliando nas decisões a serem tomadas.

Neste sentido, o *roadmap* revelou-se como um valioso instrumento de prospecção tecnológica e de apoio à decisão de planejamento do setor, mantendo-se dentro dos limites do conhecimento científico e propondo o panorama viável no horizonte de tempo considerado.

A tese relata uma metodologia original de aplicação do *technology roadmap* em relação às referências encontradas na literatura, adaptada das fases e etapas descritas por Garcia & Bray (1997) para o objeto de estudo deste trabalho.

Cabe ressaltar que nas buscas efetuadas não foi encontrada publicação de *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina, nem publicação relatando a metodologia de *roadmapping* tal como formulada neste trabalho. Assim, na presente tese procurou-se superar estas carências criando ou adaptando as etapas de construção do *roadmap* de forma adequada ao objeto de estudo, e, além disso, procurou-se descrever a metodologia de forma didática.

Outra contribuição do *roadmap* gerado neste estudo servir de auxílio as organizações ou governos na tomada de decisão no que diz respeito a consolidação das chamadas biorrefinarias de produtos obtidos a partir da lignina por meio da identificação das diretrizes a serem tomadas com vistas ao alcance do cenário tecnológico futuro.

A construção de *technology roadmaps* tem sido usada para orientar a reflexão e a elaboração de estratégias em novas tecnologias em determinados setores industriais. Ao conectar as camadas de mercado, produtos e tecnologias em relação ao tempo, essa ferramenta de prospecção tecnológica propicia um modo de identificar, avaliar e selecionar alternativas tecnológicas que podem ser utilizadas para responder aos

problemas do presente e futuro, bem como identificar novas oportunidades de negócio (no caso deste estudo, novas aplicações da lignina obtida da biomassa lignocelulósica).

O *roadmap* gerado pretende ser um documento de partida elaborado de forma estruturada que fomente a discussão sobre a posição que a indústria brasileira de lignina pretende ocupar na indústria brasileira de matérias-primas renováveis. Para que atenda a este propósito o documento, juntamente com a proposta de diretrizes para construção de uma Agenda de C,T&I deve ser submetido e validado pelos diversos grupos de interesse envolvidos no futuro da tecnologia e inovação do tema no Brasil.

11.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A metodologia empregada na presente tese apresenta algumas limitações apesar de todo cuidado durante a sua elaboração.

Os resultados alcançados são válidos para o momento e o horizonte de pesquisa estudados. A mesma pesquisa, realizada em outro momento ou abrangendo outro horizonte temporal, talvez possa chegar a resultados diferentes. O *roadmap* deve ser encarado como um documento “vivo”, que requer constantes atualizações, considerando que as camadas de mercado e tecnologia estão em constante evolução.

Assim, como ressaltado acima, torna-se imperativo divulgar o *roadmap* e promover discussões para que o próprio documento possa ao mesmo tempo acompanhar a dinâmica da indústria e envolver os diversos grupos de interesse.

Outra limitação da pesquisa refere-se ao fato de terem sido utilizados apenas três tipos de de informações tecnológicas: documentos de patentes, artigos científicos e projetos de pesquisa. Foram consultados cinco bancos de dados distintos: dois relativos a documentos de patentes, dois relacionados a artigos científicos e outro sobre linhas de pesquisa.

Na construção do *roadmap* observa-se a dificuldade de se obter as visões de médio e longo prazo; para contornar este problema, definiu-se os artigos científicos e as linhas de pesquisa como informações tecnológicas de médio e longo prazo. As informações oriundas dos documentos de patentes foram classificadas de curto prazo.

Além disso, a estatística quando baseada em documentos de patente como fonte de informação tecnológica possui algumas limitações: (i) nem toda inovação é patenteável em virtude das exigências legais mínimas e (ii) nem todas as inovações patenteadas possuem necessariamente o mesmo valor econômico, uma vez que as inovações radicais e pequenos melhoramentos se tornam equivalentes para efeitos de estatísticas patentárias. Ainda cabe destacar que há invenções que se encontram sob segredo industrial, não entrando neste levantamento.

11.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma primeira sugestão é que seja feita uma validação do *roadmap* elaborado por parte de atores envolvidos, tais como empresas (Braskem, Klabin, Petrobras), universidades, centros de pesquisas e governo, de modo a eliminar possíveis inconsistências não visualizadas nesta tese. Esta validação pode ser realizada por meio de um encontro ou fórum, utilizando com exemplo a ferramenta de brainstorming.

Adicionalmente, cabe mostrar aos mesmos atores os resultados encontrados nas bases de dados consultadas de modo a encontrar justificativas mais detalhadas para os números encontrados.

Além disso, e como visto anteriormente, o *roadmap* mostra o “retrato” de um momento; assim, para que possa ser um instrumento de monitoramento tecnológico o mesmo precisa sofrer revisões periódicas. Sugere-se assim, que seja realizada uma atualização da base de dados construída para este estudo.

Posteriormente, recomenda-se ainda que seja realizada uma análise da documentação patentária incluindo outras bases de dados além do banco de patentes do INPI e *USPTO*, como por exemplo, o banco de patentes mundial do *European Patent Office* (EPO). Também pode ser efetuada a análise de artigos científicos juntamente com outros tipos de publicação com forte conteúdo científico, como anais de congressos.

Para a determinação de visões de médio e longo prazo podem ser utilizadas outras ferramentas prospectivas tais como Delphi e análise de cenários, bem como

outras fontes de informação, propondo ainda novos arranjos nos estudos prospectivos desta natureza.

Uma outra sugestão refere-se a determinação de horizontes de tempo para a tomada das ações/diretrizes, identificadas na proposta de diretrizes para construção de uma agenda nacional de C,T&I para a lignina no Brasil, de modo a orientar, de maneira mais estruturada, as ações a serem tomadas. Além disso, pode ser realizada ainda a indentificação dos responsáveis por cada uma das diretrizes de forma a distribuir responsabilidades e facilitar o acompanhamento das mesmas.

Por fim, sugere-se que o método *technology roadmapping* proposto neste trabalho seja aplicado em diferentes indústrias, em especial para as outras frações da biomassa lignocelulósica como a celulose e hemicelulose, fazendo-se as devidas adaptações para a sua implementação e sua continuidade. Tais estudos podem fazer uso de importantes sinergias no tocante a ações/diretrizes conjuntas para consolidação do uso da biomassa no Brasil como matéria-prima para a Indústria Química Brasileira.

11.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese teve como principal objetivo realizar uma pesquisa exploratória de modo a identificar a potencialidade de biorrefinarias de produtos da lignina no Brasil por meio do uso da ferramenta do *technology roadmapping*. Como fontes de informações tecnológicas foram utilizados os documentos de patente, artigos científicos e linhas de pesquisa.

Além disso, a partir de toda a pesquisa bibliográfica e documental realizada, foram identificadas as diretrizes para a construção de uma agenda nacional de C,T&I para a lignina.

O potencial do segmento de matéria-prima renovável, em especial o aproveitamento da lignina, para a indústria brasileira depende da adoção de estratégias e políticas articuladas. O *roadmap* para biorrefinaria de produtos da lignina juntamente com a proposta de diretrizes para uma agenda nacional de C,T&I deve ser encarado como uma contribuição ao processo de construção de tais políticas e estratégias fruto da convergência entre todos os atores envolvidos.

Por fim, cabe destacar que a mudança de base de matéria-prima para a Indústria Química, oriunda da substituição de petróleo e carvão por fontes renováveis como a biomassa lignocelulósica, se configura como uma oportundide rara para que países e empresas possam consolidar e/ou conquistar posições de liderança na chamada bioindústria. Neste sentido, esforços em P,D&I são indispensáveis e devem estar alinhados com as estratégias para que se atinjam aos objetivos desejados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Pacto Nacional da Industria Química**. São Paulo, Junho 2010. Disponível em:< www.abiquim.org.br>. Acesso em Abr, 2011.

AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA CANA-DE-AÇÚCAR, 2009. **Embrapa cana-de-açúcar, 2009**. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>. Acesso: Mai. 2009.

AGENDA 2020 TECHNOLOGY ALLIANCE, AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION & DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. **Forest Products Industry Technology Roadmap**, July 2006. Disponível em: <www.agenda2020.org>. Acesso em dez, 2010.

ALBRIGHT, R. E. & KAPPEL, T. A. **Roadmapping in the corporation**. Research Technology Management, v.46 n.2, p.31-40, 2003.

ALICE WEB. Site da Internet. Disponível em: < http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em: Fev 2011.

ANDREASSI, T & SBRAGIA, R. **Relações entre indicadores de P&D e de resultado empresarial.** Revista de Administração, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 72-84, jan/mar 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Disponível em: <http://www.abcp.org.br>. Acesso em: Jan, 2011.

ARRUDA, C.; ROSSI, A.; CALAIS, L; SALUM, F.; NEVES, L.;MEIRELLES, B. De Minas para o Mundo e do Mundo para Minas. Disponível em: <www.fdc.org.br>. Acesso em: Jul, 2010.

AVELLAR, A.P.M. Metodologias de avaliação de políticas tecnológicas: Uma resenha a partir de experiências internacionais. CEPAL: Santiago do Chile, Novembro de 2007.

AVELLAR,B.K.; GLASSER, W.G**. Steam-assisted biomass fractionation. I. Process considerations and economic evaluation.** Biomass and Bioenergy, v. 14, n.3, pages 205-218, March 1998.

BARATELLI JR., F. **Biocombustíveis – Iniciativas e Desenvolvimento Tecnológico na Petrobras**. In: Conferência Nacional de Bioenergia. 27/09/2007.

BARROS, M.M. **O uso do etanol como fonte de energia no século XXI: a importância do Brasil no comércio internacional**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

BASTOS, V.D. **Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.25, p. 5-38, mar. 2007.

BAURHOO, B., RUIZ–FERIA, C.A.; ZHAO, X. 2007. **Purified lignin: Nutritional and health impacts on farm animal–A review**. Animal Feed Science and Technolgy. 144, 2007, p. 175 – 184.

BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE, **Roadmap for Bioenergy and Biobaesd Products in the United States**. October, 2007. Disponível em: < http://biomass.energy.gov >. Acesso em dez, 2010

BIODIESELBR. Site de Internet. Disponivel em: <http://biodieselbr.com.br/>. Acesso em abr, 2011.

BIZZARI, S; JANSHEKAR, H; YOKOSE, K. **Lignosulfonates.** Publicado em Jan 2009 Disponível: <http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/671.5000/>.Acesso em Fev 2011.

BONFÁ, M. R. L.; XAVIER-SANTOS, S. ; CARVALHO, C. C. ; DA SILVA, R. ; GOMES, E. **Produção de Ligninases por Fungos de Degradação Branca em Resíduos Agroindustriais.** Anais do XIV Sinaferm - Simpósio Nacional de Fermentações; 2003, Florianópolis; BRASIL.

BORSCHIVER, S. **Levantamento, classificação e categorização dos indicadores da atividade de PD&E**. Disponível em: <http://www.uff.br/revistamarketing/Ano07vol1.ht>. Acesso em: nov. 2007.

BORSCHIVER, S. **Estudo do Impacto da Indústria Química na Economia na Economia através das Contas Nacionais do IBGE**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro, 2002.

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.

BRACELPA. **Associação Brasileira de Celulose e Papel.** Relatório Disponível em: http://www.bracelpa.org.br/bra/index.html. Acesso em: Mar, 2011.

BRACELPA. **Associação Brasileira de Celulose e Papel.** Site da Internet. : http://www.bracelpa.org.br. Acesso em: Set, 2009.

BRESSER PERREIRA, L.C. **Uma Agenda Nacional**. Conjuntura Econômica, 58 (10), outubro 2004: 30-31. Disponível em: < http://www.bresserpereira.org.br/view.asp?cod=1461>.

Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável/Organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro : BNDES, 2008. 316 p.

CACOAL/RO. **Manual de Artigo Científico** (Graduação e Pós-Graduação). Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal. 2008. Disponível em: http://www.facimed.com.br/academicos/arquivos/manual_artigo_cientifico.doc. Acesso em; abril 2010.

CARAHER, V. **The evolution of the patent information world over the next 10 Years: A Thomson Scientific perspective**. World Patent Information, v. 30, p. 150-152, 2008.

CARDOSO, G.V. **Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus Globulus* com diferentes teores de lignina. Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2002.

CARROTT, P.J.M. & RIBEIRO CARROTT, M.M.L. **Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review**. Bioresource Technology, v. 98, p. 2301-2312, 2007.

CARVALHO, G. & FRONLLIN, E. **Lignina em espumas fenólicas.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, Jan/Mar, 1999.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Química Verde no Brasil 2010-2030**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COMPERE, A.L.; GRIFFITH, W.L.; LEITTEN JR. C.F. **Improving the fundamental properties of lignin-based carbon fiber for transportation applications.** Disponível em: < http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/pres/120145.pdf> . Acesso em: mar 2011.

CORTEZ, L.A.B. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010

COUTINHO, P.L.A; BOMTEMPO, J.V. **Uso de roadmaps tecnológiocos para favorecer o ambiente de inovação: uma proposta em matérias-primas renováveis**. SIMPOI, 2010.

D'ALMEIDA, M.L.O. **Composição química dos materiais lignocelulósicos. Celulose e Papel**. Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica, v. 1, p. 45-105. São Paulo : IPT, 1988.

DERMIBAS, M.F. **Biorefineries for biofuel upgranding: a critical review.** Applied Energy, 86, 2009, p-151-161.

DORRESTIJN, E; LAARHOVEN, L.J.J; ARENDS, I.W.C.E.; MULDER, P. **The occurrence anda reativity of phenoxyl linkages in lignin and low rank coal**. Journal of Analytical and applied Pyrolysis, v. 54, p. 153-192, 2000.

DRUMMOND, P. H. F. **O planejamento tecnológico de uma empresa de base tecnológica de origem acadêmica por intermédio dos métodos *technology roadmapping (TRM), technology stage-gate (TSG)* e processo de desenvolvimento de produtos (PDP) tradicional**. Belo Horizonte, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ECN. **Thermochemical Biorefinery concept.** Presentation at Biorefinica 2006, Osnabrück.

FENGEL, D. & WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FRANCO, T.T. & GARZON, C.S.L. **Novas Possibilidades de Negócios do Setor Sucroalcooleiro: Alcoolquímica e Biorrefinaria .** In: CORTEZ, L.A.B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

FERNANDES, D.M. **Estudo da estabilidade térmica de blendas de poli(álcool vinílico)/lignina modificada**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Química. Maringá, Abril de 2005.

FERNANDO, S. *et al*. **Biorefineries: Current Status, Challenges and a Future Direction**. Energy & Fuels, v. 20, 2006, p. 1727-1737.

FRANCO, T.T.; GARZON, C.S.L. **Novas Possibiliades de Negócios do Setor Sucroalcooleiro**. In: Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade/Luiz Augusto Barbosa Cortez, coordenador. São Paulo: Blucher, 2010.

FINEP – Financiadora de Estudos e projetos. Site de Internet. Disponível em: <www.finep.gov.br>.Acesso em: Dez, 2010.

FREEDOMCAR & FUEL PARTNERSHIP HYDROGEN PRODUCTION TECHNICAL TEAM. **Hydrogen Production Roadmap – Technology Pathways to the future**. January, 2009. Disponível em:< http://biomass.energy.gov>. Acesso em dez, 2010.

FROHARD, J.A.C. **Trajetórias de acumulação de capacidades inovadoras, mecanismos de aprendizagem e fatores organizacionais relativos a atividades em gestão de projetos: estudo de caso comparativo inter-empresarial na indústria de bens de capital e de celulose e papel no Brasil.** Dissertação de Mestrado. Fundação Getúlio Vargas, Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, CFAP – Centro de formação acadêmica e pesquisa. Rio de Janeiro, 2009.

GALLEZOT, P. **Catalytic routes from renewables to fine chemicals**. Catalysis Today, 121, 2007, p. 16-91.

GARCIA, M. L. & BRAY, O. H. **Fundamentals of technology roadmapping.** Sandia National Laboratories. Disponível em: www.sandia.gov/PHMCOE/pdf/Sandia'sFundamentalsofTech.pdf. Acesso em: out. 2010.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2007.

GLASSER, W.G. & SARKANEN, S. **Lignin properties and materials**, ACS Symposium Series 397, American Society, Washignton, D.C. , 1989.

GOSSELINK, R.J.A.; DE JONG, E.; ABÄCHERLI, A. **Co-ordination network for lignin—standardisation, production and applications adapted to market requirements (EUROLIGNIN)**. Industrial Crops and Products 20, 2004, p. 121–129.

GOYAL. G.C.; LORA, J.H.; PYE, E.K. **Autocalized organosolv pulping of hardwoods: effect of pulping conditions on pulps properties and characteristics of soluble and residual lignin**. Tappi Journal, 75 (2), 110-116, 2002.

GROENVELD, P., **Roadmapping integrates business and technology**. **Research** Technology Management. V. 40, n. 5, p.48–55, 1997.

HALLIDAY, J. **Borregaard raises vanillin prices, will work on efficiencies**. FoodNavigator—Financial & Industry, 2008. Disponível: <http://www.foodnavigator.com/Financial-Industry/Borregaard-raises-vanillin-prices-will-work-on-efficiencies>.

HERNANDEZ, J.A. **Lignina organosolv de *Eucalyptus Dunnii Maiden*, alternativa para a sintese de adesivos de poliuretano para madeira**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 2007.

HUA, X; CAPRETTI, G.; FOCHER, B.; MARZETTI, A.; KOKTA, B. V.; KALIAGUINE, S. **Characterization of Aspen Explosion Pulp by CP/MAS 13C NMR**. Applied. Spectroscopy, v.. 47, pages 1693-1695, 1993.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Site de Internet. Disponível em:<www.inpi.gov.br>. Acesso em Mai, 2010

JANNUZZI, A.H.L. et al **Gestão Estratégica de Portifólio de Patentes na Indústria Farmacêutica.** In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR. 09 a 11 de outubro de 2007.

JONG, E. *et al*. **Biorefineries for the Chemical Industry – A Dutch point of view**. In: Proceedings of the 2005 annual meeting of the association for the Advancement of Industrial Crops: International Conference on Industrial Crops and Rural Development, 17-21 September 2005, Murcia, Spain.

KADLA, J. & KUBO, S. **Lignin-based polymer blends: analysis of intermolecular interactions in lignin–synthetic polymer blends.** Composites: Part A 35, 2004, p. 395-400.

KAMM, B.; GRUBER, P.R.; KAMM, M. **Biorefineries – Industrial Processes and Products.** Wiley-VCH, ISBN: 3-527-31027-4, Weinheim, Germany, 2006.

KAMM.B & KAMM, M. **Principles of biorefineries**. Appl. Microbiol Biotechnology. 2004, 64, pages 137-145.

KAPPEL, T. A. **Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future.** The Journal of Product Innovation Management, v.18, p.39-50, 2001.

KIRK-OTHMER. **Encyclopedia of Chemical Technology**. Index to Volumes 1-26, 5th Edition, March 2007. (http://www.scribd.com/doc/30137763/Lignin).

KOUTINAS, A.A. *et al*. **The biochemurgist – Bioconversion of agricultural raw materials for chemical production.** In: Biofpr – Biofuels, Bioproducts & Biorefining. Vol. 1, N 1, September 2007, page 24-38.

LAL, R. **World crop residues production and implications of its use as a biofuel.** Environment International, v. 31, p. 575-584, 2005.

LANGE, J.P. **Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics.** In: Biofpr – Biofuels, Bioproducts & Biorefining. Vol. 1, N 1, September 2007, page 39-48.

LEAL, R.L.V; CORTEZ, L.A.B.; FELIPE, M.G.A.; ROSSELL, C.E.V.; BONOMI, A.;MAGALHÃES, P.S.G. **Contextualização e premissas para o roadmapping tecnológico para o etano**l. In: CORTEZ, L.A.B., Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

LEBO JR., S. E.; GARGULAK, J.E.;MCNALLY, T. J.; **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, 4th Edition, 2001. John Wiley & Sons, Inc.

LEE, S. & PARK, Y. **Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules.** Technological Forecasting & Social Change, v.72, p.567-583, 2005.

LEI 9.279. Regula direitos e obrigações relacionados à propriedade industrial. 14 de maio de 1996.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, R.A.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, A.C.F.; SILVEIRA, C.C. **Green Chemistry – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa**. Química Nova, Vol. 26, No. 1, 123-129, 2003.

LI, Z. *et al*. **Lignosulfonate dispersants for pesticide**. Bioresources, v. 4, p. 589-601, 2009.

LIN, S.Y. & LIN, I.S. **Ullmann's Encyclopedia Industrial Chemistry**, 5th ed., Vol. 15, VCH, Weinheim, Germany, 1990, P. 305.

LINDNER, A.; WEGENER, G. **Characterization of lignin from Organosolv pulping according to the Organocell process. Part 3: Molecular Weight Determination and Investigation of Fractions isolates by GPC.** Journal of Wood Chemistry and Technology, 10, (3), 331-350, 1990.

LOUREIRO, A.M.V. **O emprego do método *technology roadmapping* em adesivos e selantes aplicados à construção civil**. 330 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação na Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MACIAS-CHAPULA, C.A. **O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional.** Ci. Inf., Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, mai/ago, 1998.

MACHADO, A.A.S.C. **Química e Desenvolvimento Sustentável – QV**, QUIVES, QUISUS? BoletimSPQ, 2004, 94, 59. Disponível em: < http://www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ_095_059_09.pdf>. Acesso em mar 2008:

MATTOS NETO, P. **Planejamento de novos produtos por intermédio do MÉTODO TECHNOLOGY ROADMAPPING (TRM) em uma pequena empresa de base**

tecnológica do setor de internet móvel. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

MELO, J.R.; MEDEIROS, J.F.; MARQUES, R.G.; ANDRADE, A.A. **Estudo das características do licor negro**. In 5º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. 19 a 22 de Outubro de 2010.

MIELI, J.C.A. **Sistema de Avaliação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Visçosa. Visçosa, 2007.

MINISTERIO DE DESENVOLVIMENTO, INDUSTRIA E COMERCIO (MDIC). Balança Comercial Brasileira – Dados Consolidados 2010. Disponível em:< http://www.mdic.gov.br>. Acesso em Abr, 2011.

MINISTERIO DO PLANEJAMENTO (MP). Site da Internet. Disponível em:< http://www.planejamento.gov.br>. Acesso em Abr, 2011.

MULLER, G. **Roadmapping**. Embedded Systems Institute, jul. 2005. Disponível em: www.gaudisite.nl. Acesso em: Nov, 2010.

NITPAR – Núcleo de Inovação Tecnológica do Paraná. **Brasil teve um aumento de 15%no número de depósitos de patentes, segundo dados divulgados pela OMPI**. Disponível em: http://nitpar.pr.gov.br/es/blog/nit/2008/03/03/brasil-teve-um-aumento-de-15-no-numero-de-depositos-de-patentes-segundo-dados-divulgados-pela-ompi/. Acesso em: jul. 2008.

ONDREY, G. **The path to biorefineries**. Chemical Engineering, v. 113 (4), 2006.

NOGUEIRA, L.A.H., WALTER, A.C.S. **Experiências de Geração de Energia Elétrica a Partir de Biomassa no Brasil: aspectos técnicos e econômicos.** Informe de la Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa, FAO/FOWP, Montevideo, 1995.

PADILLA, V.; RANGEL, M.G.; BULLON, J.; RODRIGUEZ-MALAVER, A.; GONZALES, A.M.; ROJAS, O.J. **Surface activity of lignin fractions obtained by membrane-separation technologies of industrial black liquors.** In CIADICYP – Congresso Iberoamericano de Investigacion en Celulose y Papel, 2002.

PAN, X.; PLA, F.; LANCHENAL, D.; LAPIERRE, C.; MONTIER, B. **Structure and reactivity of spruce mechanical pulp lignins. Part II. Organosolv fractionation of lignin in a flow-through reactor.** Journal of Wood Chemistry and Technology, 12 (3), 279-298, 1992.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2005.

PEREIRA, R.E. **Avaliação do potencial nacional de geração de resíduos agrícolas para produção de etanol.** 116 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA JR., N.; COUTO, M.A.P.G.; SANTA ANNA, L.M.M. **Biomass of lignocellulosic composition for fuel ethanol production within the context of biorefinery**. Series on Biotechnology, v.2, 1a edition, 2008A.

PEREIRA JR., N. **Biotecnologia de Lignocelulósicos para a produção de etanol e o contexto de biorrefinaria.** In: Seminário Fluminense de Biocombustíveis e Biomassas. UFF, Niterói, 17/04/2008B.

PEREIRA JR., N. **Biomassas residuais de composição lignocelulósica para a produção de etanol e o contexto de biorrefinaria.** UFRJ, Rio de Janeiro, 03/07/2007.

PEREIRA JR., N. **Biotecnologia de materiais lignocelulósicos para a produção química**. EQ/UFRJ, Prêmio Abiquim de Tecnologia 2006.

PEREZ, J.M.M.; ROCHA, J.D.; CORTEZ, L.A.B.; JORDAN, R.A. **A Pirólise rápida como precursora de BTL.** In: CORTEZ, L.A.B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

PERLACK, R.D.; WRIGHT, L.L.; TURHOLLOW, A.F.; STOKES, B.J.; ERBACH, D.C. **Biomass as feedstock for bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply**. Abril, 2005. Disponível:<http://www.osti.gov/bridge>. Acesso em Fev 2011.

PETRICK, I. J. & ECHOLS, A. E. **Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions.** Technological Forecasting & Social Change, v.71, p.81-100, 2004.

PETROBRAS. **Petróleo Brasileiro S.A.** Disponível em: < http://www.petrobras.com.br/pt/>. Acesso em Fev, 2011.

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 em: Jul. 2011.

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 em: Jul, 2011.

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.

POLOWSKI, N.V. **Modelagem e otimização de digestores kraft descontínuos utilizando redes neurais e modelo híbrido-integração de processos em tempo**

real. Tese de Doutorado. UNICAMP, Faculdade de Engenharia Química, Área de Concentração Desenvolvimento de processos Químicos. Campinas, 2009.

PORTAL DO EXPORTADOR. Site da Internet. Disponível em: <www.portaldoexportador.gov.br>. Acesso em: Fev 2011.

PORTAL INOVAÇÃO. Site da Internet. Disponível em: <http://www.portalinovacao.mct.gov.br >. Acesso em: Mai, 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA PRÓ-INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **O desafio de desenvolver indicadores**. Pró-inovação em Revista. Ano I, Nº 3 – setembro/outubro 2010.

PURE LIGNIN. Site de internet. Disponível em: <http://purelignin.com/lignin>. Acesso em Janeiro, 2011.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. **Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos**. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RAGAUSKAS, A.J *et al*. **The path forward for biofuels and biomaterials**. Science, v. 311, jan, 2006.

RAMOS, L. P. **Aproveitamento integral de resíduos agrícolas e agro-industriais**. In: Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: Cetesb, 2000. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas_arquivos/res/artigo_pretratamento.pdf>. Acessado em Fevereiro 2011.

REE, R.V. & ANNEVELINK, B. **Status Report Biorefinery 2007**. Wageningen: Agrotechnology and Food Sciences Group, 2007.

SANTOS, M.F.R.F. **Mapeamento de informações tecnológicas sobre o biodiesel: uma visão dos esforços de P&D no mundo e no Brasil**. Dissertação (Mestrado). 155

f. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2008.

SCIENCE DIRECT. Site da internet. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: Jun, 2010.

RICHEY, J.M. & GRINNELL, M. **Evolution of roadmapping at Motorola**. Research Technology Management, v. 47, n. 2, p. 37-41, 2004.

SAENZ, T.W & PAULA, M.C.S. **Considerações sobre indicadores de inovação para América Latina**. Interciência, vol. 27, n. 008, agosto 2002.

SATOLO, L.F. & BACCHI, M.R.P. **Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar.** Economia Aplicada Volume 13, n. 3. Ribeirão Preto, Julho/Setembro 2009.

SCHALLER, R. **Technological Innovation in The Semiconductor Industry: A Case Study Of The International Technology Roadmap For Semiconductors (ITRS)**. Tese de Doutorado. Universidade George Mason, EUA, 2004.

SCHLITTLER, L.A.F.S. **Engenharia de um Bioprocesso para Produção de Etanol de Bagaço de Cana-de-Açúcar**. 174 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SCHUCHARDT, U.; RIBEIRO, M.L. **A indústria petroquímica no próximo século: como substituir o petróleo como matéria-prima?** Química Nova, v. 24, n. 2, p. 247-251, 2001.

SEABRA, J.E.A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil.** 2008. 274 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos)—Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, São Paulo, 2008.

SENAI/PRa. Departamento Regional do Paraná. **Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense : Roadmapping de Meio Ambiente – horizonte de 2018.** / SENAI. Departamento Regional do Paraná. – Curitiba : SENAI/PR, 2008.

SENAI/PRb. Departamento Regional do Paraná. **Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense : Roadmapping de Papel e Celulose – horizonte de 2018.** / SENAI. Departamento Regional do Paraná. – Curitiba : SENAI/PR, 2008.

SENAI/PRa. Departamento Regional do Paraná. **Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense : roadmapping da biotecnologia aplicada às indústrias agrícolas e florestal – 2015.** / SENAI. Departamento Regional do Paraná. – Curitiba : SENAI/PR, 2007.

SENAI/PRb. Departamento Regional do Paraná. **Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense : roadmapping de energia – 2015.** / SENAI. Departamento Regional do Paraná. – Curitiba : SENAI/PR, 2007.

SENA-MARTINS, G; ALMEIDA -VARA, E.; DUARTE, J.C. **Eco-friendly new products from enzymatically modified industrial lignins.** Industrial crops and products 27, 2008, p. 189-195.

SHEVCHENKO, S.N.; BEATSON, R.P.; SADDLER, J.N. **The nature of lignin from steam explosion/enzymatic hydrolysis of softwood Structural features and possible uses scientific note.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 79, n. 1-3, pages 77-79, 1999.

SHIMIZU K.; SUDO K.; ONO H.; ISHIHARA M.; FUJII T.; HISHIYAMA S. **Integrated process for total utilization of wood components by steam-explosion pretreatment.** Biomass and Bioenergy, v. 14, n. 3, pp. 195-203, March 1998.

SHLESER, R. **Ethanol production in Hawaii**. State of Hawaii, Department of Business, Economic Development and Tourism. 1994.

SILVA, N.L.C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro, Maio, 2010.

SILVA, E.A.B; ZABKOVA, M.; ARAUJO, J.D.; CATETO, C.A.; BARREIRO, M.F.; BELGAREM, M.N.; RODRIGUES, A.E. **An integrated process to produce vanillin and lignin-based polyurethanes from Kraft lignin.** Chemical Engineering Research and Design 87, 2009, p. 1276-1292.

SILVA, C.R.A.; GARRAFA, M.T.F.; NAVARENHO, P.L.; GADO, R; YOSHIMA, S. **A biomassa como alternativa energética para o Brasil.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais – número 2, Dezembro de 2005.

SILVA, E.L. & MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3ª edição. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SOLOMON, B.D. et al. **Grain and cellulosic ethanol: History, economics and energy policy**. Biomass & Bioenergy, 31, 2007, p. 416-425.

STEWART, D. **Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics**. Industrial crops and products 27, 2008, p. 202-207.

SUN, Y. & CHENG, J. **Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review**. Bioresource Technology, 83, p. 1-11, 2002.

SZCZODRAK, J. & FIEDUREK, J. **Technology for conversion of lignocellulosic biomass to ethanol.** Biomass Bioenergy 10**,** pp. 367–375, 1996.

TEJADO, A.; PENA, C.; LABIDI, J; ECHEVERRIA, J.M.; MONDRAGON, I. **Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol–formaldehyde resin synthesis**. Bioresource Technology 98, 2007, p.1655-1663.

TRIUMPH VENTURE CAPITAL LTD. **Part 2—Aroma chemicals derived from effluent from the paper and pulp industry**, in: Study into the establishment of an aroma and fragrance fine chemicals value chain in South Africa (Final Report), FRIDGE, NEDLAC, South Africa, 2004. Disponível em :<http://www.nedlac.org.za>.

UNICAMP. Universidade de Campinas. Disponível: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2006/ju340pag5b.html>. Acesso em 21 jan 2010.

U.S. DOE 2010. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, **Biomass Program**. Disponível em: <http://biomass.energy.gov>. Acesso em fevereiro 2011.

U.S. DOE. **National Algal Biofuels Technology Roadmap**. May, 2010. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program. Disponível em: <http://biomass.energy.gov>. Acesso em fevereiro 2011.

USHIMA, A.H. **Tecnologias BTL**. In: CORTEZ, L.A.B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

VERDIER, A. & LEMBO, C. **A nova *Farm Bill* e suas implicações para o cenário comercial multilateral**. Pontes, volume 4, número 3, ago-dez 2008. Disponível em: <http://ictsd.org/i/news/pontes/17353/>. Acesso em Ago, 2010.

VIANNA JR, A.L.; VIEIRA, L.S.R. **Aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais em sistemas termelétricos e de cogeração**. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, dez. 2002. Disponível em: http://www.cepel.br. Acesso em: 14 jan. 2011.

WEB OF SCIENCE. Site da Internet. Disponível em: <www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso: Jun, 2010.

WILLYARD, C. H. & MCCLESS, C. W. Motorola´s technology roadmapping Process. **Research Management**, set-oct, 1987, p.13-19.