

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

DOUTORADO EM ADMINISTRAÇÃO

O SETOR SUCROENERGÉTICO E SUA DINÂMICA DE INOVAÇÃO

LUCIANO CUNHA DE SOUSA

Brasília, DF

2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

DOUTORADO EM ADMINISTRAÇÃO

O SETOR SUCROENERGÉTICO E SUA DINÂMICA DE INOVAÇÃO

LUCIANO CUNHA DE SOUSA

**Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Administração, como
requisito parcial à obtenção do grau de
Doutor em Administração.**

Orientador: Prof. Luiz Guilherme Oliveira, Ph.D.

Brasília, DF

2015

O SETOR SUCROENERGÉTICO E SUA DINÂMICA DE INOVAÇÃO

Tese defendida no dia 24/02/2015 diante da banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Luiz Guilherme Oliveira – Presidente
Programa de Pós-Graduação em Administração
Universidade de Brasília – UnB

Prof. Dr. Paulo Du Pin Calmon – Membro Interno PPGA
Programa de Pós-Graduação em Administração
Universidade de Brasília – UnB

Prof. Dr. Bernardo Pinheiro Machado Mueller – Membro Externo PPGA
Universidade de Brasília – UnB

Prof. Dr. André Tosi Furtado – Membro Externo UnB

Prof. Dr. Antônio M^a Francisco Luiz Jose Bonomi – Membro Externo UnB

Prof^a. Dr^a. Doriana Daroit – Suplente
Universidade de Brasília – UnB

Brasília

2015

DEDICATÓRIA

À minha esposa amada,

Sua crença no meu potencial me faz acreditar que posso.

Seu apoio incondicional me permitiu ousar.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e amigos que reclamaram da minha ausência, demonstrando seu amor, mas que compreenderam que a finalidade era nobre.

Ao meu pai, que durante a realização do doutorado sanduíche no exterior assumiu a gerência da construção de nossa casa e sempre me apoiou incondicionalmente.

A todos que disponibilizaram seu tempo para entrevistas, conversas e retirada de dúvidas. Cada um de vocês tem um pedacinho de seu conhecimento colocado aqui.

À equipe de biocombustíveis do BNDES, que me auxiliou com dados, entrevistas e colaboração em diversos momentos.

Aos meus atuais chefes no MDIC, que me permitiram fazer o doutorado sanduíche, que tanto agregou ao trabalho.

Ao Dr. Luiz Guilherme, que me acompanhou nesta jornada.

À equipe do Center for International Science and Technology Policy da George Washington University, que me deu todo apoio durante a permanência em Washington.

RESUMO

A cana-de-açúcar faz parte da história brasileira como a primeira cultura agrícola introduzida no país, ainda no século XVI, e a indústria associada a esta planta, de certa maneira retrata os períodos de evolução do Brasil. Iniciada em 1931, a mistura de etanol na gasolina, no Brasil, é uma política de longo prazo que deu ao país características únicas de ter um alto percentual de energia renovável na matriz energética dos transportes. O Proálcool, iniciado na década de 1970, é uma das políticas que representa o modelo de substituição de importações, adotado como ferramenta de política industrial pelo país, à época, e, também o responsável por estabelecer condições únicas para o mercado de etanol hidratado, criando uma rede de distribuição ao longo do país e desenvolvendo a tecnologia para veículos a etanol. Foi uma política bem sucedida, que conseguiu aliar as condições naturais do país, a importação de tecnologia e a engenharia nacional de maneira inovadora e possibilitou que o país fosse o maior produtor mundial de etanol e açúcar, além de dominar completamente toda cadeia tecnológica e exportar bens de capital. O setor também é um bom representante do Brasil, ao passar por um conjunto de ciclos de expansão muito acelerada, seguido de outros ciclos de estagnação ou retração. Nas décadas recentes, boa parte destes ciclos negativos foi resultado de políticas macroeconômicas necessárias, mas que desconsideraram a necessidade de ajustes específicos setoriais.

O último grande ciclo de expansão do Sistema de Produção e Inovação do Setor Sucroenergético – SPIS ocorreu entre 2003 e 2009, resultante do desenvolvimento tecnológico anterior fomentado pelo Proálcool, do crescimento econômico do país, do alto preço do petróleo e das altas vendas de veículos. Atualmente, o setor encontra-se estagnado e se constata que a tecnologia industrial para produção de etanol de primeira geração já está madura e que o país possui pouca competência tecnológica para produção de etanol de segunda geração. A cana-de-açúcar, considerada uma excelente matéria-prima, vem apresentando ganhos decrescentes de produtividade e, por isso, torna-se necessário o investimento em técnicas de manejo adequadas para mecanização e em transgenia, visto que, apesar de ser utilizada em outras culturas há décadas, ainda não existem variedades comercialmente disponíveis para a cana-de-açúcar.

Neste trabalho, o objetivo é avaliar, sob o ponto de vista das políticas públicas voltadas para inovação, o desempenho do SPIS, bem como propor ações para melhoria do mesmo. Foi utilizada a teoria de Sistemas de Inovação Tecnológica, aliada ao quadro teórico de Funções dos Sistemas de Inovação, por se considerar que este é um modelo sistêmico que

permite visualizar o todo do problema sob análise, mas que possui mecanismos que permitam compreender a dinâmica do sistema, seus principais pontos fracos e suas virtudes.

Na última década, os EUA ultrapassaram o Brasil na produção de etanol, produzindo atualmente mais que o dobro da produção brasileira a um preço mais baixo. Além disso, o país tem tomado crescentemente a participação do Brasil nas exportações de etanol e realiza um enorme esforço para o desenvolvimento de tecnologias de segunda geração. Porém, em termos de participação relativa do etanol no mercado de combustíveis, os EUA estão muito aquém do Brasil e enfrentam severas restrições para superar o “Blend Wall” (mistura de 10% do etanol à gasolina). É feita uma comparação entre os sistemas de inovação nos dois países, com o intuito de verificar as lições que podem ser aprendidas para benefício mútuo e também as possíveis ações conjuntas a serem realizadas. Além do etanol, é analisada a produção de energia elétrica a partir da biomassa, considerando que, principalmente no Brasil, esta produção é feita usualmente na mesma unidade produtiva.

Dadas as características complexas do segmento energético implicarem em investimentos muito vultuosos e o setor ser altamente regulado, vindo a sofrer intervenções governamentais constantes, as políticas de criação de conhecimento e de demanda pelo produto necessitam ser mais fortemente conectadas que em outros segmentos. No Brasil, foram identificados três pontos negativos principais no SPIS: i) o controle de preço da gasolina associado com uma alta relevante nos custos de produção, que restringe o mercado do etanol hidratado; ii) a descoordenação entre a política de criação de demanda e a política de geração de conhecimento; e iii) a carência de criação de conhecimento. O ponto positivo principal foi o grande mercado potencial, criado pela maior frota *flex fuel* do mundo e uma rede de distribuição de etanol que cobre todo o território nacional. Nos EUA destaca-se como pontos positivos a coordenação das políticas públicas, e a evolução tecnológica acelerada, associada a uma grande mobilização de recursos. O principal problema identificado foi a criação de legitimidade, tendo em vista que existe forte oposição ao uso do biocombustível pelas grandes empresas de petróleo e outros segmentos, os quais criam um ambiente de desinformação que dificulta a formação de mercado. O pequeno número de veículos *flex fuel* e de postos de combustível vendendo E85 limitam severamente a venda de biocombustíveis, além daquele misturado à gasolina.

ABSTRACT

The sugarcane is part of Brazilian history as the first crop introduced in the country in the sixteenth century, and the industry associated with this plant, in a way portrays the stages of evolution of Brazil. Initiated in 1931, the blend of ethanol in gasoline in Brazil is a long-term policy that gave the country unique characteristics of having a high percentage of renewable energy in the energy matrix of transport. The Alcohol Program, initiated in 1970, is one of the policies that follow the model of import substitution, adopted as a tool of industrial policy for the country at that time and also responsible for establishing unique conditions for hydrous ethanol, creating a distribution network throughout the country and developing the technology for vehicles using ethanol. It was a successful policy that managed to combine the natural conditions of the country, the import of technology and national engineering in an innovative way and allowed the country to be the world's largest producer of ethanol and sugar, in addition to completely dominate the entire technology chain and export capital goods. The sector is also a good representative of Brazil, while passing by a set of cycles of very rapid expansion, followed by cycles of stagnation or decline. In recent decades, most of these negative cycles resulted of macroeconomic policies needed, but that disregarded the need for sector-specific adjustments.

The last major expansion cycle of the System of Production and Innovation of Sugarcane Sector-SPIS occurred between 2003 and 2009 resulting from previous technological development fostered by Proálcool, the country's economic growth, the high oil price and high vehicle sales. Currently the industry is stagnant and it appears that the technology for the production of first generation ethanol is already fully mature and that the country has little technological expertise to produce second-generation ethanol. The sugarcane, which is considered an excellent raw material, has shown decreasing productivity gains and therefore, investment becomes necessary for proper handling and machining techniques for transgenesis because, despite being used in other cultures for decades, there are no commercially available varieties for cane sugar.

In this work, the objective is to evaluate, from the point of view of public policies aimed at innovation, the performance of the SPIS, and propose actions for improvement. The theory of Technological Innovation Systems, allied to the Functions of Innovation Systems framework was used, as it was considered that this is a systemic model that allows you to

view all of the problem under consideration, but which has mechanisms to understand the dynamics of the system , its main weaknesses and virtues.

In the last decade, the United States outpaced Brazil in ethanol production, currently producing more than double the Brazilian production to a lower price. In addition, the country has increasingly taken the participation of Brazil in ethanol exports and makes a huge effort for the development of second-generation technologies. However, in terms of relative share of ethanol in the fuel market, the United States lags far behind Brazil and faces severe constraints to overcome the "Blend Wall" (mixture of 10% ethanol in gasoline). A comparison between systems of innovation is made in two countries, in order to verify the lessons that can be learned for mutual benefit and also the possible joint actions to be performed. Besides ethanol, is analyzed to produce electricity from biomass, whereas, especially in Brazil, this production is usually made at the same plant.

Given the complex characteristics of the energy sector, investments are bigger, the industry is highly regulated and undergo constant government intervention, political knowledge creation and demand for the product need to be more strongly connected than in other segments. In Brazil, three main weaknesses were identified in the SPIS: i) the gasoline price control associated with a high increase in production costs, which limits the market for hydrated ethanol; ii) the mismatch between the policy of demand creation and policy of knowledge generation; and iii) lack of knowledge creation. The main positive point was the large potential market created by the world's largest fleet of flex fuel and ethanol distribution network that covers the entire national territory. US stands out as positives coordination of public policies, and accelerated technological change, coupled with a large resource mobilization. The main problem identified was the creation of legitimacy, given that there is strong opposition to the use of biofuels by the major oil companies and other segments that create an environment of misinformation that hinders the formation of the market. The small number of *flex fuel* vehicles and gas stations selling E85 severely limit the sale of biofuels beyond that blended into gasoline.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1 - MODELO SISTÊMICO DE INOVAÇÃO | 22 |
| FIGURA 2 - FRONTEIRAS DA INTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE INOVAÇÃO NACIONAIS, SETORIAIS E TECNOLÓGICOS..... | 26 |
| FIGURA 3 - TRÊS MUDANÇAS TÍPICAS DO SIT..... | 30 |
| FIGURA 4 - PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E PATENTES BRASILEIRAS | 36 |
| FIGURA 5 - EXEMPLO DE USO DA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA | 50 |
| FIGURA 6 - RECEITA DO SS POR SEGMENTO (SAFRA 2011/2012) | 51 |
| FIGURA 7 - PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA NO BRASIL X FONTES SELECIONADAS..... | 52 |
| FIGURA 8 - CONSUMO FINAL DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NO BRASIL X PRODUTOS SELECIONADOS | 52 |
| FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE NOVAS UNIDADES PRODUTORAS NO BRASIL..... | 53 |
| FIGURA 10 - LICENCIAMENTO DE VEÍCULO LEVE X TIPO DE COMBUSTÍVEL | 53 |
| FIGURA 11 - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA 2014 – CAPACIDADE INSTALADA | 54 |
| FIGURA 12 - EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE DE BAGAÇO DE CANA PARA A REDE | 54 |
| FIGURA 13 - BIOELETRICIDADE DE CANA COMERCIALIZADA NOS LEILÕES POR ANO DE VENDA | 54 |
| FIGURA 14 - BIOELETRICIDADE DE CANA COMERCIALIZADA NOS LEILÕES POR ANO DE ENTREGA | 54 |
| FIGURA 15 - GANHO DE PRODUTIVIDADE MUNDIAL HISTÓRICA (BASE 1961, EM %) | 56 |
| FIGURA 16 - PRODUÇÃO, ÁREA PLANTADA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 56 |
| FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE ATUALIZAÇÃO VARIETAL (IAV) E DO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO VARIETAL (ICV) NA MÉDIA DOS ESTADOS DA REGIÃO CENTRO-SUL | 58 |
| FIGURA 18 - 5 MAIORES GRUPOS POR CAPACIDADE DE MOAGEM..... | 61 |
| FIGURA 19 - COLHEITA E PLANTIO MECANIZADOS X QUALIDADE DA CANA NA REGIÃO CENTRO-SUL..... | 64 |
| FIGURA 20 - EVOLUÇÃO DA CIDE | 66 |
| FIGURA 22 - BALANÇA COMERCIAL – GASOLINA | 67 |
| FIGURA 23 - PREÇOS ETANOL ANIDRO E METANOL..... | 68 |
| FIGURA 24 – DESEMBOLSO DE RECURSOS DO FNDCT (%) - ÁREAS SELECIONADAS | 79 |
| FIGURA 25 - EXPECTATIVA DE PRODUÇÃO DE ETANOL 2G PRA 2015 (EM MILHÕES DE LITROS)..... | 84 |
| FIGURA 26 - ETAPAS DE PRODUÇÃO DO ETANOL 2G..... | 85 |
| FIGURA 27 - ETAPAS DE PRODUÇÃO DO ETANOL 2G..... | 85 |
| FIGURA 28 - INTERAÇÃO DA SAFRA CANA E SORGO | 92 |
| FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO ASSOCIADO AO PERÍODO PÓS-CRISE 2008-2009 | 100 |
| FIGURA 30 - MANDATO DE BIOCOMBUSTÍVEIS (RFS2) POR TIPO | 105 |
| FIGURA 31 - PRODUÇÃO DE ETANOL NOS EUA..... | 105 |
| FIGURA 32 - PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE ENERGIA - FONTES SELECIONADAS..... | 106 |
| FIGURA 33 - IMPORTAÇÃO DE GASOLINA X PRODUÇÃO DE ETANOL | 107 |
| FIGURA 34 - PERCENTAGEM DE ETANOL MISTURADO AO TOTAL DA GASOLINA NOS EUA | 107 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 35 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS VENDENDO E85 | 108 |
| FIGURA 36 - RESULTADOS DOS BRCS | 114 |
| FIGURA 37 - VISÃO DO "FORMATO UNIFICADO" | 120 |
| FIGURA 38 - GASTOS DE PD&I DOS EUA COM BIOCMBUSTÍVEIS E BIOENERGIA | 131 |
| FIGURA 39 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO NOS EUA | 139 |
| FIGURA 40 - REDES DE COLABORAÇÃO DOS 20 PAÍSES MAIS PRODUTIVOS (A) E INSTITUIÇÕES (B)..... | 147 |
| FIGURA 41 - PATENTES RELACIONADAS A ETANOL: A) TOTAL NO BRASIL E EUA; B) BRASIL; E C) ESTADOS UNIDOS | 149 |
| FIGURA 42 - CURVA DE PROGRESS RATIO DO MILHO, CANA-DE-AÇÚCAR, ETANOL DE CANA E ETANOL DE MILHO | 151 |
| FIGURA 43. (A) COMPARAÇÃO DO CICLO DE VIDA NEB (NET ENERGY BALANCE) AND RER (RENEWABLE ENERGY RATIO) PARA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO. (B) COMPARAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA EFICIÊNCIA DO USO DA BIOMASSA E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE POR HECTARE PARA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO. (C) SUBFIGURA DE B COM RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA. (D) COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA E REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE... 153 | 153 |
| FIGURA 44 - CONSUMO DE ETANOL E GASOLINA NOS EUA E BRASIL..... | 159 |
| FIGURA 45 - PERCENTUAL DE ETANOL UTILIZADO NOS EUA E BRASIL (EM VOLUME) NA FROTA DE VEÍCULOS DO CICLO OTTO | 159 |
| FIGURA 46 - PARIDADE DE PREÇOS ENTRE GASOLINA E E85 NOS ESTADOS DO MEIO-OESTE | 160 |
| FIGURA 48 – DESPESA INTERNA BRUTA EM P&D..... | 163 |
| FIGURA 49 - GASTOS EM PD&I PARA BIOCMBUSTÍVEIS | 163 |
| FIGURA 49 - ANÚNCIO INTIMIDADOR EM BOMBA DE E85 DA BP | 165 |
| FIGURA 50 - ANÁLISE DO TCO (CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE) UTILIZANDO UM MODELO TÍPICO DE VEÍCULO COM 19 POSSIBILIDADES DE MOTORIZAÇÃO | 174 |
| FIGURA 51 - BALANÇA COMERCIAL DO ETANOL - BRASIL E EUA | 182 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1 - INDICADORES DAS FUNÇÕES DE INOVAÇÃO | 29 |
| TABELA 2 – TRABALHOS UTILIZANDO FUNÇÕES DE INOVAÇÃO | 31 |
| TABELA 3 - PEDIDOS E CONCESSÕES DE PATENTES DE INVENÇÃO JUNTO AO ESCRITÓRIO NORTE-AMERICANO DE PATENTES (USPTO), PAÍSES SELECIONADOS 2005-2012. | 37 |
| TABELA 4 - DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E INOVAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO | 45 |
| TABELA 5 - SÍMBOLOS UTILIZADOS NA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS FUNÇÕES DE INOVAÇÃO | 49 |
| TABELA 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DE ACORDO COM A QUANTIDADE DE AGROINDÚSTRIAS POSSUÍDAS – BRASIL, CENTRO SUL, 1999 A 2013 | 60 |
| TABELA 7 - PREVISÕES DOS PDES PARA O SETOR SUCROENERGÉTICO..... | 71 |
| TABELA 8 - QUANTIDADE DE TÉCNICOS ENVOLVIDOS COM O SETOR SUCROENERGÉTICO NOS MINISTÉRIOS ... | 74 |
| TABELA 9 - LISTA DE EMPRESAS COM PLANOS DE NEGÓCIOS SELECIONADOS NO PAISS | 83 |
| TABELA 10 - CAPACIDADE PRODUTIVA DE ETANOL CELULÓSICO | 86 |
| TABELA 11 - PROPRIEDADES DA GASOLINA E DO ETANOL..... | 95 |
| TABELA 12 - USO DE FERTILIZANTES NO MILHO - EUA..... | 108 |
| TABELA 13 - LABORATÓRIOS NACIONAIS VINCULADOS AO DOE | 130 |
| TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES SOBRE BIOCOMBUSTÍVEIS ENTRE 1991 E 2012..... | 148 |
| TABELA 15 - OS 20 PAÍSES MAIS PRODUTIVOS EM PESQUISA SOBRE BIOCOMBUSTÍVEIS | 148 |
| TABELA 16 - TAXAS DE APRENDIZAGEM PARA A CANA-DE-AÇÚCAR; MILHO; ETANOL DE CANA E ETANOL DE MILHO..... | 151 |
| TABELA 17 - COMPARAÇÃO DAS FUNÇÕES DE INOVAÇÃO NO BRASIL E NOS EUA | 167 |
| TABELA 18 - COMPARAÇÃO DO IPI NOS CARROS À GASOLINA E FLEX..... | 221 |

LISTA DE SIGLAS

1G – Biocombustível de primeira geração
2G – Biocombustível de segunda geração
A4A - *Airlines for América*
ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AER – *All electric range*
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARPA-E - *Advanced Research Projects Agency–Energy*
ARS - *USDA Agricultural Research Service*
ATR - Açúcares Totais Recuperáveis
BCAP - *USDA Biomass Crop Assistance Program*
BETO - *Bioenergy Technologies Office*
BEV – *Battery Electric Vehicles*
BIOEN - Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia
BK – Bens de capital
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRC – *DOE Bioenergy Research Center*
BRDI - *Biomass Research and Development Initiative*
BR&D - *Biomass Research and Development Board*
CAAFI - *Commercial Air Alternative Fuel Initiative*
CADIN - Cadastro Informativo de Créditos não Quitados do Setor Público Federal
CAFE - *Corporate Average Fuel Economy*
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior
CCT - Corte, Carregamento e Transporte
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
C&T – Ciência e Tecnologia
CIDE - Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico
CIMA – Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool
CNAL - Conselho Nacional do Alcool
CNPEM - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
CTC - Centro de Tecnologia Coopersucar, atualmente Centro de Tecnologia Canavieira
CT&I - Ciência, Tecnologia e Inovação

DOD - Department of Defense
DOE – *Department of Energy*
DOI - *Departament of Interior*
DOT – *Department of Transportation*
E10 – Mistura de 10% de etanol com gasolina
E15 – Mistura de 15% de etanol com gasolina
E1G – Etanol de primeira geração
E2G – Etanol de segunda geração
E85 - Mistura de 85% de etanol com gasolina
EA - Etanol anidro
EECP - Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Piracicaba
EECC - Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Campos
EECM - Estação Experimental de Combustíveis e Minérios
EGR - *Exhaust gas recirculation*
EH - Etanol hidratado
EISA - Energy Independence and Security Act
ENCTI - Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015
EPA – *Environmental Protection Agency*
EPAct - Energy Policy Act
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EUA – Estados Unidos da América
FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCV – *Hydrogen fuel cell vehicles*
F&A - Fusões e aquisições
FNDCT - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FS – USDA Forest Service Research & Development
FSI - Funções do Sistema de Inovação
GEE - Gases de efeito estufa
GPS – *Global Positioning System*
IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool
IAC - Instituto Agrônomo de Campinas
IAV - Índice de atualização varietal
IBRF - Integrated Biorefinery Facility
ICE - Internal combustion engine vehicles

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Bens e Mercadorias
ICT - Instituição Científica e Tecnológica
ICV - Índice de concentração varietal
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
IPI - Imposto Sobre Produtos Industrializados
IRS - Internal Revenue Service
ISI - Políticas industriais de substituição de importações
IWG - Biofuels Interagency Working Group
LDC - Louis Dreyfus Commodities
LSB - *Large square bale*
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MF - Ministério da Fazenda
MIC – Ministério da Indústria e Comércio
MGA - Milhões de Galões por Ano
MME – Ministério de Minas e Energia
MoU - Memorando de Entendimento (*memorandum of understanding*)
MTBE - Methyl Tertiary Butyl Ether
NABC - National Advanced Biofuels Consortium
NBAP - *National Biofuels Action Plan*
NIPE/Unicamp - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético
NREL - *National Renewable Energy Laboratory*
PACTI - Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional
PAISS – Plano de Apoio ao Setor Sucroenergético e Sucroquímico
PBDCT - Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia
PDU - *Deployable Process Demonstration Unit*
PHEV - *Plug-In Hybrid Electric Vehicles*
PI - Propriedade Intelectual

PIB - Produto Interno Bruto

PLANALSUCAR - Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar

PMO/CTA - Laboratório de Motores do Centro Técnico Aeroespacial

PNA - Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011

PN - Plano de negócio

PNMC - Plano Nacional sobre Mudança do Clima

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool

PROCANA - Programa de Melhoramento da Cana-de-açúcar

PUI - Período Útil de Industrialização

RFA - *Renewable Fuels Association*

RFS - *Renewable Fuel Standards*

RIDESA - Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro

RIN - *Renewable identification numbers*

SI - Sistemas de Inovação

SIT - Sistema de Inovação Tecnológica

SNI - Sistema Nacional de Inovação

SPIAC - Sistema de Produção e Inovação em Alcool Combustível

SPIS - Sistema de Produção e Inovação do Setor Sucroenergético

SRI - Sistemas Regionais de Inovação

STI – Secretaria de Tecnologia Industrial

SS - Setor Sucroenergético

SSI - Sistemas Setoriais de Inovação

SUV – *Small Utility Vehicle*

TCO – *Total Cost of Ownership*

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

TSIS - *Technology Specific Innovation System*

UE - União Européia

USDA – *United States Department of Agriculture*

USPTO - *United States Patent and Trademark Office*

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 2.1 | Sistemas de Inovação | 19 |
| 2.1.1 | Modelo Linear | 20 |
| 2.1.2 | Modelo Elo de Cadeia | 20 |
| 2.1.3 | Modelo Hélice Tripla | 21 |
| 2.1.4 | Modelo Sistêmico de Inovação | 22 |
| 2.1.5 | Sistemas Nacionais de Inovação | 23 |
| 2.1.6 | Sistemas Setoriais de Inovação | 24 |
| 2.1.7 | Sistema de Inovação Tecnológica (SIT) | 25 |
| 2.1.7.1 | Funções do Sistema de Inovação Tecnológica | 27 |
| 2.1.8 | Sistemas de Inovação X Setor de Energia | 32 |
| 2.1.9 | O SNI no Brasil | 33 |
| 2.1.9.1 | Histórico do SNI no Brasil | 33 |
| 2.1.9.2 | Avaliação do SNI no Brasil | 35 |
| 2.1.9.3 | Principais motivações do baixo grau de inovação no Brasil | 37 |
| 2.1.9.4 | Dificuldade do modelo institucional | 37 |
| 2.1.9.4.1 | Dificuldade de alocação de recursos no setor produtivo | 39 |
| 2.1.9.4.2 | Dificuldade de estabelecer prioridades – pulverização de recursos | 40 |
| 2.1.9.4.3 | Isomorfismo na formulação de políticas | 40 |
| 3 | METODOLOGIA | 42 |
| 3.1 | Definição do Sistema de Inovação Tecnológica a ser estudado | 43 |
| 3.1.1 | Conhecimento, processos de aprendizagem e tecnologias | 43 |
| 3.1.2 | Agentes | 44 |
| 3.1.3 | Instituições | 46 |
| 3.2 | Mapeamento dos eventos relevantes para a estruturação do Sistema de Produção e Inovação | 47 |
| 3.2.1.1 | Identificação dos processos de transformação do Sistema de Produção e Inovação | 49 |
| 4 | PANORAMA ATUAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL | 51 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 4.1 | Dados do Setor Sucreenergético no Brasil | 51 |
| 4.2 | Avaliação do desempenho do SPIS | 55 |
| 4.2.1 | Baixo índice de inovação na geração de variedades de cana-de-açúcar | 56 |
| 4.2.2 | Expansão acelerada do SS | 59 |
| 4.2.3 | Mudança no perfil acionário do SS | 60 |
| 4.2.3.1 | Mudança no perfil acionário do SS como motor de inovação | 62 |
| 4.2.4 | Crise financeira de 2008-2009 | 63 |
| 4.2.5 | Adversidades climáticas | 63 |
| 4.2.6 | Mecanização acelerada | 64 |
| 4.3 | Gestão do Governo Federal sobre o SS no período recente | 66 |
| 4.3.1 | Gestão macroeconômica e tributária | 66 |
| 4.3.2 | A nova regulamentação do SS | 69 |
| 4.3.3 | O Planejamento Energético e o Plano Nacional de Mudanças Climáticas | 70 |
| 4.3.4 | Equipe de Pessoal do Governo Federal envolvida com o SS | 73 |
| 4.3.5 | As novas ICTs públicas ligadas ao SS | 74 |
| 4.3.5.1 | A criação da Embrapa Agroenergia | 74 |
| 4.3.5.2 | A criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) | 77 |
| 4.3.6 | Os recursos públicos federais para PD&I no SS | 78 |
| 4.3.7 | O novo modelo de fomento à inovação no SS | 80 |
| 4.3.7.1 | O PAISS | 81 |
| 4.3.7.1.1 | Os projetos industriais de etanol celulósico apoiados pelo PAISS | 85 |
| 4.3.7.1.1.1 | O Projeto de etanol celulósico da Granbio | 86 |
| 4.3.7.1.1.2 | O Projeto de etanol celulósico da Raizen | 88 |
| 4.3.7.1.1.3 | O Projeto de etanol celulósico da Odebrecht Agroindustrial | 89 |
| 4.3.7.1.1.4 | O Projeto de etanol celulósico da Petrobras/São Martinho | 89 |
| 4.3.7.1.1.5 | Avaliação dos novos projetos em relação às FSIs | 90 |
| 4.3.7.2 | O PAISS Agrícola | 90 |
| 4.4 | A ação dos Estados | 92 |
| 4.4.1 | A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP | 94 |
| 4.5 | O desenvolvimento nos motores flex | 95 |
| 4.6 | A interação entre a oferta e a demanda por tecnologia no SPIS para o etanol 2G | 97 |
| 4.7 | A estruturação do SPIS no período recente | 98 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.8 | Análise indutiva e discussão da co-evolução entre a mudança institucional e a mudança tecnológica no SPIS | 99 |
| 5 | PANORAMA DO SETOR DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA | 103 |
| 5.1 | Dados sobre Bioenergia nos EUA | 105 |
| 5.2 | Avaliação da Inovação no setor de bioenergia nos EUA | 108 |
| 5.3 | Projetos de Biocombustíveis avançados | 109 |
| 5.3.1 | Abengoa Bioenergy | 109 |
| 5.3.2 | POET/DSM | 109 |
| 5.3.3 | INEOS Bio | 110 |
| 5.3.4 | DuPont Cellulosic Ethanol | 110 |
| 5.4 | A Estruturação do Sistema de Inovação Norte-Americano | 110 |
| 5.4.1 | Atividades transversais | 112 |
| 5.4.2 | Educação e Divulgação para <i>Stakeholders</i> | 115 |
| 5.4.3 | Biomassa | 117 |
| 5.4.4 | Tecnologias de Conversão | 123 |
| 5.4.5 | Uso Final e Infraestrutura de Transporte e Distribuição | 126 |
| 5.4.6 | As novas Instituições e redes ligadas à Bioenergia | 129 |
| 5.4.7 | Os recursos públicos federais para PD&I | 130 |
| 5.5 | Benefícios Tributários e Financeiros para produção e inovação no setor de biocombustíveis | 131 |
| 5.5.1 | Benefícios Tributários e Financeiros federais já expirados | 131 |
| 5.5.1.1 | U.S. Customs and Border Protection | 131 |
| 5.5.1.2 | Internal Revenue Service (IRS) | 132 |
| 5.5.2 | Benefícios Tributários e Financeiros federais vigentes | 134 |
| 5.5.2.1 | Internal Revenue Service (IRS) | 134 |
| 5.5.2.2 | DOT | 135 |
| 5.5.2.3 | DOE | 135 |
| 5.5.2.4 | USDA | 135 |
| 5.6 | A estruturação do Sistema de Inovação para Bioenergia no período recente | 137 |
| 6 | COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL E ESTADOS UNIDOS | 140 |
| 6.1 | Função de Inovação de Atividades Empresariais | 140 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.1.1 | Função de Inovação de Atividades Empresariais - Processo de conversão industrial | 140 |
| 6.1.1.1 | Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital | 140 |
| 6.1.1.1.1 | Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital - Brasil | 140 |
| 6.1.1.1.2 | Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital – Estados Unidos | 142 |
| 6.1.1.2 | Função de Inovação de Atividades Empresariais – Produtoras de bioenergia | 145 |
| 6.1.1.3 | Função de Inovação de Atividades Empresariais – Matéria-Prima | 145 |
| 6.2 | Função de Inovação de Criação de Conhecimento | 147 |
| 6.2.1 | Indicadores | 147 |
| 6.2.1.1 | Publicação Científica | 147 |
| 6.2.1.2 | Patentes | 148 |
| 6.2.1.3 | Curvas de aprendizagem | 150 |
| 6.2.2 | Avaliação da FSI | 152 |
| 6.2.2.1 | Função de Inovação de Criação de Conhecimento - Processo de conversão industrial | 152 |
| 6.2.2.2 | Função de Inovação de Criação de Conhecimento – Matéria-Prima | 154 |
| 6.3 | Função de Inovação de Difusão do Conhecimento | 155 |
| 6.4 | Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa | 156 |
| 6.4.1 | Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa - Processo de conversão industrial | 156 |
| 6.4.2 | Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa – Matéria-Prima | 157 |
| 6.5 | Função de Inovação de Formação de Mercado | 158 |
| 6.5.1 | Indicador - Consumo de Gasolina e Etanol | 158 |
| 6.5.1.1 | Localização Geográfica | 160 |
| 6.5.2 | Avaliação da FSI | 160 |
| 6.6 | Função de Inovação de Mobilização de Recursos | 162 |
| 6.6.1 | Indicador - Gastos em PD&I | 162 |
| 6.6.2 | Avaliação da FSI | 163 |
| 6.7 | Função de Inovação de Criação de Legitimidade | 164 |
| 6.8 | Comparação Geral das Funções de Inovação no Brasil e EUA | 166 |
| 7 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 168 |
| 7.1 | Política Industrial | 170 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 7.1.1 | Por que o Setor Sucreenergético deveria ser incluído numa política industrial? | 171 |
| 7.1.1.1 | O SS possui mercado futuro que justifique uma política industrial? | 172 |
| 7.1.1.2 | Demanda futura para bioeletricidade | 176 |
| 7.1.2 | O Brasil possui capacidade financeira, natural e de pessoal para que o SS seja competitivo internacionalmente? | 177 |
| 7.2 | O Nordeste? | 178 |
| 7.3 | Proposição de Ações | 179 |
| 7.3.1 | Ajuste na política macroeconômica | 179 |
| 7.3.2 | Formação de mercado para novos produtos | 180 |
| 7.3.2.1 | Ajuste no Inovar-Auto | 180 |
| 7.3.3 | Mobilização de Recursos | 181 |
| 7.3.4 | Ajuste na Governança Federal sobre o Setor | 181 |
| 7.3.5 | Parceria com os EUA | 181 |
| 7.3.5.1 | RIN para biocombustíveis avançados emitidos no Brasil | 181 |
| 7.3.5.2 | Editais conjuntos de PD&I para biocombustíveis celulósicos | 183 |
| 7.4 | Funções Setoriais de Inovação | 183 |
| 7.4.1 | Interação entre Funções Setoriais de Inovação e <i>Advocacy Coalition Framework</i> | 184 |
| 8 | CONCLUSÃO | 185 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 187 |
| | ANEXO I - HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS | 211 |
| 1 | BRASIL | 211 |
| 1.1 | Processo de modernização da indústria açucareira e a instalação dos engenhos centrais (1875 a 1900) | 211 |
| 1.2 | Superação da crise do mosaico (1922 a 1932) | 212 |
| 1.3 | Formação do mercado de etanol combustível (1931 a 1942) | 212 |
| 1.4 | O desenvolvimento de variedades de cana após a crise do mosaico (1930 a 1975) | 213 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 1.5 | A expansão produtiva da agroindústria sucroalcooleira em São Paulo (décadas de 1940 a 1970) | 214 |
| 1.6 | O relacionamento da agroindústria sucroalcooleira com a indústria de equipamentos (décadas de 1950 a 1970) | 215 |
| 1.7 | A expansão do mercado de etanol combustível com o Proálcool (1975 a 1990) | 216 |
| 1.8 | As tentativas de utilizar a mandioca como matéria-prima alternativa à cana-de-açúcar (décadas de 1930 à 1970) | 217 |
| 1.9 | O desenvolvimento do carro a etanol hidratado (década de 1980) | 218 |
| 1.10 | Uso do etanol no diesel durante o Proálcool (1975-1985) | 219 |
| 1.11 | A estagnação do etanol combustível (1991 a 2002) | 219 |
| 1.12 | O desenvolvimento do carro flex (1991 a 2003) | 220 |
| 1.13 | A retomada de interesse pelo etanol combustível a partir de 2002 | 221 |
| 2 | ESTADOS UNIDOS | 222 |
| 2.1 | O embargo árabe ao petróleo e o “boom” do gasohol | 223 |
| 2.2 | A era Reagan e o petróleo barato – o fim do “boom” do gasohol (1980 - 1990) | 224 |
| 2.3 | O Clean Air Act: uma oportunidade para o etanol como oxigenante (1990-2000) | 225 |
| 2.4 | O novo milênio: segurança energética, mudança climática. Atingindo o etanol avançado (2000-2008) | 227 |
| 3 | ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTADOS UNIDOS E BRASIL NA HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DE ETANOL ATÉ O ANO DE 2008 | 229 |
| | ANEXO II – PARIDADE DE PREÇO DO ETANOL HIDRATADO/GASOLINA C | 233 |
| | ANEXO III - ALÍQUOTA DE ICMS X ESTADO X TIPO DE COMBUSTÍVEL | 234 |
| | ANEXO IV – LISTA DOS EVENTOS NOS QUAIS HOUVE PARTICIPAÇÃO PARA COLETA DE INFORMAÇÕES E REALIZAÇÃO DE ENTREVISTAS | 235 |

| | |
|--|------------|
| ANEXO V – FATORES DE CONVERSÃO ENTRE O SISTEMA INTERNACIONAL E O INGLÊS | 237 |
| ANEXO VI – CÁLCULO DA CURVA DE EXPERIÊNCIA | 238 |
| ANEXO VII – DADOS UTILIZADOS PARA CALCULAR A PROGRESS RATIO | 239 |

1 INTRODUÇÃO

A meta principal da política pública é propiciar o bem estar dos cidadãos de forma sustentável. Para isso, o governo atua em diversas políticas setoriais que deveriam trabalhar em conjunto para alcançar a meta proposta. Neste trabalho, o objetivo é avaliar, sob o ponto de vista das políticas públicas voltadas para inovação, o desempenho do Sistema de Produção e Inovação do Setor Sucroenergético (SPIS), bem como propor ações para melhoria do mesmo.

Na literatura econômica evolucionista a inovação é vista como a principal forma das empresas e indústrias alcançarem a competitividade, que na definição da Comunidade Europeia, é a habilidade de produzir bens e serviços que satisfaçam o teste dos mercados internacionais, e ao mesmo tempo mantenha níveis de renda e de emprego altos e sustentáveis (CE, 2006). O entendimento adotado aqui, portanto, é que a Política de Inovação é parte da Política Industrial.

A opção por estudar um tema conexo com energia se relaciona com o fato deste ser o mais importante insumo da sociedade moderna. O acesso à água e à comida são essenciais para a vida humana. Contudo, é a energia, com seus mais diversos usos, que propiciou à sociedade avançar de forma acelerada no desenvolvimento econômico e de melhores condições de vida, inclusive sendo essencial para a produção de alimentos e distribuição de água. A ONU, em seu programa Bioenergy for Sustainable Development, considera que a pobreza energética é um dos principais óbices ao desenvolvimento econômico.

No segmento energia, que é extremamente vasto, a opção por trabalhar com o Setor Sucroenergético (SS) deve-se ao fato deste ser um dos poucos setores econômicos em que o Brasil conseguiu um papel de predominância mundial. Nenhum outro país do mundo conseguiu uma inserção tão grande de energia renovável na matriz de transportes quanto o Brasil. Além disso, no caso do etanol de primeira geração, esse é um dos poucos segmentos industriais nos quais o país tem completo domínio tecnológico e exporta conhecimento e bens de capital. Neves, Trombin e Consoli (2010) aferiram que em 2008 o setor sucroenergético representou quase 2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e Varrichio (2012) identificou que o setor sucroalcooleiro tem um valor de transformação industrial que se equipara à indústria automobilística ou petroquímica e superior a de outros setores.

Além disso, há uma corrente crescente de economistas que se contrapõem à teoria da “maldição dos recursos naturais” e que considera que a exploração adequada dos recursos

naturais pode gerar inovação, que é transmitida para outros setores, impulsionando a economia como um todo. Esse ponto de vista é compartilhado neste estudo, no qual se considera que o bom aproveitamento dos recursos naturais do país, desde que feitos em condições adequadas, pode acelerar o desenvolvimento tecnológico próprio.

Outro fator considerado relevante na escolha do Setor Sucoenergético (SS) foi o componente ambiental. Desde que se iniciou o uso das modernas formas de energia, principalmente energia elétrica e combustíveis líquidos, os países tiveram como principais metas fornecer energia barata à todos os seus cidadãos. Essa política visava conferir competitividade à indústria com o barateamento de um de seus principais insumos. A energia com baixo custo e ampla disponibilidade alterou o mapa industrial mundial, com segmentos inteiros buscando os países com essa característica. A implantação da indústria de alumínio no Brasil é um exemplo disso. A indústria se instalou no país quando havia energia barata e abundante e, atualmente, vem reduzindo suas atividades devido ao alto custo da energia. Contudo, desde que nas últimas décadas se identificou que os gases de efeito estufa (GEE) influenciam fortemente o aquecimento global e que este está levando a mudanças aceleradas no clima, com previsões catastróficas para a sociedade, há uma mudança em curso. A produção de energia é uma das mais significativas emissoras de GEE e a busca por alternativas mais limpas e se possível renováveis, passou a ser vista como prioridade em vários países. O etanol é um combustível que alia a possibilidade de desenvolvimento econômico e segurança energética com diversos ganhos ambientais e é também um segmento no qual o Brasil pode continuar a desenvolver tecnologia própria.

O Brasil obteve enorme sucesso na produção e uso do etanol de primeira geração. Porém, atualmente há no mundo uma corrida tecnológica pela produção de biocombustíveis celulósicos e se identifica que o país apresenta algumas carências no SPIS para participar de forma competitiva nesta nova etapa. Ainda que algumas carências existam, o país possui também enorme potencial para superar estas barreiras, já que possui uma capacitação acumulada e recursos naturais abundantes.

Os Estados Unidos atualmente são os maiores produtores mundiais de etanol, tendo crescido substancialmente sua produção na última década. Além disso, o país tem investido vultuosos recursos na produção de etanol celulósico e possui metas de consumo deste biocombustível. O trabalho fará uma comparação dos Sistemas de Inovação (SI) para o etanol nos dois países, com o propósito de identificar linhas de ação diferentes e que tenham potencial para serem utilizadas no Brasil. Além disso, como tem sido crescentemente retratado na literatura, a inovação tem cada vez mais uma característica globalizada, com

conhecimentos diversos sendo desenvolvidos em diferentes países e unidos para determinados projetos. Verifica-se também que os dois países possuem diversas complementariedades que podem ser melhor exploradas para benefício mútuo.

Aumentar a velocidade da inovação é importante, já que a inovação é um fator chave para o crescimento e desenvolvimento econômico de longo prazo. Aumentar a velocidade da inovação a nível nacional é um processo altamente complicado, e influenciar a direção da inovação é ainda mais difícil. O desenvolvimento tecnológico não é um processo autônomo e, conseqüentemente, o gerenciamento da mudança tecnológica é necessário (HEKKERT et al., 2007).

Este trabalho está dividido em 8 capítulos, incluída esta introdução. No capítulo 2 será apresentado o referencial teórico utilizado, no qual será abordada a teoria sobre sistemas de inovação e sua evolução ao longo do tempo. O modelo linear, o modelo elo de cadeia, o modelo de Hélice Tripla e o modelo sistêmico de inovação serão descritos em suas características básicas. Os sistemas nacionais e setoriais de inovação serão apresentados como opções de análise geográfica ou por setores para análise de um SI. Por ser a teoria escolhida para uso mais intenso neste trabalho, o Sistema de Inovação Tecnológica (SIT) será abordado com mais profundidade, principalmente suas funções utilizadas na análise do sistema de inovação em uma determinada tecnologia ou produto. Na revisão teórica também será apresentada a evolução do Sistema de Inovação no Brasil, bem como suas principais falhas apontadas pelos pesquisadores.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada, que tem como base o método indutivo de pesquisa qualitativa associado com análises longitudinais dos dois países. Como já exposto, o foco é o setor sucroenergético no Brasil, contudo a análise longitudinal para os EUA focará em etanol quando possível e em bioenergia quando não for possível desagregar as informações. A metodologia apresenta como o trabalho será desenvolvido e o porquê das opções realizadas. O objeto de análise será definido com mais precisão e também as ferramentas de análise serão melhor discutidas.

O capítulo 4 traz um panorama atual do Setor Sucroenergético no Brasil. Busca-se neste capítulo trazer as informações consideradas relevantes e que permitam identificar a situação atual do setor. Utilizando-se da metodologia de funções de inovação, é feita uma análise do desenvolvimento da inovação no setor. A identificação dos pontos fortes e fracos do Sistema de Inovação Tecnológica que permitam proposições para melhoria do mesmo é o objetivo do capítulo.

O capítulo 5 realiza uma análise do setor de etanol nos Estados Unidos, de maneira similar à realizada para o Brasil, no capítulo 4. No capítulo 6 é feita a comparação do setor de etanol entre os dois países utilizando a metodologia das funções de inovação. O foco é identificar dentro de cada uma das sete funções de inovação qual tem melhor desempenho em cada país, bem como a razão para as diferenças. Esta análise visa a proposição de novas ações a ser realizada no capítulo seguinte.

O capítulo 7 trata dos resultados encontrados e busca correlacionar todas as informações coletadas, bem como sua interação com a teoria utilizada. São também apresentadas proposições de ações que são consideradas necessárias para melhoria do desempenho da inovação no setor sucroenergético. Ao final, o capítulo 8 traz a conclusão do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No início do século XX, Schumpeter introduz a ideia da inovação como a principal força motriz do capitalismo, em contraposição à teoria clássica. A tecnologia que era vista como uma variável exógena relacionada à produtividade passa a ser essencial como resultado das forças produtivas no capitalismo. O autor considera que as inovações seriam essenciais para o desenvolvimento econômico, mas também centrais nas mudanças do paradigma sócio cultural e no padrão de acumulação capitalista (SCHUMPETER, 1997).

Além de internalizar a inovação na análise econômica, Schumpeter traz também uma abordagem sobre concorrência que é muito diferente da teoria clássica. Nesta, a concorrência se dá através da arbitragem de preços em um mercado perfeitamente competitivo, onde a firma que ofertasse o produto adequado ao menor preço conseguiria capturar grande parte dos consumidores. Para Schumpeter a concorrência por novos produtos e novas técnicas cria um monopólio temporário que é muito mais eficaz na geração de lucros. A concorrência se daria por meio desta busca pela tecnologia que obtivesse melhor aceitação no mercado. No caso de produtos que possuam pouca capacidade de diferenciação, como as *commodities*, a concorrência se daria pela tecnologia de produção que possibilitasse um menor custo.

No Sistema Capitalista a competição levaria à necessidade constante de inovação. Tal evolução causa constantes mudanças que modificariam as forças produtivas, introduzindo novos setores, ao mesmo tempo em que causaria a falência de outros, num processo chamado pelo autor de “destruição criativa”. A concorrência passa a envolver não só os agentes estabelecidos no mercado, mas também os potenciais entrantes. A obtenção de lucros por meio do monopólio temporário criado pela inovação é constantemente ameaçada, sendo necessário então que esse ciclo se mantenha para manutenção do lucro.

2.1 Sistemas de Inovação

A principal motivação para o investimento público em CT&I (Ciência, Tecnologia e Inovação) é compensar as falhas de mercado que diminuem o investimento em pesquisa por parte da indústria (ARROW, 1962; NELSON, 1959; WEISS; BONVILLIAN, 2009). Este argumento já tem várias décadas, mas, de maneira geral, permanece com pouca ou mesmo nenhuma contestação acadêmica. Se não há contestação sobre a importância do investimento público em CT&I, há um intenso debate sobre qual é o montante adequado deste investimento e como realizá-lo, em parceria com o setor privado, de forma eficiente.

Os atores governamentais, a partir da década de 50, foram fortemente influenciados, no desenvolvimento das políticas públicas de CT&I, pelos modelos estabelecidos pelas pesquisas socioeconômicas sobre o tema (KUHLMANN, 2008). Nos tópicos a seguir serão apresentados os modelos teóricos associados com o processo de inovação. É relevante salientar que não houve uma evolução histórica sequencial do pensamento teórico sobre os modelos. Até hoje diferentes modelos são utilizados em paralelo por acadêmicos diversos, bem como políticos e burocratas envolvidos com o tema.

2.1.1 Modelo Linear

O modelo linear de inovação foi desenvolvido a partir de ideias que durante o início do século XX permeavam o meio acadêmico, tendo sido inicialmente sistematizado no Relatório Bush - “Science, The Endless Frontier” (BUSH, 1945). Cassiolato e Lastres (2005, p.35) o apresentam “como ocorrendo em estágios sucessivos e independentes de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, produção e difusão”. Neste modelo é pressuposta uma relação quase direta entre P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e inovação. Avançar no campo da pesquisa e do desenvolvimento implicaria numa reação em cadeia que acabaria por levar à inovação tecnológica.

Nas últimas duas décadas, tem sido crescente o questionamento da relação linear entre a Ciência e Tecnologia (C&T) e a inovação. Os modelos que serão abordados a seguir enfatizam que não há a linearidade proposta pelo modelo e que o processo de geração de inovação e uso de conhecimento é complexo, envolve atores diversos e interações em contextos sociais complexos (EDQUIST; JOHNSON, 1997; LUNDVALL; JOHNSON, 1994). Dentre as críticas mais contundentes ao modelo linear está a de que o modelo é fortemente disseminado pelos acadêmicos com a finalidade de justificar o aumento de gastos nas instituições de P&D, que no Brasil confundem-se fortemente com as universidades (DAGNINO, 2007; PACHECO, 2005; SCHWARTZMAN, 2008; VIOTTI, 2008).

2.1.2 Modelo Elo de Cadeia

Em 1986, o modelo Elo de Cadeia é proposto por Kline e Rosemberg (1986), enfatizando que a inovação é gerada no setor produtivo, resultando num processo de interação entre as empresas e entre estas e as instituições de pesquisa. Para Viotti (2003) o modelo enfatiza a concepção de que a inovação é resultado de um processo de interação entre

oportunidades de mercado e a base de conhecimentos e capacitações da firma. Nesse modelo a fonte de ideias inventivas não é mais a pesquisa nas ICTs (Instituições Científicas e Tecnológicas). Estas instituições passam a ser acionadas quando a empresa não localiza soluções para os problemas encontrados no desenvolvimento de um novo produto ou serviço. A inovação envolve vários subprocessos, sem uma sequência claramente definida, e com a ocorrência de interações ou realimentações (feedbacks) entre estes. A integração entre estes subprocessos passa a ser determinante para geração bem sucedida da inovação.

Kline e Rosemberg (1986) consideram que existem cinco etapas no processo inovativo: Identificação pelas empresas das oportunidades de mercado; Invenção ou projeto analítico; Projetos detalhados e testes; Reprojetado e produção; e Distribuição e comercialização.

O modelo Elo de Cadeia enfatiza três aspectos da inovação (SMITH, 2000): a inovação envolve muitas interações e realimentações, não sendo um projeto sequencial; os insumos da inovação são multifacetados; e ela não depende de processos de invenção, que passam a ser necessários na solução de problemas identificados durante o processo.

2.1.3 Modelo Hélice Tripla

Etzkowitz H. (1994, p. 141) considera que “o crescimento econômico futuro é dependente não apenas de um novo ciclo de inovações, mas de uma nova estrutura para a inovação que ligue a pesquisa básica e aplicada de forma cada vez mais próxima”. Etzkowitz e Leydesdorff (2000) consideram fundamentais as relações universidade-indústria-governo e tentam capturar a dinâmica da comunicação e organização entre estes, pela introdução da noção de sobreposição nas relações de troca, que realimentam os arranjos institucionais. As instituições e suas relações provêm uma infraestrutura de conhecimento que (paradoxalmente) sustenta a base de conhecimentos.

Cada uma das hélices desenvolve-se internamente, mas elas também interagem em termos de trocas de bens e serviços e em termos de suas funções (ETZKOWITZ et al., 2000). O modelo difere do Sistema Nacional de Inovação, abordado a seguir, que considera a firma como tendo o papel de líder no processo de inovação. Os autores do modelo de Hélice Tripla consideram que as fontes de inovação não são sincronizadas *a priori* e que a interação entre universidade, empresa e governo gera um quebra-cabeças que deve ser resolvido pelos participantes, analistas e *policy makers*. Na hipótese do modelo está implícita a manutenção dos sistemas em transição permanente.

2.1.4 Modelo Sistêmico de Inovação

Os modelos de Hélice Tripla e Elo de Cadeia avançaram bastante na compreensão de aspectos do processo de inovação, que eram desconsiderados pelo modelo linear. Mas, ainda assim, os estudos recentes apresentam um cenário mais complexo, amplo e diversificado para compreensão do processo de inovação. No modelo sistêmico, o processo de inovação é afetado por um grande conjunto de instituições privadas e públicas, incluindo empresas, centros de pesquisa, legislação, cultura e ambiente econômico. OECD (1999) destaca que as empresas não inovam isoladamente, mas sim imersas em redes de relações diretas e indiretas com diversas outras empresas e instituições (Figura 1). De maneira similar ao proposto nos modelos Elo de Cadeia e Hélice Tripla, o modelo sistêmico considera que o relacionamento entre os diversos agentes envolvidos se traduz em aprendizado e difusão da inovação (MALERBA, 2002). As “falhas sistêmicas” da rede de instituições e relações que dão suporte ao processo de inovação são o foco de atuação deste modelo.

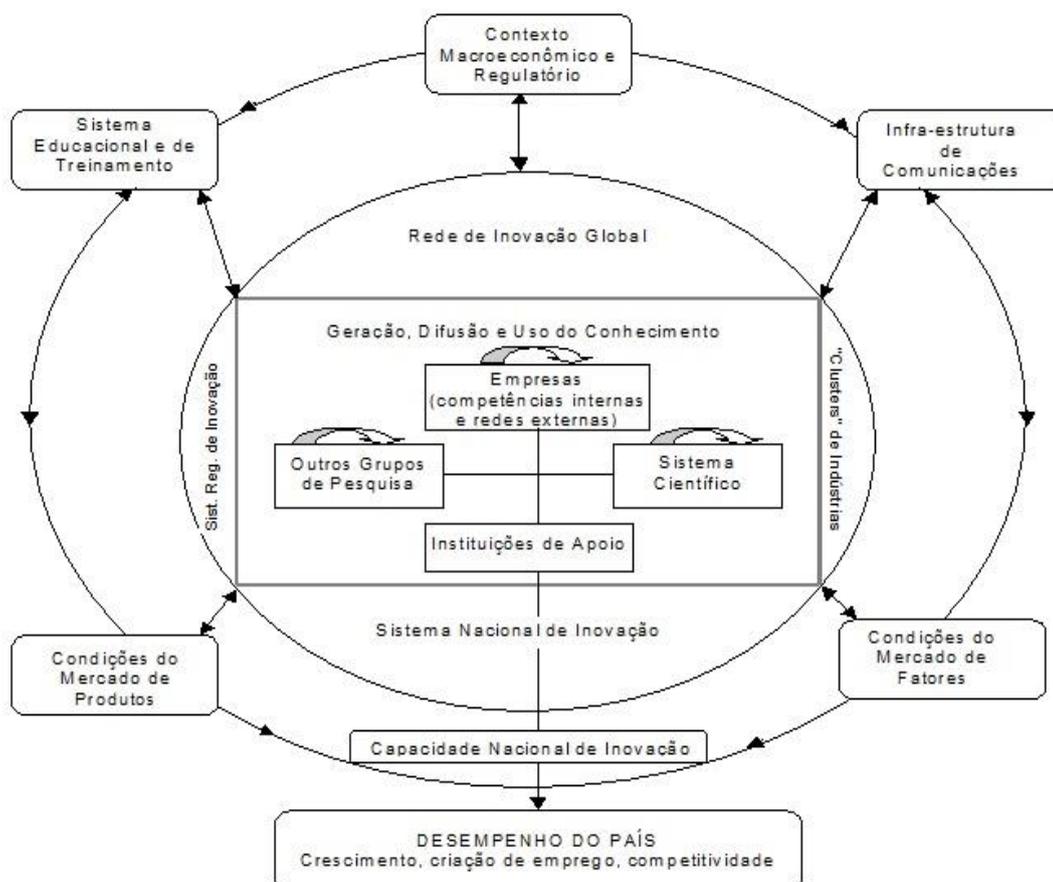


Figura 1 - Modelo Sistêmico de Inovação

Fonte: (OECD, 1999)

Ainda que se considere que a inovação ocorra numa rede de relações, o conhecimento é localizado, com as empresas aprendendo de fontes diversas e adaptando suas rotinas a partir de diferentes relacionamentos. Tais aprendizados ocorrem de maneiras diferentes: “learning by doing” (ARROW, 1962), “learning by using” (ROSENBERG, 1982) e “learning by interacting” (LUNDVALL, 1992) e são ligados ao conceito de dependência da trajetória.

2.1.5 Sistemas Nacionais de Inovação

No final da década de 80 e início da década de 90, vários autores passaram a trabalhar com o conceito de Sistema Nacional de Inovações (SNI), destacando-se os textos de: Freeman (1987), Lundvall (1992), Nelson (1993), Edquist (1997b) e Nelson e Rosenberg (1993). Metcalfe (1995, p.38) define o SNI como um “[...] conjunto de distintas instituições que conjuntamente e individualmente contribuem para o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias e que provê o arcabouço com o qual governos estruturam e implementam políticas para influenciar o processo de inovação”.

A abordagem de SNI reforça a existência de uma multiplicidade de atores e a importância das interações entre os mesmos, formando redes que reúnem ICTs, empresas, agências de fomento e sociedade civil. Em alguns casos, notadamente nos países mais desenvolvidos, ocorre uma intensificação da ligação entre indústria e as ICTs, em outros, como no Brasil, há um esforço governamental para que isso ocorra. Passa a existir uma pressão para que as pesquisas sejam comercializadas, na forma de *spin-offs*, licenciamento de patente ou outra forma monetizada que seja possível (OECD, 2004).

Os autores iniciais do conceito de SNI o desenvolveram com a finalidade de identificar as diferenças que levavam os países a terem resultados tão díspares na geração de inovação, com base nas diferenças políticas e culturais e trajetórias históricas de cada país. Mas, para Maculan (2010) “o uso do conceito, que tem um forte conteúdo normativo, tende a deixar de lado essa percepção inicial” (p. 168). A autora identifica que nos países do norte, o conceito é dado *ex-post* a partir da combinação de elementos descritivos e normativos que representam um sistema já existente, enquanto no sul o conceito foi adotado *ex-ante* e passou a ter uma essência normativa e identificar um sistema a ser construído pelos *policy-makers*.

O modelo sistêmico utilizado na abordagem de SNI é aceito amplamente, no que Cavalcante (2013) chamou de consenso difuso na sociedade brasileira. Contudo, o autor, ao analisar o trabalho de Lundvall ressalta que o modelo sistêmico é essencialmente analítico e de difícil aplicação prática.

2.1.6 Sistemas Setoriais de Inovação

Em 1984, Pavitt buscando descrever e explicar as trajetórias setoriais da mudança tecnológica propôs uma taxonomia setorial que influenciou fortemente os estudos de economia industrial e que é considerada uma das bases dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSI). A proposta do autor é classificar os setores industriais de acordo com os padrões tecnológicos prevalentes e as estruturas inovativas em três categorias: (i) dominados pelos fornecedores; (ii) intensivos em produção; e (iii) baseados em ciência (PAVITT, 1984).

Na análise dos padrões setoriais de inovação, o autor identificou três grupos básicos de variáveis explicativas: as fontes de tecnologias (P&D próprio ou contratado ou usuários); as necessidades dos usuários (preços, desempenho ou confiabilidade) e os meios de apropriação (segredos industriais ou patentes). Inicialmente, duas características gerais se destacaram: (i) o conhecimento técnico, em geral, é específico; e (ii) cada setor apresenta certa regularidade no que diz respeito à origem do conhecimento utilizado, aos esforços de P&D e à concentração em inovações de produto ou de processo.

Nos SNIs, as fronteiras nacionais identificam os atores que compartilham cultura, história, linguagem, instituições sociais e políticas comuns (ANDERSEN; LUNDEVALL, 1987). Já no SSI a dinâmica e suas fronteiras são definidas por características específicas das tecnologias (BRESCHI; MALERBA, 1997). A teoria sobre Sistemas Nacionais e Setoriais de inovação têm vários pontos em comum. Porém, desde a análise empírica de Pavitt, diversos autores têm constatado que os padrões tecnológicos afetam a dinâmica de inovação. Apesar dos fatores como cultura, história, linguagem, instituições sociais e políticas serem diferentes, para alguns setores a dinâmica inovativa é relativamente similar entre países, como no caso do setor automotivo (BRESCHI; MALERBA, 1997; MALERBA, 1999, 2002; PAVITT, 1984).

Os elementos básicos de um Sistema Setorial são: produtos; agentes; conhecimento e processos de aprendizagem; tecnologias básicas, insumos, demanda, e as conexões relacionadas e complementariedades; mecanismos de interações tanto entre firmas quanto fora da firmas; processos de competição e seleção; e instituições (MALERBA, 2002). São as relações estabelecidas no SSI que determinam como este funciona. As competências e as estratégias das empresas de um setor são influenciadas pela base de conhecimento existente e os modos de aprendizagem afetos a cada setor tecnológico. As experiências e competências adquiridas passam então a retroalimentar o SSI, pois a partir desta base de conhecimento a empresa passa a selecionar as tecnologias, avaliar se a demanda dos compradores é factível e qual o potencial de aprendizagem mútuo com fornecedores e usuários (MALERBA, 1999).

A cumulatividade da tecnologia é um dos elos do SSI com a questão locacional. Quando as condições de apropriabilidade são baixas e existem fontes de conhecimento numa determinada região, existe a tendência de concentração geográfica (MALERBA, 2002; PAVITT, 1984). As instituições também são um fator locacional: “alguns sistemas setoriais tornam-se predominantes num país devido às instituições existentes neste país que criam um ambiente mais favorável para determinados tipos de setores e não para outros” (MALERBA, 2002, p. 257). É frequente que SSIs sejam concentrados geograficamente, como no setor de maquinário, onde o conhecimento específico e não codificado (tácito) são relevantes. Em setores com grande disponibilidade de conhecimento codificável, existe a possibilidade de uma maior dispersão geográfica. Setores tradicionais, sem conhecimentos específicos necessários e com baixo grau de oportunidade também seriam propensos a apresentar uma maior dispersão geográfica (BRESCHI; MALERBA, 1997).

2.1.7 Sistema de Inovação Tecnológica (SIT)

Com diversos conceitos similares aos Sistemas Setoriais de Inovação, a abordagem de Sistemas de Inovação Tecnológica foi desenvolvida por Carlsson e Stankiewicz e trata do SI que se relaciona com o desenvolvimento de uma tecnologia ou produto específico. Carlsson *et al.* (2002, p.10) definem o SIT como “um conjunto de ‘redes de conhecimento e competência’ que, estimuladas pela atividade inovativa podem ser transformadas em ‘blocos de desenvolvimento’, ou ‘clusters sinérgicos de empresas e tecnologias numa indústria ou num grupo de indústrias’”.

Os autores propõem três dimensões estruturais para análise do SIT (BERGER, 2010):

- Dimensão Tecnológica ou Cognitiva: são os espaços de desenvolvimento formados por clusters de capacidades técnicas complementares, onde o desenvolvimento tecnológico ocorre a partir da combinação de capacidades e aplicações novas e antigas.
- Dimensão Organizacional e Institucional: representada pela rede de atores que formam e transformam o espaço de desenvolvimento e que são influenciados por políticas e instituições que regulam como o ambiente tecno-econômico evolui.
- Dimensão Econômica: são os “blocos de competência”, que representam o conjunto de atores que convertem as possibilidades tecnológicas em

oportunidades de negócios e os exploram nas atividades econômicas. Um espaço de desenvolvimento pode disponibilizar tecnologias para diversos blocos de competência.

“A confrontação entre as possibilidades tecnológicas e o mercado ocorre em um ambiente amplamente determinado por atores, redes e instituições do sistema” (Carlsson et al. 2002, p. 16). O desenvolvimento da inovação depende de como os espaços de desenvolvimento (dimensão tecnológica) e os blocos de competência (dimensão econômica) são hábeis para integrar e tratar as tensões com a dinâmica do sistema de inovação.

O SIT tem uma visão sistêmica, enfatizando o papel crítico da interação, colaboração e reciprocidade entre empresas, fornecedores, clientes e outros agentes participando do processo de inovação. Um SIT pode ser um subsistema de um Sistema Setorial, quando o foco é o produto de um setor ou um campo de conhecimento que é exclusivo do setor (BERGEK et al., 2008). Porém, ao tomar uma tecnologia específica como ponto de partida, o SIT usualmente elimina tanto as fronteiras geográficas quanto setoriais - Figura 2. No desenvolvimento de uma tecnologia específica há a dependência de vários setores, P. ex.: o etanol depende do setor metalomecânico para desenvolver os equipamentos e também do setor de biotecnologia para desenvolver enzimas e outros microorganismos. Os diversos SNIs também se relacionam, já que diversos conhecimentos são desenvolvidos em países diferentes e unidos num projeto industrial. A difusão da tecnologia, bem como seu preço também são fortemente influenciados por diferentes políticas postas em práticas pelos países.

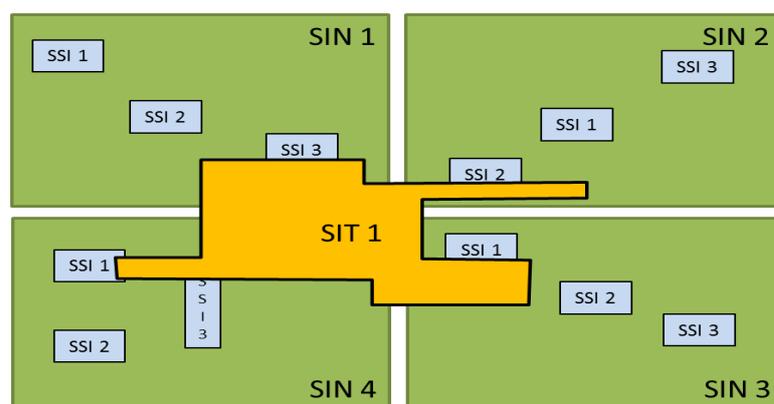


Figura 2 - Fronteiras da interação entre Sistemas de Inovação Nacionais, Setoriais e Tecnológicos

Fonte: (HEKKERT et al., 2007, p. 417)

Uma vantagem do SIT é que ao abordar o SI ao nível tecnológico e não no nível nacional, setorial ou regional, facilita a tarefa de compreensão da dinâmica da inovação, já que há uma redução do escopo de análise dos agentes, redes e instituições. Para Hekkert e Negro (2009), esta redução facilita um exame sobre quais os componentes do SIT estão suportando uma tecnologia emergente e reforçando os agentes, instituições e redes ao redor deste.

2.1.7.1 Funções do Sistema de Inovação Tecnológica

Hekkert et al. (2007) consideram que as abordagens sistêmicas em uso apresentam dois problemas para o entendimento da mudança tecnológica. i) Apesar da teoria ser baseada em estudos sobre aprendizagem interativa e economia evolucionária, a maioria das análises são quase-estáticas. O foco é na comparação da estrutura social de diferentes sistemas de inovação (atores, seus relacionamentos, e instituições) e a partir daí explicar as diferenças de performance. É dada pouca ênfase na análise da dinâmica do sistema de inovação. ii) Os autores destacam ainda que o poder explicativo está principalmente nas instituições (nível macro) e menos na ação do empreendedor (nível micro). A partir deste diagnóstico, os autores propõem que para avaliar a mudança tecnológica é necessário utilizar um recorte mais preciso, que eles denominam de *Technology Specific Innovation System (TSIS)*. No TSIS são incluídos todos os agentes e tecnologias que são específicos da tecnologia estudada. O recorte envolve agentes de diferentes países e inclui sistemas setoriais diversos, dependendo da tecnologia utilizada. O propósito seria o de reduzir o número de agentes e relações, se comparado com os sistemas nacionais, muito mais amplos e complexos de se mapear.

Partindo de um delineamento mais estreito do sistema de inovação a ser estudado, os autores identificam nos estudos sobre inovação quais são as principais atividades relacionadas ao sucesso dos sistemas de inovação e como eles podem ser traduzidos em funções de inovação. As funções são relacionadas com as atividades essenciais para o sucesso do sistema de inovação. A análise das funções ativas ou não dentro do sistema é realizada a partir de um mapeamento extensivo dos eventos que estão ocorrendo dentro do SI e alterando sua configuração. As Funções dos Sistemas de Inovação (FSI) propostas por Hekkert et al. (2007) estão relacionadas a seguir e a Tabela 1 apresenta uma lista de indicadores propostos para avaliação de cada função.

1. Atividades Empreendedoras (FSI1): São os empresários que ligam o conhecimento às oportunidades de mercado, sendo centrais para inovação. A atividade envolve a capacidade de assumir riscos e o “learning by experimentation”. Os empreendedores podem ser novos entrantes, ou empresas existentes que diversificam sua estratégia para tirar vantagem de novos desenvolvimentos.
2. Desenvolvimento de Conhecimentos (FSI2): é diretamente relacionado com o “learning by searching” e “learning by doing” e está relacionado com as atividades de P&D. Hekkert et al. propõem tal função a partir dos estudos de Lundvall (1992), que afirma que “o mais fundamental recurso na economia moderna é o conhecimento e conseqüentemente o mais importante processo a aprendizagem”. O desenvolvimento de conhecimentos é um pré-requisito para o SI.
3. Difusão do conhecimento por meio de redes (FSI3): função que ocorre numa rede de atores que estão constantemente trocando experiências e que incorpora o “learning by interacting” e o “learning by using”. As decisões políticas devem ser consistentes com os últimos desenvolvimentos tecnológicos e a agendas de P&D afetadas pelas normas e valores. Essa função tem o objetivo de identificar como os fluxos de conhecimento se movimentam dentro do SI.
4. Direcionamento da Pesquisa (FSI4): relaciona-se com a definição de metas políticas e a definição de uma agenda de pesquisa que seleciona a melhor tecnologia entre as opções disponíveis. Também está relacionada com decisões políticas, tais como, qual será o percentual de energia renovável a ser utilizada no futuro, etc. No sucesso de um SI, a gestão eficiente dos recursos é considerada fundamental. Essa função também está relacionada com o fato da mudança tecnológica não ser autônoma; ela está imersa num ambiente institucional e político.
5. Formação de Mercado (FSI5): relaciona-se com a criação temporária de nichos de mercado, permitindo novas tecnologias inserirem-se no ambiente de negócios. Também pode ser realizada por meio da criação de uma vantagem competitiva temporária utilizando-se de regimes de impostos e taxas favoráveis ou cotas de consumo mínimas. Esta é uma tarefa relacionada principalmente com o papel do Governo.
6. Mobilização de Recursos (FSI6): relaciona-se com recursos humanos e financeiros alocados para o desenvolvimento de um produto ou tecnologia ao longo do tempo. Os recursos são tanto de origem privada como pública e preferencialmente devem se complementar, visando ampliar as sinergias entre eles.

7. Criação de Legitimidade (FSI7): tem a função de vencer a resistência à mudança. Pode ser executada por “advocacy coalitions” ou grupos que defendem a nova tecnologia.

| Funções | Exemplos de indicadores | Categorias de eventos (pos/neg) |
|---|--|--|
| <u>Atividades Empreendedoras</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Projetos experimentais - Introdução de novos produtos - Novos negócios | <ul style="list-style-type: none"> - Projetos (iniciaram/pararam) - Empresas fornecendo tecnologia <i>turn-key</i> - Falta de fornecedores |
| <u>Desenvolvimento de Conhecimentos</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Publicações científicas - Aplicação da tecnologia (<i>learning-by-using</i>) - Curvas de Aprendizagem (custo de desenvolvimento) - Projetos de P&D - Patentes | <ul style="list-style-type: none"> - Estudos de viabilidade - Relatórios - Projetos de P&D - Patentes |
| <u>Difusão do conhecimento</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Estratégias de colaboração - Projetos de demonstração - Redes de conhecimento e experiência - Conferências e reuniões de debate - Organizações de interesse (industrial, ambiental etc.) | <ul style="list-style-type: none"> - Conferências - Workshops - Plataformas |
| <u>Direcionamento da Pesquisa</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Planos de ação política - Estratégias compartilhadas e roadmaps - Atividades de debate | <ul style="list-style-type: none"> - Expectativas sobre energias renováveis (pos/neg) - Regulação pelo governo sobre energias renováveis (pos/neg) |
| <u>Formação de Mercado</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicação no mercado e quotas de mercado - Apoio ao mercado público - Mercado de nicho - Padrões e certificações - Comércio e exportações - Impactos ambientais | <ul style="list-style-type: none"> - Tarifas <i>Feed-in</i>, padrões ambientais e etiquetagem verde - Ausência de tarifas <i>Feed-in</i>, padrões ambientais ou etiquetagem verde |
| <u>Mobilização de Recursos</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Recursos para P&D - Investimentos - Pessoal em P&D/empregos em geral | <ul style="list-style-type: none"> - Subsídios - Investimentos |
| <u>Criação de Legitimidade</u> | <ul style="list-style-type: none"> - Opinião pública - Aceitação regulatória e integração | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Lobby</i> por agentes para melhorar as condições técnicas, institucionais e financeiras - Ausência de agentes de <i>lobby</i> - <i>Lobby</i> por outras tecnologias que competem com uma tecnologia particular - Resistência à mudança |

Tabela 1 - Indicadores das Funções de Inovação

Fonte: (BORUP et al., 2013)

Um fator importante é que as funções influenciam uma à outra. O cumprimento de uma determinada função provavelmente tem efeitos sobre o cumprimento de outras funções. Estas múltiplas interações são não-lineares e podem afetar positiva ou negativamente o sistema. Na Figura 3, Hekkert et al. (2007) apresentam três mudanças típicas do SIT e como elas ocorreriam. Um gatilho comum para ciclos virtuosos é o direcionamento da pesquisa (C), que levaria ao aumento de recursos investidos, levando à criação de conhecimento, sua posterior difusão e ao aumento de expectativas, que geraria aumento da atividade empresarial, fortalecendo a legitimação e a formação de mercado. Estas interações se reforçariam ao longo do tempo, fortalecendo o Sistema. Outro possível início para um ciclo virtuoso seria os empreendedores realizarem *lobby* por melhores condições econômicas (FSI de Legitimidade), que poderia resultar em aumento de expectativas (B).

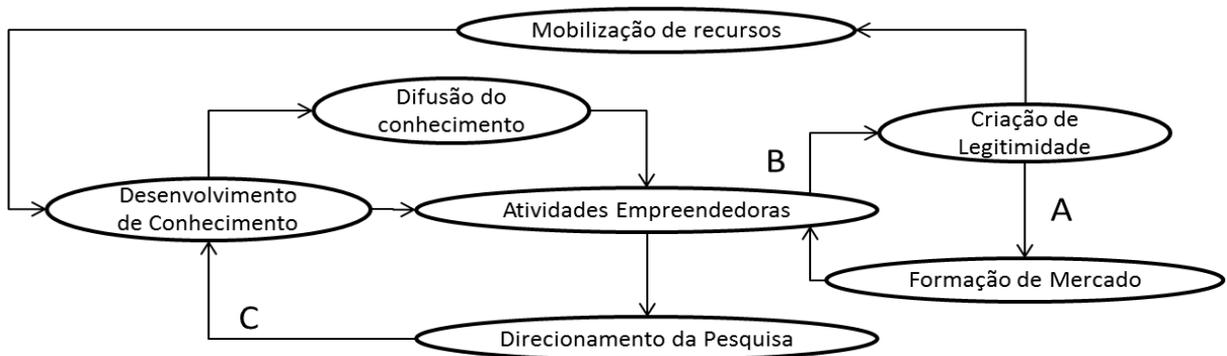


Figura 3 - Três mudanças típicas do SIT

Fonte: (HEKKERT et al., 2007, p. 426)

A análise funcional da inovação é um *framework* conceitual em formação, com diferentes trabalhos sugerindo listas diferentes de funções de inovação. A Tabela 2 apresenta alguns destes trabalhos, com destaque para o foco do estudo e as possíveis diferenças na lista de funções. Os autores utilizando o *framework* de FSI consideram que um SIT é bem sucedido quando todos os principais componentes estão presentes, sendo importante destacar que as FSIs são complementares entre si e altamente interdependentes. A carência de uma das funções pode ser um ponto de bloqueio do SIT e é a partir deste ponto que se identificam as áreas que necessitam ser melhor desenvolvidas. Ter uma FSI forte não é suficiente para o desenvolvimento do SIT, é necessário que todas FSIs trabalhem em conjunto para gerar resultados adequados.

| Autores | Assunto | Funções de Inovação |
|------------------------------------|---|--|
| (JACOBSSON; BERGEK, 2004) | Avaliação sobre o debate político, o desenvolvimento e a difusão de tecnologias para energias renováveis na Alemanha, Suécia e Holanda. | Primeiro trabalho que usa as funções de inovação de uma maneira sistematizada |
| (HEKKERT; HARMSSEN; DE JONG, 2007) | Explicar o sucesso da difusão da tecnologia de cogeração na Holanda. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) |
| (NEGRO, 2007) | Digestão da biomassa na Holanda e comparação com a Alemanha. Gaseificação da biomassa na Holanda. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) |
| (BERGEK et al., 2008) | Apresenta as funções de inovação como um esquema de análise que pode ser utilizado por pesquisadores, bem como policy makers, para analisar sistemas de inovação específicos, a fim de identificar as questões-chave e definir metas políticas. | Desenvolvimento e Difusão de conhecimento se tornaram uma única função + Desenvolvimento de externalidades positivas |
| (JACOBSSON, 2008) | Emergência e os problemas de crescimento do Sistema de inovação para produção de energia usando biomassa na Suécia. | Mesmas funções de Bergek et al. (2008a) |
| (BERGEK; JACOBSSON; SANDÉN, 2008) | <i>Framework</i> para a análise da dinâmica TISS em termos de crescimento estrutural. | Mesmas funções de Bergek et al. (2008a) +Materialização |
| (HILLMAN et al., 2008) | Trajetórias de inovação dos biocombustíveis na Holanda e na Suécia. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) |
| (DUNHAM, 2009) | Co-evolução da mudança tecnológica e institucional em sistemas de inovação: análise histórica da indústria de álcool combustível no Brasil. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) + Relacionamento com fornecedores |
| (SUURS; HEKKERT, 2009) | Desenvolvimento simultâneo da primeira e segunda geração de biocombustíveis na Holanda. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) |
| (PRAETORIUS et al., 2010) | Desenvolvimento da micro geração na Holanda e Reino Unido. | Mesmas funções de Bergek et al. (2008a) |
| (BERGER, 2010) | Dinâmica de inovação do etanol no Brasil e EUA. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) + Construção de capacidades no mercado <i>downstream</i> |
| (JACOBSSON; BERGEK, 2011) | Demonstrar que as FSIs podem identificar um conjunto diversificado de deficiências do sistema no campo da inovação ambiental e identificar cinco locais para futuras pesquisas que podem ajudar a reforçar o <i>framework</i> . | Mesmas funções de Bergek et al. (2008a) |
| (ALKEMADE; SUURS, 2012) | Análise da dinâmica expectativa de três tecnologias emergentes no campo da mobilidade sustentável na Holanda: biocombustíveis, hidrogênio e gás natural como combustível para os transportes. | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) |
| (DEL RÍO; BLEDA, 2012) | Avaliação comparativa dos efeitos dos instrumentos de inovação que apoiam a difusão de tecnologias de eletricidade renovável. | Desenvolvimento e Difusão de conhecimento se tornaram uma única função |
| (VERGES, 2013) | Transição do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro | Mesmas funções de Hekkert et al. (2007) + Relacionamento com fornecedores |

Tabela 2 – Trabalhos utilizando Funções de Inovação

Fonte: Elaboração própria

2.1.8 Sistemas de Inovação X Setor de Energia

No desenvolvimento de Schumpeter, bem como da quase totalidade dos teóricos sobre inovação, a seleção do produto ou serviço mais adequado é um processo que ocorre conduzido pelo mercado. Contudo, o setor energético possui uma série de características que necessitam ser levadas em consideração ao se utilizar as teorias sobre inovação. Primeiro, o cliente não possui escolha em vários segmentos. Se uma pessoa mora numa determinada região, ela será atendida pela distribuidora X de energia elétrica, cujo segmento normalmente considerado pelos economistas como um monopólio natural. Na maior parte dos países o cliente também não escolhe quem gera sua energia elétrica, é a distribuidora ou agência regulamentadora que faz isso. No segmento de combustíveis fato similar ocorre. No Brasil é proibido que veículos leves usem diesel, sendo possível que o motorista escolha entre o etanol hidratado e a gasolina, mas esta é uma característica de poucos países.

Segundo, o mercado de energia é bastante regulado, mesmo em países com tradição econômica de pouca interferência de mercado, como os EUA, existem regras estreitas sobre as características do produto, quem pode produzir, em quais circunstâncias, quem pode distribuir etc. Em alguns casos, como no setor elétrico no Brasil, inclusive as tarifas a serem cobradas são supervisionadas pelas agência reguladora.

Terceiro, as intervenções no mercado de energia por parte dos governos têm sido constantes e muitas vezes perniciosas. No Brasil, entre 2010 e 2014, o governo manteve o preço da gasolina no mercado interno menor que o preço internacional, com o objetivo de controlar a inflação. Isso causou uma redução da competitividade do etanol hidratado frente à gasolina e reduziu a rentabilidade do setor. Houve, também, intervenções recentes nas tarifas de energia elétrica no Brasil. Globalmente, a Agência Internacional de Energia (IEA, 2013) estima que os subsídios governamentais aos combustíveis fósseis aumentaram de US\$ 311 bilhões, em 2009, para US\$ 544 bilhões, em 2012.

Novas tecnologias no setor energético, normalmente, competem com tecnologias já bem estabelecidas, com custos baixos e ampla base instalada, de maneira que o maior problema a ser enfrentado pelas inovações no setor é o de atingir a escala necessária. No setor de energia é necessário que o SI leve em conta o suprimento de tecnologia, mas também a criação de demanda para este tipo de tecnologia e elementos organizacionais que sejam propriamente alinhados para ligar os dois (PETERS et al., 2012; WEISS; BONVILLIAN, 2009; YE; PAULSON; KHANNA, 2014).

Weiss e Bonvillian (2009) consideram a necessidade de usar ferramentas dos múltiplos modelos de inovação, tendo em vista as características do setor energético. Apesar de compartilharem as críticas ao modelo linear, os autores consideram que várias inovações disruptivas ocorridas nos EUA seguem esse modelo, citando exemplos como a Energia Nuclear, a Internet e outras como frutos diretos do massivo investimento em P&D e que nesses casos a escolha pelo mercado teve relativamente pouco papel. Consideram ainda que em determinadas etapas, o modelo linear facilita a compreensão e o desenvolvimento de políticas.

Trabalhando com dados de inovação para o setor fotovoltaico, Peters et al. (2012) concluem que a criação de demanda gera benefícios para geração de inovação para firmas do país, mas também para firmas de outras nacionalidades. Este fato é visto pelos autores como um possível óbice para os *policymakers* trabalharem com políticas de geração de demanda. Seus resultados também apontam para o fato das políticas *technology-push* resultarem em inovação nacionalmente, com pouco transbordamento para outros países. Considerando que é necessário ter tanto políticas *technology-push* quanto *demand-pull* para acelerar o desenvolvimento da inovação, os autores avaliam que dado o fato das políticas *demand-pull* gerarem transbordamentos para outros países, a melhor maneira de resolver tal dilema seria a criação de políticas transnacionais de criação de demanda de maneira coordenada.

2.1.9 O SNI no Brasil

2.1.9.1 Histórico do SNI no Brasil

A institucionalização da pesquisa no Brasil teve como marcos fundamentais a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) em 1951, ambos criados para organizar e proverem recursos para pesquisa e graduação. Koeller e Cassiolato (2011) consideram que na década de 70, as duas instituições eram centrais no Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia. A política industrial iniciada na década de 50, de substituição das importações, baseada em investimento externo e importação de tecnologia, influenciava fortemente a C&T (VIOTTI, 2008). O foco era a promoção da infraestrutura e de atividades de P&D, criação e fortalecimento de universidades e instituições de pesquisa, e formação de recursos humanos para P&D. “Com respeito ao desenvolvimento tecnológico, a principal mensagem política era a necessidade de incrementar a absorção de tecnologia estrangeira” (KOELLER; CASSIOLATO, 2011, p. 39).

Em 1973, foi lançado o Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PBDCT, coordenado pelo CNPq, em consonância com o Plano Nacional de Desenvolvimento que incorporou explicitamente a política nacional de C&T como parte integrante da política de desenvolvimento. Houve outras duas edições do PBDCT coordenadas pelo CNPq até a criação do Ministério da Ciência e Tecnologia (atualmente, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI), em 1985. Para Vermulm e Paula (2006), “

Fundamentalmente, a política [de C&T do período do II PND] se voltava mais intensamente à formação de recursos humanos de elevada qualificação e às instituições de pesquisa, o que levou à significativa expansão dos cursos de pós-graduação. O pressuposto era de que o baixo desenvolvimento tecnológico nacional decorria de uma deficiente infraestrutura científica e tecnológica. Daí a prioridade em apoiar instituições de pesquisa e de formação de recursos humanos em nível de pós-graduação.

O modelo linear de inovação dominava a estratégia governamental. O I Plano de Desenvolvimento Nacional da Nova República (1986-89) reconheceu que até aquele momento a oferta de tecnologia tinha sido frequentemente baseada em critérios acadêmicos, sem considerações significativas às necessidades da base industrial e do mercado (DAHLMAN; FRISCHTAK, 1993). Foi lançado então o ‘Programa de Inovação Tecnológica’ no âmbito do CNPq.

O moderno SNI brasileiro, já com uma preocupação em envolver o setor produtivo no processo, começou a ser delineado na década de 1990. A Lei nº 8.661/1993 estabeleceu condições para a concessão de incentivos fiscais às atividades de P&D. O primeiro fundo setorial, o CT-Petro foi criado em 1997, após a criação da Lei do Petróleo. Outros 12 Fundos Setoriais foram criados entre 2000 e 2001, cujo objetivo, Cavalcante (2003) considera que seja o de “criar condições mais estáveis de financiamento público às atividades de CT&I e de destinar um maior volume de recursos para as atividades de P&D desenvolvidas pelo setor produtivo” (p.11).

Em 2004 foi promulgada a Lei de Inovação - Lei nº 10.973/2004, cujo principal objetivo foi a intensificação do relacionamento entre o setor produtivo, os centros de pesquisa e as universidades. Foi regulamentada a prestação de serviços tecnológicos; permitida a subvenção de projetos de P&D conduzidos por empresas e tratada a questão de transferência tecnológica e Propriedade Intelectual (PI) nas universidades. O principal desafio seria superar um equívoco cultural brasileiro que incumbiu somente às universidades toda a responsabilidade pelo desenvolvimento científico e tecnológico do país, enquanto aos setores

de produção caberia apenas incorporar e usufruir do conhecimento produzido (VETTORATO, 2008).

Já no ano seguinte foi promulgada a Lei nº 11.196/2005, que se tornou conhecida como Lei do Bem, que complementa e expande benefícios da Lei da Inovação. O objetivo da lei é estimular as empresas a desenvolverem internamente atividades de pesquisa tecnológica e desenvolvimento de inovação tecnológica quer na concepção de novos produtos e/ou na agregação de novas funcionalidades ou características ao produto ou processo. Esse é o principal instrumento atualmente em uso pelas empresas brasileiras envolvidas em atividades de PD&I.

Em 2010 a Lei nº 12.349/2010 altera a legislação sobre compras governamentais e estabelece que poderá ser estabelecida margem de preferência para os produtos manufaturados e serviços nacionais resultantes de desenvolvimento e inovação tecnológica realizados no País. Além das mudanças recentes na legislação, as instituições de apoio à inovação têm reorientado a sua ação e buscado utilizar instrumentos que possibilitem maior interação com o setor privado.

2.1.9.2 Avaliação do SNI no Brasil

Os fundos setoriais, criados a partir de 1999, são considerados por Cassiolato (2008) como indicação de que a inovação tornou-se uma prioridade política no Brasil. Mas, o IEDI (2005) relativiza a importância dos fundos para inovação, já que os mesmos “foram direcionados majoritariamente para atividades de recomposição da infraestrutura de pesquisa pública e para projetos de pesquisa acadêmicos sem um claro nexos com prioridades setoriais ou do País”.

Diversos autores (CASSIOLATO, 2008; CAVALCANTE, 2013; DE NEGRI; CAVALCANTE, 2013; DE NEGRI, 2012; KOELLER; CASSIOLATO, 2011; SCHWARTZMAN, 2008; VIOTTI, 2003, 2008) consideram que o Brasil não conseguiu promover o desenvolvimento tecnológico conectado com as necessidades das empresas, a não ser em algumas exceções. O aumento de recursos para P&D no Brasil, desde o início da década de 1990, tem apresentado como principal resultado o aumento significativo de publicações científicas. A publicação de artigos científicos em periódicos indexados na base SCOPUS mostra essa evolução. Tem sido comum utilizar esse dado como um indicador da produção científica e neste caso teríamos o Brasil evoluindo rapidamente. Contudo, existem algumas considerações quanto a esse indicador: 34,97% das publicações brasileiras realizadas

em 2012 e indexadas pela SCOPUS foram nas áreas de ciências biológicas e agrárias; e medicina. As publicações brasileiras corresponderam a 18,2% das publicações mundiais na área de odontologia e 13,6% na área de veterinária (BRASIL, 2014). Somente a publicação não é suficiente, é necessário avaliar o impacto do artigo. Atualmente, o número de publicações em áreas de “ponta”, que representem um avanço na ciência é considerado escasso.

Se o aumento de recursos para o SNI conseguiu efetivamente promover um crescimento na quantidade de publicações, esta mesma alocação de recursos não foi suficiente para aumentar o registro de patentes no escritório de patentes dos Estados Unidos (USPTO) - Figura 4, que é da ordem de 0,1% do total mundial. A medição da inovação é um processo complexo. As patentes são um dos indicadores mais utilizados, tendo como vantagem contar com longas séries históricas. As desvantagens são associadas: (1) às diferenças nas legislações nacionais; (2) às diferenças na propensão a patentear, tanto entre países, quanto entre empresas e setores; e (3) ao fato da maioria das patentes não ter efetivo emprego econômico. Para eliminar o problema das diferenças internacionais, Freeman e Soete (2008) consideram adequado utilizar as patentes registradas nos Estados Unidos, que colocaria todos os países em igualdade, com exceção dos EUA. A desproporção em relação aos pedidos e concessões de patentes do Brasil em comparação com outros países em desenvolvimento, como a Índia e China pode ser vista na Tabela 3.

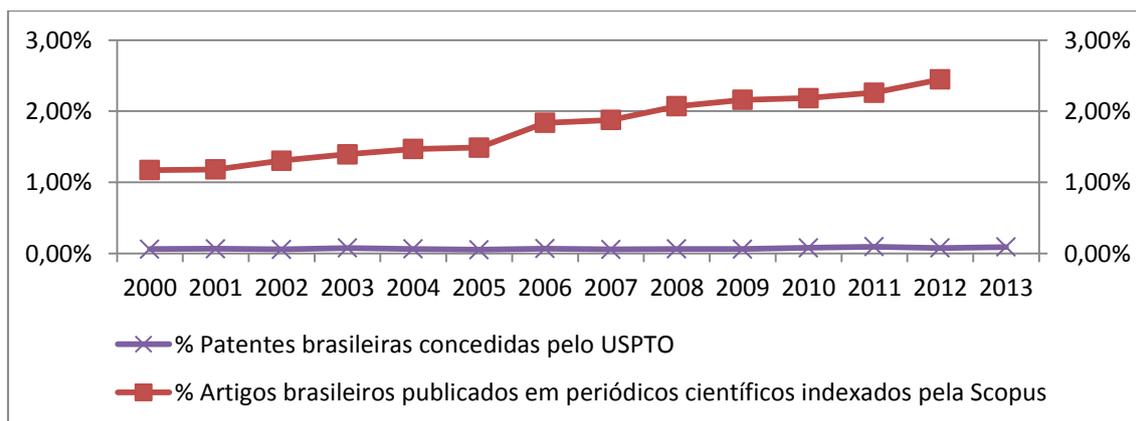


Figura 4 - Publicações Científicas e Patentes brasileiras

Fonte: Artigos brasileiros (BRASIL, 2014a) e Patentes no USPTO (USPTO, 2014)

2.1.9.3 Principais motivações do baixo grau de inovação no Brasil

2.1.9.4 Dificuldade do modelo institucional

No final dos anos 1990, Viotti (2008) considera que a inovação já seria um objetivo explícito das políticas de C&T, mas que o “discurso da política foi, no entanto, muito mais fácil do que sua efetiva introdução na prática da política” (p. 148). O modelo linear ainda predominaria na comunidade acadêmica, que exerce enorme influência no processo de formulação da política de C&T brasileira. Dagnino (2007) é outro autor que considera que a influência dos acadêmicos na formulação da política de C&T é corporativista e direciona os recursos para realização de pesquisas de interesse da comunidade científica. O enorme número de acadêmicos em cargos de direção no CNPq, CAPES, FINEP e MCTI traz um viés academicista no direcionamento dos recursos.

| Anos | Brasil | | China | | Índia | | Coréia do Sul | |
|------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------------|------------|
| | Pedidos | Concessões | Pedidos | Concessões | Pedidos | Concessões | Pedidos | Concessões |
| 2005 | 295 | 77 | 2.127 | 402 | 1.463 | 384 | 17.217 | 4.352 |
| 2006 | 341 | 121 | 3.768 | 661 | 1.923 | 481 | 21.685 | 5.908 |
| 2007 | 375 | 90 | 3.903 | 772 | 2.387 | 546 | 22.976 | 6.295 |
| 2008 | 442 | 101 | 4.455 | 1.225 | 2.879 | 634 | 23.584 | 7.548 |
| 2009 | 464 | 103 | 6.879 | 1.655 | 3.110 | 679 | 23.950 | 8.762 |
| 2010 | 568 | 175 | 8.162 | 2.657 | 3.789 | 1.098 | 26.040 | 11.671 |
| 2011 | 586 | 215 | 10.545 | 3.174 | 4.548 | 1.234 | 27.289 | 12.262 |
| 2012 | 679 | 196 | 13.272 | 4.637 | 5.664 | 1.691 | 29.481 | 13.233 |
| 2013 | | 254 | | 5.928 | | 2.424 | | 14.548 |

Tabela 3 - Pedidos e concessões de patentes de invenção junto ao escritório norte-americano de patentes (USPTO), países selecionados 2005-2012.

Fonte: (USPTO, 2014) países selecionados

Brasil (2009) considera que um dos problemas relativos aos fundos setoriais é a histórica atuação em paralelo entre Finep e CNPq; e a “falta de coordenação das várias intuições públicas (CNPq, Finep, BNDES, ABDI, INPI etc) envolvidas na política de CT&I no Brasil” (p.359), além da superposição de funções dessas agências no fomento à CT&I. Rapini (2007) ao analisar a interação universidade empresa no Brasil, a partir do diretório dos grupos de pesquisa do CNPq, identifica que existem algumas evidências acerca da articulação recente entre universidades e empresas. Mas, há predominância “dos fluxos de conhecimentos e serviços oriundos dos grupos de pesquisa para as empresas, sendo os mesmos voltados para

atividades rotineiras, de pouca complexidade e sofisticação” (p. 228) (consultoria técnica, engenharia não-rotineira e treinamento de pessoal).

Atualmente, há um discurso político para a estruturação de um modelo sistêmico, envolvendo diferentes agências de fomentos, esquemas de financiamento privilegiado e benefícios fiscais previstos em marcos legais tais como a lei de inovação, lei do bem, lei Rouanet da Inovação, lei de informática, e a lei que alterou a legislação sobre compras governamentais no país. Cavalcante (2013) considera que após todas estas iniciativas, “os instrumentos de apoio à inovação no setor produtivo no Brasil podem ser considerados modernos e semelhantes àqueles adotados nos países desenvolvidos” (p.11). Contudo, “o avanço observado no marco legal não se refletiu, na mesma proporção, no crescimento dos esforços tecnológicos do setor produtivo no país” (p. 12). A hipótese explorada pelo autor é que os obstáculos não estão na natureza intrínseca dos instrumentos, mas em seu descolamento da estrutura institucional que os operacionaliza.

Schwartzman (2008), atribui parte da dificuldade em tornar a ciência brasileira mais efetiva ao próprio sucesso do sistema de pós-graduação e pesquisa que foi implantado no país pela CAPES e pelo CNPq. O autor considera que as agências de pesquisa tendem a trabalhar com dotações que são concedidas projeto a projeto, gerando um ambiente competitivo que beneficia cientistas com qualificações científicas de peso, mas dificulta a coordenação sistêmica do desenvolvimento tecnológico e é pouco ligado às necessidades das empresas. Atualmente, o CNPq é vinculado ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), que deveria traçar a estratégia nacional a ser seguida pelas agências, mas Schwartzman (2008) considera que isto nunca ocorreu e que o MCTI não foi capaz de coordenar as atividades de pesquisa no país e vinculá-la ao sistema produtivo. O CNPq e outras agências ainda teriam grande autonomia e seguiriam conduzindo as ações conforme suas rotinas e critérios próprios. As agências utilizam critérios de avaliação que tendem a incentivar a publicação de artigos em periódicos (DE NEGRI; CAVALCANTE, 2013).

Além do volume de recursos estar aquém das necessidades e, em grande parte, desvinculado de um critério racional de prioridades, a marca do modelo de gastos federais hoje em dia é a quase total desarticulação entre os financiadores principais. Com a exceção do CNPq e da Capes, que costumam entender-se, pelo menos quanto à distribuição de bolsas de mestrado e doutorado, em nada mais se percebe articulação (GUIMARÃES, 2004, p.380). Será visto mais adiante que há uma significativa mudança em curso quanto a este aspecto. Em 2011 o BNDES e a FINEP lançaram o PAISS – Plano de Apoio ao Setor Sucroenergético, que iniciou um novo modelo conjunto das operações de apoio à inovação. Em 2013, foram

lançados o Inova Energia, o Inova Petro, o Inova Saúde, o Inova Sustentabilidade e o Inova Telecom, que são novos modelos de atuação conjunta. Estas iniciativas têm como característica incluírem agências de fomento e instituições diversas em ações organizadas e concatenadas de acordo com o setor apoiado, e serão objeto de análise posterior.

2.1.9.4.1 Dificuldade de alocação de recursos no setor produtivo

Em análise realizada em 2009, dos 13.433 projetos que haviam sido aprovados no âmbito dos fundos setoriais De Negri et al. (2009) constataram que somente 1.831 (13,6%) tiveram participação de empresas. Analisando o CT-Info no período de 2002 a 2007, Kubota; Nogueira e Milani (2012) identificaram apenas 99 empresas atendidas pelo fundo.

Para Cavalvante (2013) o problema reside na falta de incentivos para se alocar recursos nas empresas, a alocação de recursos em universidades e centros de pesquisa públicos teria mais legitimidade social. Os gestores das instituições públicas responsáveis pela alocação de recursos de PD&I enfrentam restrições para concessão de recursos às empresas. Os questionamentos sociais de possíveis favorecimentos são um problema, bem como o baixo entendimento sobre o processo de inovação por parte dos órgãos de fiscalização e a dificuldade dos órgãos de fomento de atenderem às solicitações destes órgãos (SANTOS, 2012). A prática institucional e tradição faz com que seja corriqueira a transferência de recursos para as ICTs. A legislação já é bem compreendida e os procedimentos operacionais definidos, contudo, a alocação de recursos nas empresas tem uma história mais recente e vem enfrentando percalços diversos (VIOTTI, 2008).

Além dos problemas do lado governamental relativos à alocação de recursos nas empresas, existem fatores relacionados às características do setor empresarial brasileiro que afetam a propensão a inovar (CAVALCANTE; DE NEGRI, 2011; CAVALCANTE, 2012, 2013; DE NEGRI, 2012): Estrutura produtiva brasileira, com relativa pouca concentração em setores intensivos em tecnologia; Pouca propensão empresarial ao risco; Baixa exposição das empresas brasileiras à competição internacional; e Elevada participação das multinacionais em setores com maior intensidade de P&D.

Nos Estados Unidos há um sistema privado de financiamento à inovação, baseado nas empresas de *venture capital* que tem sido essencial neste aspecto, contudo esse setor é pouco desenvolvido no Brasil. Somente na última década iniciaram-se mais efetivamente ações de empresas de *venture capital* no Brasil, mas com grande participação das instituições

governamentais de apoio em sua criação. O BNDES e a FINEP têm apoiado e investido em empresas neste segmento, buscando preencher um gap existente no SNI brasileiro.

2.1.9.4.2 Dificuldade de estabelecer prioridades – pulverização de recursos

Avaliando a política industrial em curso, denominada de Plano Brasil Maior, pode ser constatada a dificuldade de estabelecimento de prioridades pelos gestores públicos brasileiros. São elencadas como áreas de ação: Plásticos; Calçados e Artefatos; Têxtil e Confeções; Móveis; Brinquedos; Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos; Serviços de apoio à produção, Bens de Capital; Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC); Química-Petroquímica; Aeronáutica e Espacial; Complexo da Defesa; Complexo Industrial da Saúde, Petróleo e Gás; Bioetanol e Energias Renováveis, Complexo da Saúde; TIC; Complexo da Defesa, Comércio Atacadista e Varejista; Logística e Serviços Pessoais direcionados ao consumo das famílias; e Serviços de apoio à produção (BRASIL, 2014b). Não são somente diversas áreas de conhecimento, como áreas extremamente amplas, como P. ex.: Energias Renováveis.

Na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015 (ENCTI) (BRASIL, 2012) também se observa fato similar, com um grande número de segmentos considerados prioritários e áreas amplas de conhecimento. A partir de dados de De Negri et al. (2009), Cavalcante (2013) calcula em R\$ 335 mil o valor médio dos projetos financiados pelos fundos setoriais. Valor que é considerado pequeno, principalmente nas etapas de criação de plantas piloto e de demonstração. O gap existente entre a escala laboratorial e industrial é um dos principais problemas do SNI brasileiro, pois são extremamente escassos esses tipos de apoio.

2.1.9.4.3 Isomorfismo na formulação de políticas

Cavalcante (2013) considera que as políticas de inovação no Brasil “tenderiam a ser genéricas e a reproduzir prioridades estabelecidas em outros países” (p. 21), num processo que ele chama de “isomorfismo”. Para o autor, a racionalidade limitada, a necessidade de legitimação e os elevados níveis de incerteza tendem a levar os formulares de política a reproduzir modelos em contextos diferentes do brasileiro (CAVALCANTE; FAGUNDES, 2007). Analisando dados da OCDE, o autor avalia que diversos países têm problemas

similares, investindo num número excessivo de áreas e em segmentos que não são aderentes à realidade do país.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho será utilizado o instrumental teórico de FSI, com a lista de funções propostas por Hekkert et al. (2007). Busca-se assim utilizar uma metodologia que contemple a análise de um ambiente sistêmico com múltiplas interações positivas e negativas entre as funções e que permita avaliar a complexidade do SS. Este é um instrumental teórico que tem sido usado para avaliar tecnologias relacionadas com as energias renováveis de forma consistente e que tem sido considerado adequado por focar na dinâmica do sistema. Outro fator em prol do uso da metodologia foi o uso por Dunham (2009) e Berger (2010) para estudar a inovação no setor de etanol no Brasil e nos EUA, fato que permitirá o uso dos estudos já realizados como base para análise histórica.

Quanto à proposta de Dunham (2009) de acrescentar a FSI Relacionamento com fornecedores, neste trabalho se considerou que a mesma seria desnecessária. O relacionamento com os fornecedores é considerado essencial no entendimento da dinâmica da inovação e em especial este fator foi muito relevante na dinâmica de inovação do etanol no Brasil. Contudo, considerou-se que o relacionamento com fornecedores estaria incluso na FSI Difusão do conhecimento por meio de redes, por meio do “learning by interacting” e “learning by using”.

A proposta de Berger (2010) de incluir a FSI Construção de capacidade no mercado *downstream* também foi considerada desnecessária. Foi considerado que a criação de um mercado *downstream* estaria contemplada na FSI Formação de Mercado. Berger justifica a criação da FSI pela importância dos veículos *flex fuel* e da rede de distribuição para a inovação no etanol, contudo, considerou-se neste trabalho que a formação de mercado não contemplaria apenas a formação de nichos, mas sim a criação do mercado até que o mesmo esteja completamente maduro e em condições de competir com a tecnologia dominante (gasolina).

O não uso das FSIs propostas por Dunham (2009) e Berger (2010) visa ao propósito de manter um número reduzido de FSIs, que facilite o estudo e análise do SI. Quanto à união das FSIs de criação e difusão do conhecimento realizada por diversos autores, optou-se aqui por mantê-las em separado. Tal fato deve-se à observação de que em várias tecnologias, a difusão do conhecimento ter um peso muito mais significativo que a criação do conhecimento. No SS este fato ocorreu de forma intensa durante a década de 1970, com a importação da tecnologia e sua rápida difusão. Lorentzen (2006, 2008) também verifica que

em alguns casos a inovação num determinado país ocorre mais pela difusão que pela geração do conhecimento.

3.1 Definição do Sistema de Inovação Tecnológica a ser estudado

Comparar diferentes estudos sobre Sistemas de Inovação tem sido um dos principais desafios dos pesquisadores, Bergek et al. (2008) consideram a falta de uma clara definição do Sistema de Inovação sob análise como uma das maiores dificuldades neste campo de estudo. Para definir o setor específico em estudo, serão utilizados os conceitos propostos por Malerba (2004): um sistema de produção e inovação é composto por um conjunto de agentes realizando interações de mercado e de não-mercado para a criação, produção e venda de produtos setoriais.

Para essa avaliação do SPIS, os principais produtos são a energia elétrica, o etanol anidro utilizado na mistura com a gasolina e o etanol hidratado 96° GL, utilizado como combustível nos automóveis *flex fuel* e carros a álcool, todos produzidos a partir da cana-de-açúcar. O álcool para fins alimentares e industriais não fará parte da avaliação, por não pertencer ao segmento de energia. Um produto que *a priori* não é definido como pertencente ao SPIS é o açúcar, contudo o setor sucroenergético foi criado a partir da cana-de-açúcar, principal matéria-prima do açúcar no Brasil e se desenvolveu conjuntamente. A maior parte das empresas produzem na mesma instalação industrial o açúcar e o etanol e, quando é o caso, a energia elétrica. Além disso, grande parte das instalações industriais tem flexibilidade para escolher, dentro de determinado limite, entre produzir açúcar e etanol, conforme o preço de mercado. Portanto, apesar de não ser um produto do segmento de energia, o açúcar fará parte da análise por ser considerado essencial para o entendimento da dinâmica do SS.

São ainda componentes do SSI (MALERBA, 2004): i) conhecimento, processos de aprendizagem e tecnologias; ii) agentes e redes de relacionamento; e iii) instituições. Serão definidas nos subtópicos a seguir estes componentes para o SPIS.

3.1.1 Conhecimento, processos de aprendizagem e tecnologias

Utilizando uma matéria-prima de origem agrícola, o setor sucroenergético possui dois grandes grupos de tecnologia: agrícola e industrial. De forma simplificada, a etapa industrial de produção do etanol pode ser dividida em moagem, fermentação e destilação. Já a produção de energia envolve basicamente a geração de vapor em caldeiras e a transformação

deste em energia elétrica por meio de turbinas. As principais bases de conhecimento envolvidas são as engenharias química, mecânica e elétrica e técnicas de processos fermentativos. Já na fase agrícola, assim como Dunham (2009), considerou-se como parte integrante do SPIS as tecnologias de desenvolvimento e seleção de variedades, as tecnologias de manejo para o melhor rendimento da planta e outras tecnologias relacionadas.

A utilização do etanol nos veículos exigiu a adaptação dos motores que historicamente vinham utilizando a gasolina como combustível. Será visto adiante que os veículos a diesel também foram objeto de adaptação, ainda sem grande penetração de mercado. Essa interação com o setor automotivo foi uma das razões para o sucesso do etanol no Brasil, bem como é um dos problemas enfrentados em outros países que tentam intensificar o uso de biocombustíveis. A tecnologia automotiva é então essencial para o entendimento do SPIS.

A etapa logística do setor é extremamente relevante. A cana-de-açúcar possui a característica de perder rapidamente os Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), que é o principal componente da cana-de-açúcar atualmente utilizado na produção de etanol e açúcar. Isso faz com que a cana-de-açúcar não possa ser estocada, ou mesmo transportada por longas distâncias sem perdas econômicas significativas. Para o melhor aproveitamento da matéria-prima, é necessário que esta seja colhida e imediatamente transferida para a usina, que deve processá-la tão breve quanto possível. A logística tem um custo significativo na produção, principalmente pela alta quantidade de biomassa envolvida no processo, demandando grande quantidade de equipamentos. Considera-se então que a tecnologia de logística é também parte importante para o entendimento do SPIS. A Tabela 4 traz um resumo da definição do SPIS.

3.1.2 Agentes

Considerando uma perspectiva schumpeteriana de que a inovação ocorre no setor produtivo, os principais agente do SPIS são as usinas produtoras de açúcar, álcool e energia elétrica. No entanto, assim como exposto na revisão sobre a abordagem sistêmica de inovação, o ambiente onde a empresa está imersa afeta profundamente a maneira desta inovar, sendo necessário avaliar outros agentes como as universidades, institutos de pesquisas públicos ou privados, organizações financeiras, órgãos de governo etc. Será seguida a abordagem de Dunham (2009) de mapear um conjunto de categorias de agentes, cujo papel foi relevante no processo de estruturação do SPIS:

| ELEMENTO | DESCRIÇÃO |
|--|--|
| Matéria-prima | Cana-de-açúcar |
| Processos de produção e tecnologias associadas | Desenvolvimento e seleção de variedades de cana |
| | Plantio da cana |
| | Logística de transporte** |
| | Moagem |
| | Fermentação |
| | Destilação |
| Produtos | Produção de energia elétrica*** |
| | Etanol hidratado |
| | Etanol anidro |
| Produto relacionado ao SPIS | Energia Elétrica* |
| Subproduto | Açúcar |
| Tecnologias relacionadas ao SPIS | Vinhoto |
| Base de conhecimento científico | Veículos automotores |
| | Biotecnologia |
| | Agronomia |
| | Processos fermentativos |
| | Engenharia química |
| | Engenharia mecânica** |
| Engenharia elétrica*** | |
| Processo de aprendizagem | Logística** |
| Espaço geográfico | Otimização da fase agrícola e da fase industrial |
| | Território brasileiro |

* Dunham (2009) fez uma análise do SPIAC motivo pelo qual o autor não incluiu a venda de energia elétrica em sua análise.

** A Logística de transporte não foi considerada por Dunham nos Processos de produção e tecnologias associadas. Por ser considerada uma etapa essencial e de custos crescentes para o setor, optou-se por agregar esta tecnologia como essencial para análise em questão.

A Engenharia mecânica não foi considerada por Dunham como Base de conhecimento científico, contudo, principalmente a parte de moagem de transporte dos produtos na usina são essencialmente dependentes desta área de conhecimento, de forma que a mesma foi agregada à análise.

*** A Engenharia elétrica não foi considerada por Dunham como Base de conhecimento científico devido ao autor ter delimitado seu estudo considerando o álcool como produto

Tabela 4 - Definição do sistema de produção e inovação do setor sucroenergético

Fonte: Dunham (2009), com adaptações

1) Estado – Compreende os atos emanados pelos governos federal e estadual quanto à regulação, concessão de incentivos, fiscalização e demais ações que influenciaram as atividades do SPIS.

2) Usina - conjunto de empresas produtoras de álcool e/ou açúcar e/ou energia elétrica, tendo como base de produção a cana-de-açúcar.

3) Fornecedores de cana-de-açúcar - compreende as pessoas físicas e jurídicas que têm por objetivo produzir cana-de-açúcar para as usinas.

4) Indústria de equipamentos - conjunto de empresas que desenvolvem, produzem e comercializam bens de capital para as usinas. Seus produtos contemplam equipamentos e tecnologias para a moagem da cana, beneficiamento do caldo, fermentação do mosto, destilação do etanol, produção de açúcar, produção de energia elétrica e outras operações associadas.

5) Indústria automotiva - formada pelas empresas produtoras de peças e componentes e pelas montadoras de veículos automotores.

6) Indústria alcoolquímica - empresas que utilizam o álcool como matéria-prima para a produção de polímeros orgânicos. Os produtos petroquímicos clássicos constituem o paradigma da indústria alcoolquímica.

7) ICT – Instituições Científicas e Tecnológicas - universidades e institutos de pesquisa, de natureza pública ou privada, que desenvolvem pesquisas, básicas e aplicadas, nas tecnologias e nos domínios do conhecimento do SPIS.

3.1.3 Instituições

Apesar das mudanças institucionais serem críticas para compreensão da evolução do SPIS, estas são difíceis de identificar e ainda mais complexas de analisar quanto à sua eficácia. Nelson (2008) destaca que as mudanças tecnológicas são, em geral, bem documentadas, mas as mudanças institucionais nem sempre apresentam evidências documentais.

Para avaliar a questão institucional será utilizada a revisão da legislação federal para o setor. Essa legislação é facilmente acessível na internet, sendo mantido um acervo completo tanto pelo poder executivo quanto pelo poder legislativo. Apesar desta base de dados somente compreender os aspectos formais da institucionalidade do setor, é considerada uma parte relevante da avaliação (DUNHAM, 2009). Para o período atual, a possibilidade de entrevistar

atores atuantes no setor, bem como acompanhar congressos e periódicos sobre o tema, facilitam analisar melhor estes outros aspectos.

3.2 Mapeamento dos eventos relevantes para a estruturação do Sistema de Produção e Inovação

Dunham (2009) e Berger (2010) baseiam-se nos trabalhos de Hekkert et al. (2007), e modificações de Hekkert e Negro (2008) para identificação dos processos de transformação dos SIs. Dunham montou um banco de dados histórico, construído com todos os eventos relevantes associados às tecnologias para o SS, mapeando os eventos de forma holística e não seguindo uma lista de critérios pré-estabelecidos, conforme proposto por Hekkert et al (2007). Berger concentra-se no período entre 1975 e 2008, realizando o mapeamento dos eventos a partir de uma base de dados elaborada com notícias publicadas nos jornais o Estado de São Paulo para o Brasil e New York Times e Washington Post para os EUA. Além da análise da base de dados, a autora realizou um conjunto de entrevistas para construção de uma narrativa histórica, considerando os eventos mapeados a partir dos jornais.

Para definir se um evento é relevante ele deve atender a, pelo menos, um dos seguintes aspectos: se destacar (positiva ou negativamente) em relação ao comportamento médio do requisito estudado; ou possibilitar o encadeamento com outros eventos, formando uma sequência lógica e temporal.

Na elaboração do panorama atual do SPIS e da visão dos principais atores do setor foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, que, segundo Flick (2009) parte de questionamentos básicos, apoiados em hipóteses e teorias e ao se desenrolar oferece campo a novas interrogativas à medida que o entrevistado vai discorrendo sobre o tema.

Considerando que a realização de entrevistas semi-estruturadas demanda um esforço relevante de agendamento, realização das entrevistas, transcrição e correlação das falas, inicialmente realizou-se um levantamento daqueles atores que são considerados fundamentais para uma boa composição do panorama do setor. Cinco grupos de atores compuseram o foco do trabalho: indústria de base e fornecedores de tecnologia para o setor, usinas de álcool e açúcar, órgãos de fomento à inovação, instituições de pesquisa e atores do governo relacionados com o setor. Parte das entrevistas foram gravadas e transcritas e parte das entrevistas foram apenas registradas por notas tomadas à mão, devido ao pedido dos entrevistados para que a entrevista não fosse gravada, ou devido a entrevista ter sido realizada durante um Congresso.

No Brasil, foram realizadas 57 entrevistas: i) Nas cidades de Piracicaba, Sertãozinho e Ribeirão Preto foram realizadas entrevistas com fornecedores de tecnologia, indústria de base e associações do setor, num total de 16 entrevistados. ii) Nas cidades de Piracicaba, Brasília, Campinas, Sertãozinho e Ribeirão Preto foram entrevistados dez representantes de instituições de pesquisa e universidades. iii) Em São Paulo, Brasília, Piracicaba, Sertãozinho e São Miguel dos Campos/AL foram entrevistados representantes das usinas e de associações representativas, num total de 11 entrevistados. iv) Do governo federal foram entrevistados representantes dos Ministérios do Desenvolvimento Indústria e Comércio; Minas e Energia, Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Desenvolvimento Agrário, Ciência Tecnologia e Inovação; Fazenda; Casa Civil; ANP e ANEEL, totalizando 14 entrevistados. v) Dos órgãos de fomento à inovação, FINEP e BNDES, foram entrevistadas 6 pessoas.

Nos Estados Unidos, foram realizadas 39 entrevistas: i) 15 entrevistas com fornecedores de tecnologia, indústria de base e associações do setor. ii) 11 representantes de instituições de pesquisa e universidades. iii) 6 representantes das usinas e de associações representativas. iv) Do governo federal foram entrevistados representantes dos Departamentos de Energia e de Agricultura e da Agência de Informação em Energia, totalizando 7 entrevistados.

Foi realizado acordo com os autores do artigo: A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? (NYKO et al., 2013a) e a partir da autorização dos entrevistados, obteve-se acesso a 15 entrevistas gravadas.

A opção por não se utilizar da formação de uma base de dados de notícias de jornais, como utilizado por um conjunto de autores que trabalham com o *framework* de funções de inovação, foi devido à constatação que existe um conjunto grande de informações que não são publicadas, o que traria um viés para pesquisa. Outro fator identificado foi que as *advocacy coalitions* tem um trabalho intenso de fomento à divulgação de notícias de seu interesse. Nesse caso, algumas associações como a Unica no Brasil e a RFA nos EUA fomentam diversas publicações que são de interesse próprio, enquanto outros atores como governo e pesquisadores são menos propensos a utilizar desta ferramenta. Ainda que esta seja uma opção valiosa para a pesquisa histórica, para uma análise do presente, onde é possível recuperar os fatos com os agentes atuantes no SPIS, as entrevistas foram consideradas a melhor opção.

Outra fonte de informações utilizada foi a participação em congressos e seminários no Brasil e em outros países, relacionados no Anexo IV. Nos eventos foi possível obter informações por meio de conversas e entrevistas semi-estruturadas com representantes de

empresas, governo e ICTs. Estas interações não foram gravadas, mas compuseram parte importante da coleta de dados para análise do panorama atual do setor.

3.2.1.1 Identificação dos processos de transformação do Sistema de Produção e Inovação

A partir do banco de dados histórico, Dunham relacionou os eventos com as Funções Setoriais de Inovação (FSI) de Hekkert et al. (2007), descritas no tópico 2.1.7 sobre SIT. A seguir foi verificado como cada FSI influenciou no processo de transformação do SI e, ao mesmo tempo, como cada FSI influenciou as outras FSIs. O processo de transformação deve ser capaz de explicar como o desenvolvimento do SI ocorreu ao longo do tempo e qual o papel dos agentes e das relações institucionais nesse desenvolvimento. Cada processo de transformação foi descrito em função de quatro elementos: i) Motivação da mudança, ii) Inovação, iii) Funções envolvidas com o sistema de inovação, e iv) Resultados obtidos.

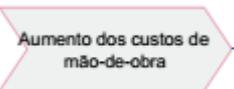
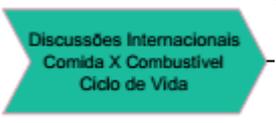
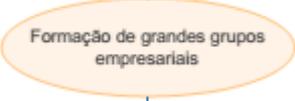
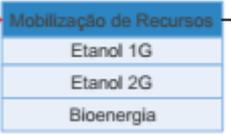
| | |
|---|---|
|  | Indica uma ação ou um fato identificado que ocorreu antes do período em análise. |
|  | Indica uma ação ou um fato que é macroeconômico ou externo ao setor (definido de forma estreita) |
|  | Indica uma ação ou um fato que ocorre em outro país e que afeta o setor também no Brasil |
|  | Indica uma ação Pública Federal ou Estadual |
|  | Indica o resultado de uma ação ou um fato relevante identificado |
|  | Indica a Função de Inovação envolvida. A análise foi dividida em Etanol de primeira e segunda geração e bioenergia a partir do bagaço de cana |
|  | Indica o resultado final do SPIS em análise |
|  | Indica uma relação positiva |
|  | Indica uma relação negativa |

Tabela 5 - Símbolos utilizados na representação gráfica das Funções de Inovação
 Fonte: elaboração própria

Neste trabalho, é proposta uma representação gráfica do sistema em análise. Os símbolos utilizados estão apresentados na Tabela 5. Considerando a grande complexidade do SPIS e a dificuldade de se colocar todos os elementos numa única representação, buscou-se fazer o mapeamento dos eventos considerados mais relevantes. Na Figura 5 há um exemplo da representação gráfica utilizada. O desenvolvimento da tecnologia *flex fuel*, que é anterior ao período em análise, dá condições para que se mobilizem recursos na forma de redução tributária, que afeta positivamente a formação de mercado. O aumento dos custos de mão-de-obra e dos preços das terras acelera o processo de mecanização, que resulta na queda de produtividade e afeta negativamente a formação de mercado, já que aumenta o custo do etanol. A resultante destes dois fatores é a estagnação do mercado.

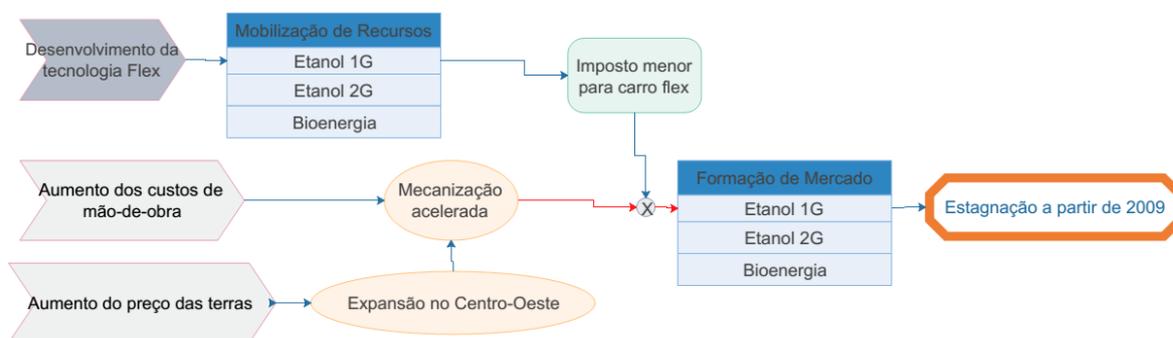


Figura 5 - Exemplo de uso da representação gráfica

Fonte: elaboração própria

4 PANORAMA ATUAL DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL

No Anexo I é apresentada a evolução histórica do SPIS no Brasil, a partir do trabalho de Dunham (2009), que permite a compreensão da dinâmica que levou à configuração atual do setor, bem como seus diversos momentos de crise e expansão acelerada. O autor finaliza sua análise em 2006, numa época de grande euforia no SS, que vinha crescendo rapidamente, com grandes aportes de investidores externos. A partir de 2008/2009, período que coincide com a crise mundial causada pela bolha imobiliária nos EUA, o setor passa por uma reversão expressiva. Neste capítulo serão analisados os dados de produção do setor, a configuração atual do SPIS e será feita a representação esquemática deste período.

4.1 Dados do Setor Sucroenergético no Brasil

Ao final de 2013, o Brasil possuía 389 usinas de etanol e/ou açúcar em funcionamento (BRASIL, 2014c), que exportaram 14,16 bilhões de dólares durante o ano (BRASIL, 2014d). Em 2012 haviam 1,09 milhão de postos de trabalho formais registrados (BRASIL, 2013a). O Brasil foi o maior produtor e exportador mundial de açúcar (22% da produção global e 45% das exportações) e o 2º maior produtor global de etanol (25% da produção e 37% da exportação mundial) em 2013 (FARINA, 2014). A União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) informa que na safra 2011/2012 as receitas do setor foram de US\$ 36 bilhões, com a distribuição apresentada na Figura 6. O Balanço Energético Nacional 2014 (BRASIL, 2014e) indica que no ano de 2013 os produtos da cana foram a segunda maior fonte de produção de energia primária no Brasil, representando 19,1% do total, atrás do petróleo, e suplantando a energia hidráulica - Figura 7 - **Produção de Energia Primária no Brasil x fontes selecionadas**.

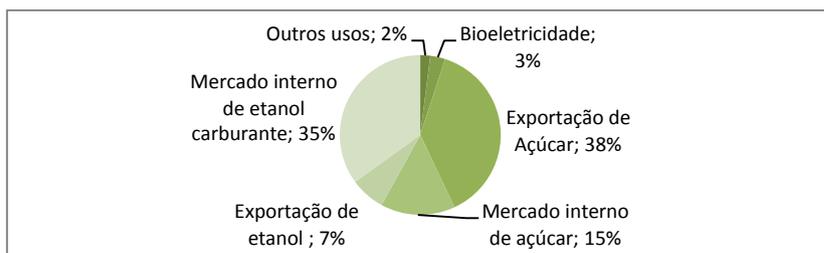


Figura 6 - Receita do SS por segmento (safra 2011/2012)

Fonte: (FARINA, 2013)

Segmentando as informações para análise dos combustíveis líquidos, pode também ser observado na Figura 8 - **Consumo final de combustíveis líquidos no Brasil X produtos selecionados**, intenso crescimento no consumo final de combustíveis líquidos no Brasil. A partir de 2003 há uma retomada no crescimento da produção do etanol, que cresceu 101,96% até o ano de 2010, com um posterior decréscimo de produção nos anos de 2011 e 2012 e retomada no ano de 2013.

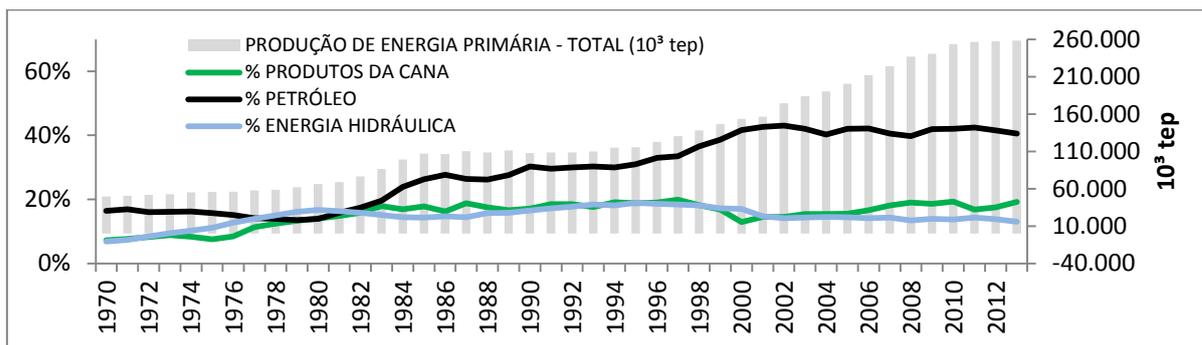


Figura 7 - Produção de Energia Primária no Brasil x fontes selecionadas

Fonte: (BRASIL, 2014e), elaboração própria

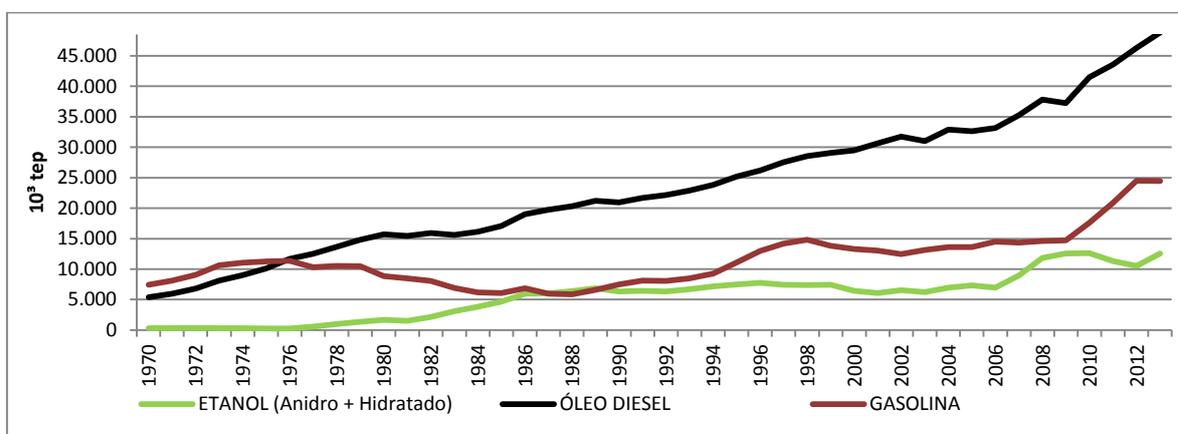


Figura 8 - Consumo final de combustíveis líquidos no Brasil X produtos selecionados

Fonte: (BRASIL, 2014e), elaboração própria

O grande crescimento do mercado interno associado às potenciais demandas externas por etanol influenciaram muito os investimentos no Brasil, assim como a crise de 2008/2009.

A **Figura 9 - Evolução do número de novas unidades produtoras no Brasil** mostra o número de novas unidades crescendo de forma acelerada e posteriormente reduzindo-se de forma ainda mais brusca. Além do crescimento em número de unidades, estas novas usinas foram quase que em sua totalidade construídas com capacidade de moagem de cana muito maiores que a média das usinas até a década de 2000, agregando uma capacidade produtiva bastante superior à proporção com o número de unidades. Cabe ressaltar que a redução nos

investimentos não se deve à ausência de demanda por combustíveis líquidos. A

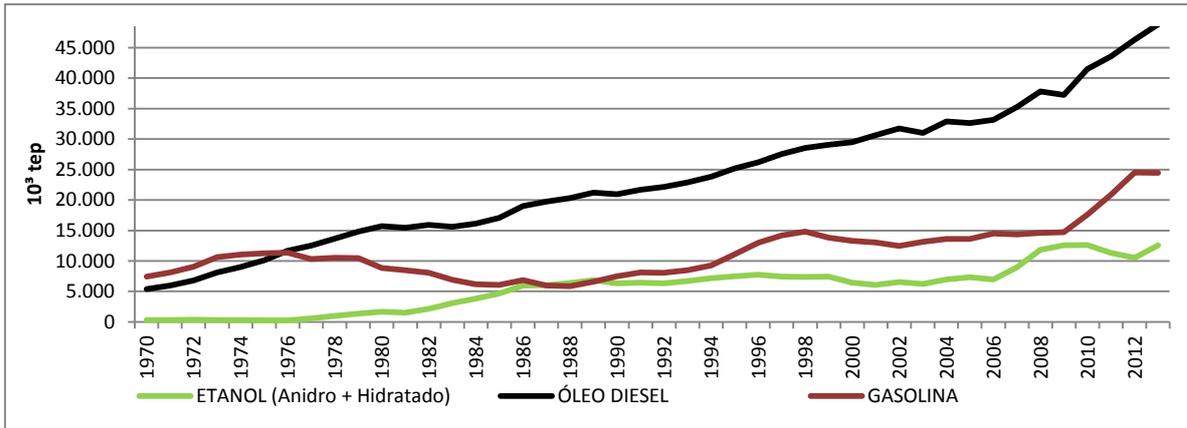


Figura 8 mostra que entre 2009 e 2013 o crescimento na venda de gasolina é intenso, mercado que poderia em grande parte ser atendido pelo etanol hidratado e a **Figura 10 - Licenciamento de veículo leve x tipo de combustível** mostra que a venda de veículos flex foi expressiva. Ou seja, há demanda potencial para o etanol crescer a produção significativamente desde que o preço final ao consumidor seja competitivo. Esta crise será avaliada mais detalhadamente na seção 4.2.4.

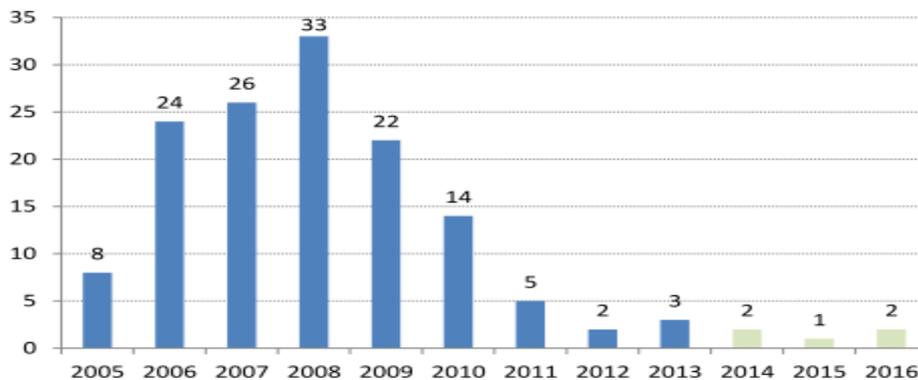


Figura 9 - Evolução do número de novas unidades produtoras no Brasil

Fonte: (BRASIL, 2014f)

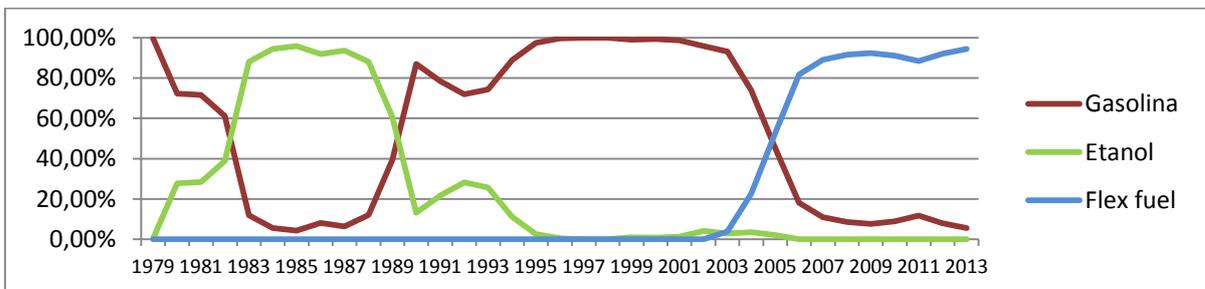


Figura 10 - Licenciamento de veículo leve x tipo de combustível

Fonte: (ANFAVEA, 2014), elaboração própria

A matriz de energia elétrica brasileira, em 2014, mostra que a geração a partir do bagaço de cana é a terceira maior fonte, com 6,84% da energia elétrica produzida no país, atrás apenas da hidroeletricidade e do gás (BRASIL, 2014g). Apesar da

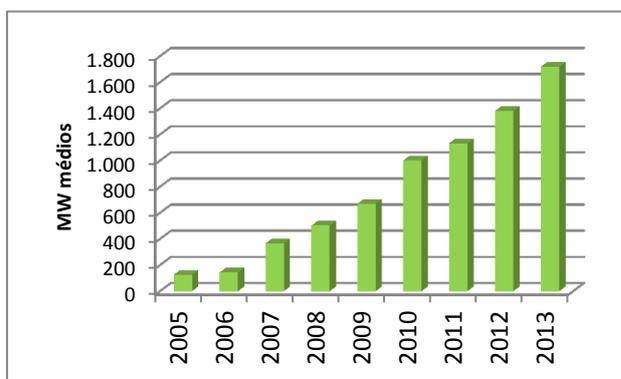


Figura 12 mostrar um crescimento na

exportação de eletricidade de bagaço de cana para rede elétrica, apenas 191 usinas comercializam energia (BRASIL, 2014g), representando 49,1% das usinas em funcionamento no Brasil. Também houve redução da contratação nos leilões federais de energia elétrica gerada por bagaço a partir de 2008, com anos sem contratação. Tal fato levou o setor a ter a energia entregue adicional se reduzindo desde 2010 até chegar a zero em 2017, com uma retomada em 2018.

Quanto à balança comercial brasileira, o produto mais relevante do SS é o açúcar, que aumentou as exportações em 1.540% entre 1991 e 2013. Conforme apresentado no Anexo I, a década de 1990 foi um período de crise para o etanol, que necessitou ser importado, com um saldo negativo na balança comercial deste produto para o período. De 2010 a 2013, o país voltou a importar quantidades significativas de etanol, mas ainda com um saldo positivo na balança comercial deste produto para o período. Esse movimento ocorre tanto pela redução na produção no país, quanto pela política diferenciada de incentivo aos biocombustíveis nos Estados Unidos. Essa questão será abordada mais profundamente a seguir.

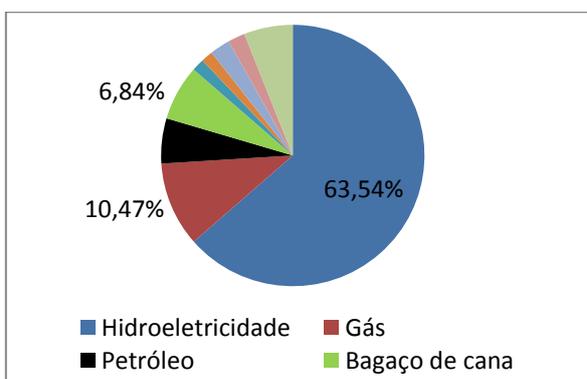


Figura 11 - Matriz de Energia Elétrica brasileira 2014 – Capacidade Instalada

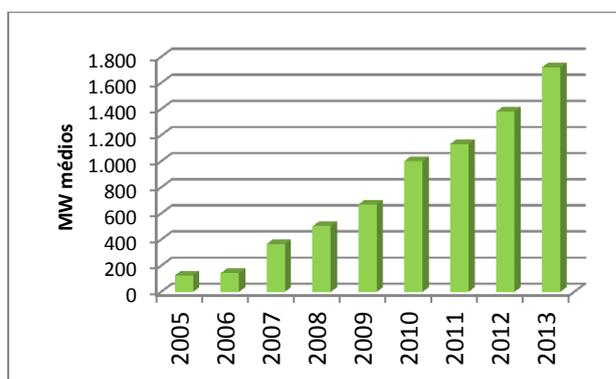


Figura 12 - Exportação de Eletricidade de bagaço de cana para a rede

Fonte: (BRASIL, 2014g), elaboração própria Fonte: (FARINA, 2014)

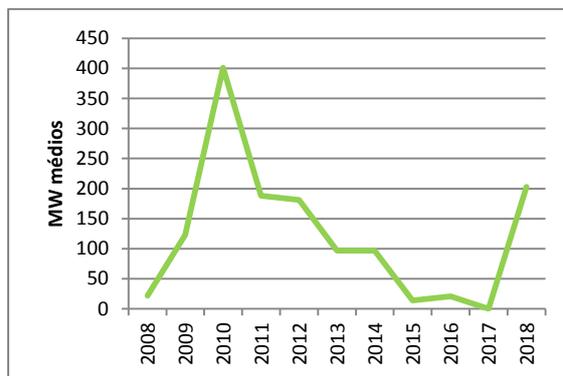
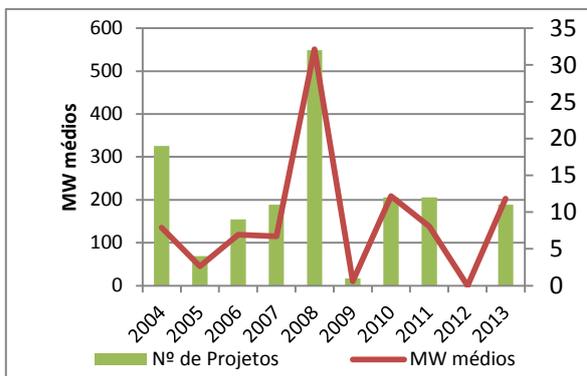


Figura 13 - Bioeletricidade de cana comercializada nos leilões por ano de venda

Fonte: (CCEE, 2014), elaboração própria

Figura 14 - Bioeletricidade de cana comercializada nos leilões por ano de entrega

Fonte: (CCEE, 2014), elaboração própria

Os dados gerais do setor indicam que a FSI de formação de mercado não vem apresentando um desempenho adequado para o etanol e para energia elétrica de bagaço de cana. Tal fato tem levado a uma diminuição bastante significativa da FSI de Atividades Empresariais. A percepção geral nas entrevistas não é de que a FSI de Criação de Legitimidade apresente problemas, mas sim de que há uma prioridade forte no governo em atuar no controle da inflação. O controle de preço da gasolina e a realização de vários leilões de aquisição de energia elétrica com foco quase que exclusivo no menor preço têm afetado severamente a FSI de formação de mercado do etanol e da energia elétrica de bagaço de cana. Vários elementos compõem este panorama e serão avaliados com mais detalhes a seguir.

4.2 Avaliação do desempenho do SPIS

Analisando as patentes relacionadas ao SS entre 1975 e 2008, De Freitas e Kaneko (2012), constatam que o segmento agrícola é o maior gerador de tecnologia no SPIS. Apesar da crise do etanol, ocorrida principalmente na década de 1990, o desenvolvimento agrícola do setor tem sido constante. Demattê (2012) destaca a evolução na busca por uma maior eficiência no sistema de transporte; o aperfeiçoamento no corte mecanizado, no plantio mecanizado com uso de GPS; a busca por novas moléculas de inseticidas, de nematicidas e principalmente de herbicidas para as mais diversas condições climáticas. No Nordeste, o autor relata a evolução nos sistemas de irrigação semiplena ou plena com pivôs lineares ou circulares, assim como o sistema de gotejo.

Contudo, assim como Abarca (1999), Nyko et al. (2013) consideram que o ganho total de produtividade da cana-de-açúcar foi decepcionante quando comparado com outras culturas mostradas na Figura 15. A produtividade média da cana no Brasil na safra 2013/2014 foi de 74,8 t/ha, sendo que Moore (2009) e Waclawovsky et al. (2010) concluem que o rendimento teórico máximo da cana é superior respectivamente a 472 t/ha ou 380 t/ha. Ou seja, o limite teórico da planta estaria longe de ser alcançado, não sendo esta a causa dos baixos ganhos de produtividade verificados.

Na Figura 16, observa-se uma expansão constante da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil, com uma queda acentuada na produção das safras 2011/2012 e 2012/2013. Essa queda de produção ocorreu devido à queda de produtividade, que apesar de ter se recuperado posteriormente, ainda não retomou os patamares da safra 2009/2010.

No modelo atual de produção (1ª geração – 1G) o que realmente importa é a quantidade de sacarose disponível (pol% cana) para conversão em açúcar e etanol. Além da queda na produtividade de cana/ha, o teor de sacarose disponível na cana era baixo, fazendo com que o ano de 2011 representasse o pior ano em tph (toneladas de pol por hectare) desde que o CTC - Centro de Tecnologia Canavieira iniciou a publicação de seus relatórios em 1988.

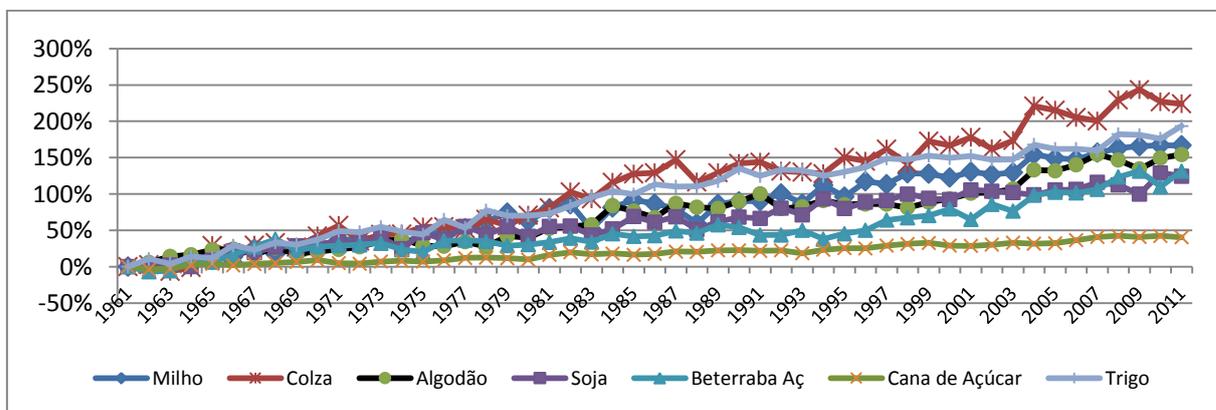


Figura 15 - Ganho de produtividade mundial histórica (base 1961, em %)
 Fonte: (NYKO et al., 2013a, p. 408)

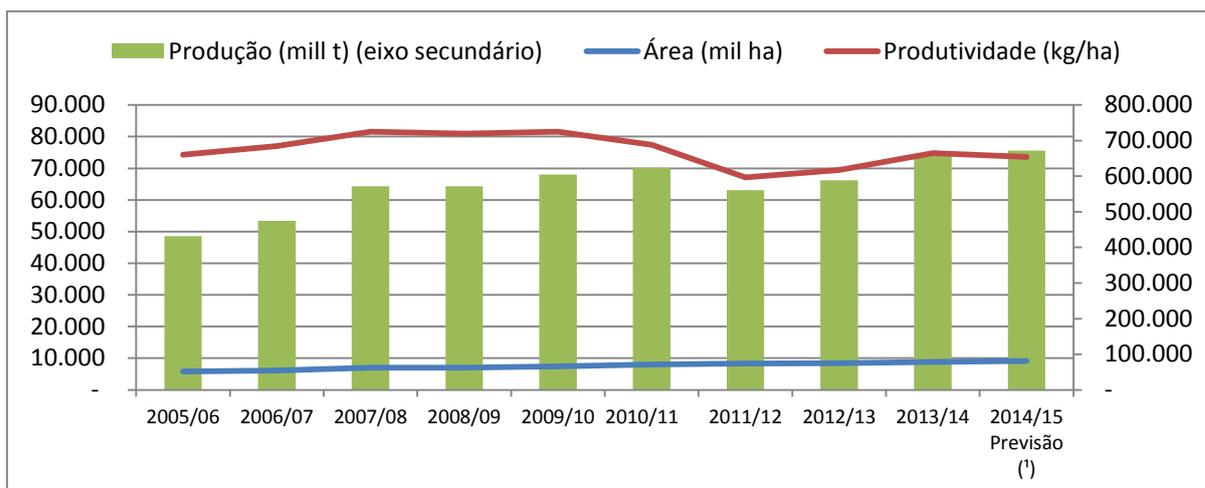


Figura 16 - Produção, área plantada e produtividade da cana-de-açúcar

Fonte: (BRASIL, 2014h), elaboração própria

A análise dessa queda de produtividade agrícola nos anos recentes é interessante para avaliação do desenvolvimento do SPIS. As entrevistas realizadas e a revisão da literatura indicam como principais motivos para a queda de produtividade: a) Baixo índice de inovação na geração de variedades; b) Expansão acelerada do setor; c) Mudança no perfil acionário do SS; d) Crise financeira de 2008/2009; e) Adversidades climáticas; f) Mecanização acelerada; e g) Gestão macroeconômica governamental. Cada um destes tópicos será analisado a seguir e em seguida será feita a intercorrelação.

4.2.1 Baixo índice de inovação na geração de variedades de cana-de-açúcar

Nyko et al. (2013) utilizam índices propostos pelo CTC para avaliar o desempenho da inovação agrícola no SS.

- O índice de atualização varietal (IAV):
é obtido pela diferença entre o ano atual e o ano de cruzamento da variedade, ponderado pela porcentagem de utilização de cada variedade na região estudada. Do valor obtido são subtraídos 20 anos, que corresponde ao número médio de anos que uma variedade tarda para atingir o seu ápice. Para esse índice, são considerados altos e não recomendáveis os valores acima de 7 anos, intermediários os valores entre 5 e 7 anos e baixos e adequados os valores abaixo de 5 anos (CTC, 2013, p. 2).
- O índice de concentração varietal (ICV):
[é] obtido com base na participação percentual das três principais variedades na região estudada. São considerados altos e não recomendados os valores de ICV superiores a 50%. Valores entre 40 e 50% são considerados intermediários e valores menores que 40% são considerados baixos e ideais. (CTC, 2013, p. 2)

O IAV é considerado um indicador de difusão da inovação, já que representa a velocidade com que o setor produtivo adota novas variedades criadas pelas ICTs (CTC, 2012, 2013; NYKO et al., 2013a). Analisando o relatório do CTC referente a 2011, Nyko et al. (2013) constatam problemas na difusão da inovação, já que o IAV foi considerado alto. Observando a Figura 17 - Evolução do índice de atualização varietal (IAV) e do índice de concentração varietal (ICV) na média dos estados da Região Centro-Sul verifica-se que o valor do IAV em 2012 foi ainda superior ao de 2011, já no limite aceitável pelas recomendações de CTC (2012, 2013).

O ICV é um índice associado à difusão da inovação, mas também é conectado com a propensão ao risco do empreendedor. Concentrar a plantação em variedades com maior produtividade gera ganhos econômicos, com o risco de que uma doença ou um evento climático que seja mais danoso àquela variedade reduza os ganhos. Empresas com maior propensão ao risco poderiam utilizar estratégias diferentes de empresas conservadoras, quanto à decisão sobre suas variedades.

Além de representar a difusão da inovação, o ICV e o IAV são associados com a taxa de geração de inovação. Adotando uma perspectiva Schumpeteriana, considera-se que uma variedade de cana é uma inovação apenas quando ela é adotada pelas usinas e plantadores de cana. O aumento do IAV e do ICV poderia ser associado à carência de novas variedades com rendimento adequado e que compensassem o investimento. Nyko et al. (2013) verificaram que na safra 2011-2012, aproximadamente 60% das variedades utilizadas eram protegidas, implicando que cerca de 40% da área brasileira de cana foi plantada com variedades que já caíram em domínio público, ou seja, cujo lançamento ocorreu há pelo menos 15 anos. Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011) apresentam dados que refutam a falta de variedades como motivação para o aumento do IAV e do ICV, já que foram liberadas no Brasil 207 variedades de cana para uso comercial entre 1970 e 2010. No período 2003-2012 foram registradas 74 novas variedades.

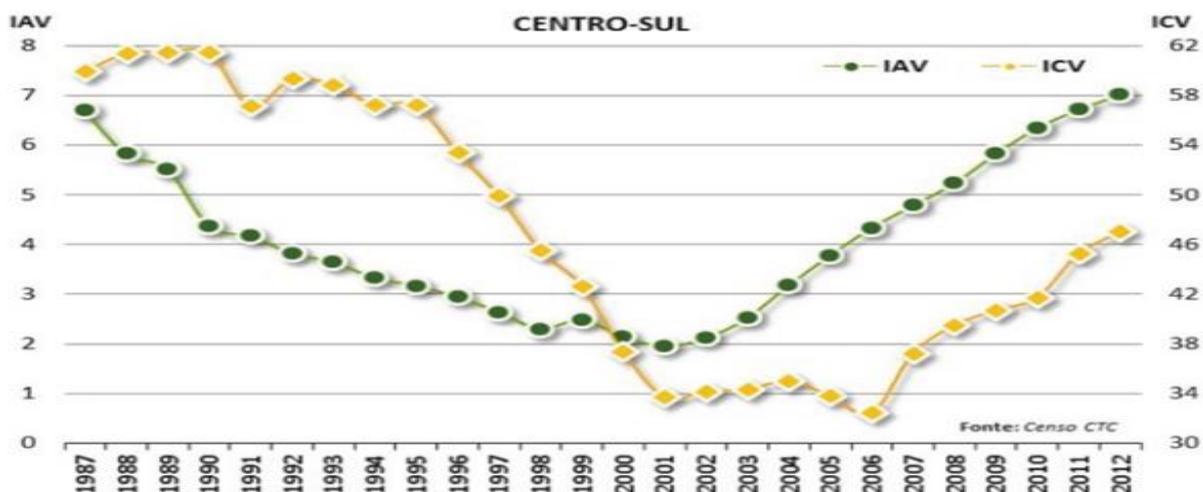


Figura 17 - Evolução do índice de atualização varietal (IAV) e do índice de concentração varietal (ICV) na média dos estados da Região Centro-Sul
 Fonte: (CTC, 2013, p. 15)

Nyko et al. (2013) indicam que o ganho de produtividade das novas variedades geradas vem se reduzindo, tendo ficado em 7,1% entre 2005 e 2012, ante 30,7% entre 1985 e 1994. Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011) consideram que variedades significativas são aquelas cultivadas em, pelo menos, 5% da área de cana no Brasil em um ano do censo varietal do CTC e verificaram que entre 1991 e 2010, apenas 15 variedades, ou cerca de 10% do total de variedades utilizadas, puderam ser consideradas variedades significativas. Demattê (2012) também considera que as novas variedades não têm apresentado ganhos de produtividade nos parâmetros necessários ao setor. O autor ressalta ainda que a proliferação de doenças nas novas variedades, tem reduzido sua vida útil e a segurança em levar à frente o seu plantio. Outro fator é que a expansão da lavoura canavieira está sendo feita em solos de baixa fertilidade e em condições climáticas praticamente marginais, que contam com um número de variedades novas restrito. Isto tem levado as usinas a optarem pelas variedades da década de 80, mais resistentes e de uso conhecido.

Considerando-se que as novas variedades de cana apresentam ganhos de produtividades cada vez menores, haveriam menos incentivos para que as usinas e plantadores de cana investissem em utilizar as novas variedades. O custo de propagação de mudas, criação de viveiros, aprendizagem de novas práticas agrícolas, pagamento de *royalties* etc., não seria compensado pelo ganho de produtividade apresentado pela nova variedade.

O aumento do IAV e do IAC também é afetado por outros fatores não técnicos, que serão abordados a seguir: expansão acelerada do setor, entrada de novos investidores no setor e a crise financeira de 2008/2009.

Este baixo índice de geração de novas variedades com rendimento adequado foi identificado como uma inadequação na FSI de Criação de Conhecimento. Considerando que também são poucas e recentes as atividades empresariais para geração de variedades de cana-de-açúcar, a FSI de Atividades Empresariais foi considerada pouco desenvolvida.

4.2.2 Expansão acelerada do SS

O aumento significativo do preço da terra nas regiões tradicionais de produção de cana em São Paulo, que chegou a mais de 400% entre 2003 e 2011 (FIGLIOLINO, 2012), reforçou um movimento que já vinha ocorrendo de expansão no Centro-Oeste. Durante a fase acelerada de expansão do setor, não haviam mudas suficientes disponíveis e nem variedades desenvolvidas especificamente para o Centro-Oeste. Foi utilizada a própria cana que seria destinada à moagem para fazer novos plantios. Naturalmente as canas que mais tinham penetração, foram as mais utilizadas para novos plantios e tiveram sua utilização percentual aumentada. Também foi relatado por alguns entrevistados que a demanda vinha crescendo tão rapidamente, que a opção por variedades teoricamente mais produtivas foi natural, mesmo que isso implicasse em um risco maior. Tais fatores são correlacionados com os aumentos do IAV e do ICV tratados anteriormente.

Outro fator apontado nas entrevistas como redutor da produtividade é a cultura agrícola das regiões de expansão. Em São Paulo, Paraná e Minas Gerais, as regiões produtoras de cana têm tradição de décadas. Os plantadores de cana conhecem o assunto, há uma rede técnica estabelecida e fornecimento de implementos, defensivos etc. Tal fato não se repete na fronteira agrícola de expansão do setor. Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás têm maior tradição na pecuária e na plantação de grãos como soja e milho. O conhecimento agrícola e a rede de suprimentos estava voltada para estes segmentos. A introdução/expansão da cana-de-açúcar nestas localidades ainda está passando pelo seu período de aprendizagem e de conformação institucional que permita um rendimento adequado.

A Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro - RIDESA somente incorporou estações no Cerrado a partir de 2003 com a inclusão na rede da unidade de Capinópolis-MG da UFV. Em 2004, ocorreu a agregação da Universidade Federal de Goiás e a Universidade Federal de Mato Grosso foi incorporada à rede em 2007 (RIDESA, 2014).

Esta dificuldade de utilizar conhecimentos já existentes no setor nas novas áreas conforma um funcionamento inadequado da FSI de Difusão do Conhecimento. A lentidão na

geração de variedades próprias para o Centro-Oeste também é relacionada com um mau funcionamento da FSI de Direcionamento da Pesquisa.

4.2.3 Mudança no perfil acionário do SS

O crescimento acelerado do setor de etanol foi acompanhado de uma profunda reorganização societária. No período do Proálcool eram poucos os grupos econômicos com mais de uma usina. O controle acionário era integralmente brasileiro, e as usinas poderiam, em sua maioria, ser caracterizadas como empresas familiares.

Na década de 1990 se inicia lentamente um processo de consolidação de grandes grupos acionários. Ocorreram 10 processos de fusões e aquisições (F&As) de usinas e empresas do SS entre os anos de 1997 e 2001 (PASIN; NEVES, 2002). Processo que avança rapidamente na década de 2000. Entre os anos de 2000 e 2007 foram identificados 80 processos de F&A no setor (BACCARIN; GEBARA; FACTORE, 2009). A Cosan foi a maior consolidadora, passando de 6 (seis) usinas no ano 2000 para 17 em 2007 e 26 em 2012 (PROCANA BRASIL, 2012).

| Unidades Possuídas | 1999/2000 | | | 2006/2007 | | | 2012/2013 | | |
|--------------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|
| | Grupos | Usinas | Participação | Grupos | Usinas | Participação | Grupos | Usinas | Participação |
| 1 | 152 | 152 | 67,3% | 154 | 154 | 60,2% | 36 | 36 | 13,8% |
| 2 | 12 | 24 | 10,6% | 17 | 34 | 13,3% | 27 | 54 | 20,8% |
| 3 | 8 | 24 | 10,6% | 11 | 33 | 12,9% | 12 | 36 | 13,8% |
| 4 | 5 | 20 | 8,8% | 2 | 8 | 3,1% | 7 | 28 | 10,8% |
| 5 | - | - | | 2 | 10 | 3,9% | 5 | 25 | 9,6% |
| 6 | 1 | 6 | 2,7% | - | - | | - | - | |
| 7 | - | - | | - | - | | 1 | 7 | 2,7% |
| 8 | - | - | | - | - | | 1 | 8 | 3,1% |
| 9 | - | - | | - | - | | 2 | 18 | 6,9% |
| 11 | - | - | | - | - | | 2 | 22 | 8,5% |
| 17 | - | - | | 1 | 17 | 6,6% | - | - | |
| 26 | - | - | | - | - | | 1 | 26 | 10,0% |
| Total | 178 | 226 | | 187 | 256 | | 94 | 260 | |

Tabela 6 - Distribuição dos grupos no setor sucroalcooleiro de acordo com a quantidade de agroindústrias possuídas – Brasil, Centro Sul, 1999 a 2013

Fonte: (VERGES, 2013, p. 54)

Dados de Figliolino (2012) mostram o crescimento entre as safras 2005/2006 e 2010/2011, da participação dos 10 maiores grupos do SS de 30% para 43% em capacidade de moagem. Também é interessante observar na Figura 18 que o maior grupo do setor, a Cosan (atualmente Raizen – empresa formada por uma *joint venture* entre a Cosan e a Shel) aumentou em 80% sua capacidade de moagem entre a safra 2005/2006 e 2010/2011. A Louis Dreyfus Commodities (LDC) tradicional *trader* de açúcar, por meio da aquisição de duas

grandes empresas, passou rapidamente a ser o segundo maior grupo do SS em capacidade de moagem. A ETH (atualmente Odebrecht Agroindustrial) realizou uma grande aquisição, mas investiu principalmente na instalação de novas usinas e atualmente é o terceiro maior grupo em capacidade de moagem. Figliolino (2012) relata ainda que dos seis maiores grupos do SS, somente a ETH seria majoritariamente de capital nacional.

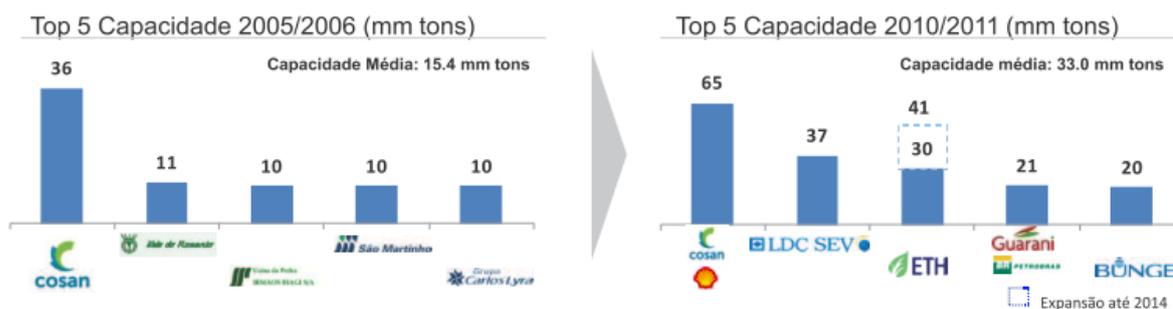


Figura 18 - 5 maiores grupos por capacidade de moagem

Fonte: (FIGLIOLINO, 2012)

Nas entrevistas foi relatado que mesmo que alguns destes novos acionistas fossem do ramo agrícola, eles não possuíam experiência com cana-de-açúcar e essa falta de conhecimento, principalmente nas esferas superiores de decisão, levou estas empresas a relevarem características específicas dessa cultura. Muitas vezes a preocupação industrial suplantou a preocupação com a questão agrícola, sendo considerada uma das causas dos problemas de produtividade nos anos recentes.

Conhecimentos agrônômicos básicos do setor foram “perdidos” pela junção dos fatores: expansão acelerada, expansão em novas fronteiras e entrada de acionistas de fora do setor. As novas equipes contratadas e as novas diretorias deixaram de usar práticas já difundidas na geração de mudas, plantio, adubação etc. A expansão de 88% na área de cana plantada, saindo de 4,88 milhões de ha em 2000 para 9,16 milhões de ha em 2010, exigiu a contratação de um grande volume de pessoal especializado. Grande parte dos técnicos contratados não possuía experiência prévia no setor e boa parte das empresas não teve capacidade de difusão do conhecimento para divulgar as boas práticas do setor em ritmo tão acelerado. Essa queda de produtividade a partir da safra 2010/2011 reflete também um período de aprendizagem. Verifica-se também aqui um problema com a FSI de Difusão do Conhecimento causado em parte pela força da FSI de Atividades Empresariais, que por sua vez respondia à FSI de Formação de Mercado.

4.2.3.1 Mudança no perfil acionário do SS como motor de inovação

Na área agrícola, a mudança de perfil acionário do setor ainda apresenta um período de aprendizagem, porém, de maneira geral, Verges (2013) considera que esta mudança tem potencial para gerar inovação. Baccarin, Gebara e Factore (2009) relatam que no período de consolidação do setor, houve aumento do tamanho médio das usinas, que buscaram, via rendimentos crescentes de escala, manter sua competitividade. A busca por diferenciação no mercado, aderindo a padrões de qualidade, certificações ambientais e outras também passou a fazer parte da estratégia das empresas (VERGES, 2013). Inovações incrementais nos processos de esmagamento e fermentação, e a melhoria da logística de produção complementaram as políticas adotadas no período (SIQUEIRA; CASTRO JUNIOR, 2010).

Verges destaca ainda como possível fonte de inovação para o SS a alteração da origem tecnológica das empresas que passam a atuar no setor, que são das áreas energética, alimentícia, química e outras, com isso, diversificando tanto a estrutura do capital, como a base tecnológica do setor. Esse processo é reforçado pelo lançamento do RFS nos EUA, que em conjunto com uma ampla diversidade de instrumentos de apoio às empresas estadunidenses para o desenvolvimento de tecnologias para o setor, gerou alguns *spinoffs* para o Brasil. Vislumbrando a oportunidade de utilizar a infraestrutura já existente no SS e a ampla disponibilidade de bagaço de cana nas usinas, parte das empresas fundadas nos EUA passou a investir no Brasil. Este investimento é não só na produção de biocombustível, mas principalmente na adaptação das tecnologias para uso com o bagaço ou palha da cana-de-açúcar, ou em alguns casos o uso do caldo de cana para produção de químicos. O autor cita alguns exemplos como a Amyris e a Solazyme que utilizam microrganismos para o processamento de açúcares e conversão em diesel, bioóleos, lubrificantes e cosméticos.

Outro ponto importante abordado por Verges é que a formação de grupos econômicos mais robustos tende a aumentar a capacidade financeira das empresas. Essa capacidade financeira seria imprescindível para permitir que as usinas tivessem condições de lidar com as alterações cíclicas nos preços, comum em mercados de commodities. Com melhores condições financeiras haveria condições das empresas investirem no longo prazo, fato essencial para geração de inovação. A diversidade de origem dos novos investimentos no SS também agrega ativos complementares importantes, como redes de fornecedores, clientes, laboratórios de pesquisa e outros, reforçando as capacitações internas das firmas presentes no SPIS (VERGES, 2013).

4.2.4 Crise financeira de 2008-2009

O crescimento acelerado do SS vinha em boa parte sendo financiado com agentes do mercado e várias empresas tinham dívidas em dólar. A cotação da moeda norte americana subiu 45,53% entre julho e o fim do ano de 2008, aumentando severamente o endividamento das empresas com financiamento externo. Houve acentuada retração do crédito concedido pelas instituições financeiras às empresas do setor. As usinas passaram a reduzir seus investimentos agrícolas, inclusive a renovação dos canaviais. Por ser uma cultura semi-perene, a cana-de-açúcar é plantada e posteriormente colhida nos anos seguintes, podendo chegar a mais de cinco cortes. Porém, nas variedades atuais considera-se adequado, para manutenção da produtividade, que o estágio médio de corte da cana seja ao redor de 3 anos. Em 2011, o estágio médio de corte da cana alcançou 3,7 anos (CTC, 2013), o mais alto na série histórica do CTC.

Além dos problemas das empresas para financiar suas atividades, como reflexo da crise, o governo brasileiro passou a controlar o preço da gasolina, limitando o preço do etanol hidratado. Esse tópico será aprofundado na seção 4.3.1. A queda do preço do açúcar no mercado internacional a partir de 2010 também compôs um quadro de redução de receitas para as usinas, dificultando os investimentos (CEPEA, 2014). A principal função afetada negativamente pela crise financeira foi a FSI de Mobilização de Recursos, principalmente financeiros. A reação do governo brasileiro à crise, com o congelamento do preço da gasolina foi o evento mais marcante para o setor, afetando de forma muito negativa a FSI de Formação de Mercado.

4.2.5 Adversidades climáticas

A safra de 2009/2010 foi prejudicada pelo excesso de chuvas, seguido de secas nas safras de 2010/2011 e 2011/2012. Como toda atividade agrícola, a produção de cana-de-açúcar é influenciada por adventos climáticos. Contudo, Demattê (2012) considera que a falta de conhecimento técnico sobre o relacionamento da cana-de-açúcar com os períodos de chuva, seca etc. afetam severamente como reagir aos eventos que são naturais.

As adversidades climáticas poderiam ter sido mitigadas por maior conhecimento técnico sobre a cana. Mas, certamente, o clima tem sua parcela de responsabilidade nas quebras de produção das safras 2011/2012 e 2012/2013. Não será estendida a análise sobre este tópico por não ser este o principal assunto de estudo da tese.

4.2.6 Mecanização acelerada

A expansão do SS, na década de 2000, ocorreu imersa num ambiente cujas características afetaram o setor de forma relevante. No âmbito social, foram intensificadas pelo governo as ações de proteção às classes de menor renda. O salário mínimo foi aumentado consistentemente em taxas superiores à inflação e também ao aumento de produtividade do SS. Boyce (2013) identifica que os incrementos nos custos trabalhistas superaram os preços do açúcar em 150% entre jan/2006 e jan/2013. Estas e outras medidas aumentaram significativamente o custo da mão-de-obra no Brasil, incentivando que as novas usinas utilizassem a mecanização de forma mais intensa. Esse movimento foi acelerado pelo Protocolo Agroambiental de São Paulo celebrado em 2007, que estabelecia um prazo para eliminação da queimada da cana no estado. Como a colheita da cana crua é extremamente penosa e pouco produtiva, a eliminação da queimada aumentou os incentivos à mecanização. Os entrevistados relatam a carência de mão-de-obra agrícola nos estados de fronteira agrícola, como o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Fato que também impulsionaria a adoção da mecanização. Na Figura 19, pode ser observado que a colheita mecanizada no Centro-Sul passou de 34% em 2003 para 89% em 2013. No Nordeste, muitas das regiões produtoras de cana estão em terrenos com alta declividade e a mecanização tem sido muito inferior.

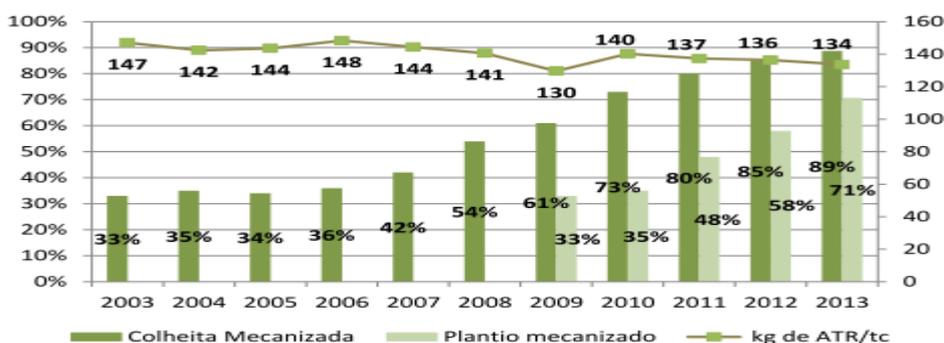


Figura 19 - Colheita e Plantio mecanizados x Qualidade da cana na região Centro-Sul

Fonte: (BRASIL, 2014f, p. 10)

Além do benefício de proporcionar a eliminação das queimadas, a colheita mecânica da cana crua substitui de 80 a 100 trabalhadores, gerando benefícios econômicos. Porém, os equipamentos atuais ainda não apresentam uma performance considerada adequada. A principal reclamação quanto às colheitadeiras tem sido o problema de compactação do solo. Os métodos de plantio e as variedades de cana também não foram historicamente desenvolvidos no Brasil visando a mecanização. O equipamento, métodos de plantio e

variedades precisam ser melhor integrados e desenvolvidos para funcionarem adequadamente em conjunto.

Historicamente a plantação era feita pela equipe que em outra época trabalhava na colheita. A mecanização da colheita acabou também por impulsionar a mecanização do plantio da cana pela ausência de mão-de-obra. Além disso, a questão de espaçamento, linearidade e outras características que facilitassem a colheita mecanizada, também impulsionaram o uso do plantio mecanizado.

Atualmente não se utilizam equipamentos específicos para colher a cana que servirá como muda. Essa atividade é realizada por colhedora adaptada com um kit de emborrachamento. Esse processo não vem funcionando adequadamente e os rebolos tem sido colhidos com parte das gemas danificadas. Em seguida, há outro processo que causa danos às gemas na passagem da colhedora para o veículo de transporte e desse para as plantadoras. Para compensar os danos causados às gemas, as usinas e plantadores de cana têm optado por aumentar a quantidade de rebolos utilizados. Manualmente eram utilizados de dez a doze toneladas de rebolo/ha. No plantio mecanizado esta quantidade aumentou para entre dezesseis e vinte toneladas. Esse problema tem sido agravado pela dificuldade das plantadeiras atuais em dosar adequadamente a quantidade de mudas por área. O aumento da quantidade necessária de rebolos causa perdas econômicas pelo uso de mais matéria-prima. A carência de equipamentos com sistemas de posicionamento mais precisos (como o GPS) também é relatado como um problema a ser resolvido nas plantadeiras de cana.

Ao longo da história do setor, foi observada pouca ação empresarial no desenvolvimento de equipamentos para colheita e plantio mecanizado da cana-de-açúcar, caracterizando-se a FSI de Atividades Empresariais como inadequada. Só recentemente empresas multinacionais adquiriram empresas brasileiras de colheitadeiras e passaram a atuar no setor. Até pouco tempo atrás a FSI de Criação de Legitimidade também não era adequada já que o setor era visto como um importante utilizador de mão-de-obra, que era abundante e de baixo custo. As FSIs de Criação de Conhecimento e de Direcionamento da Pesquisa também foram consideradas quase que totalmente ausentes até recentemente.

4.3 Gestão do Governo Federal sobre o SS no período recente

4.3.1 Gestão macroeconômica e tributária

Na história recente do Brasil, o combate à inflação tem sido um grave problema na gestão macroeconômica do país. A diferenciação da Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico - CIDE nos combustíveis, introduzida em 2001, foi uma das medidas

que incentivou a retomada no uso do etanol. Nos anos recentes, essa contribuição passou a ser utilizada como instrumento para diminuir o impacto dos aumentos de preço da gasolina nas refinarias para o consumidor final, de maneira a diminuir o impacto na inflação (PINHEIRO NETO; BRAGA JÚNIOR, 2013).

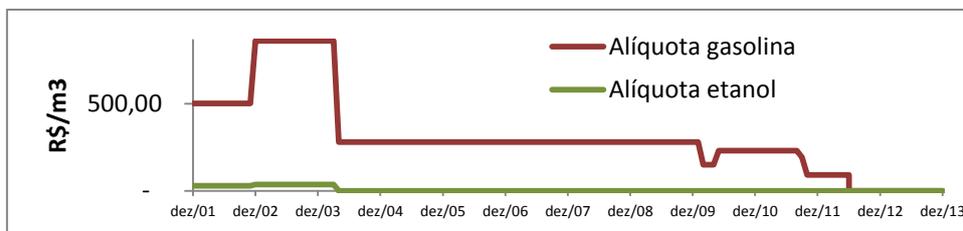


Figura 20 - Evolução da CIDE

Fonte: Legislação

A diferenciação tributária nas alíquotas da CIDE, que originalmente era favorável ao etanol deixou de existir. Ainda com o objetivo de ajudar a redução da inflação, o preço de venda da gasolina pela Petrobrás, observado na Figura 21, tem sido inferior ao do Golfo dos EUA, que é considerado como um padrão internacional de preços para este derivado de petróleo. Poderia ser considerado que a Petrobrás tem um custo de produção inferior à média internacional e por isso teria condições de vender a gasolina mais barata. Contudo, a Petrobrás não é capaz de atender toda a demanda do mercado interno de gasolina e entre 2010 e 2014 importou quantidades crescentes de gasolina a um preço superior ao da venda -

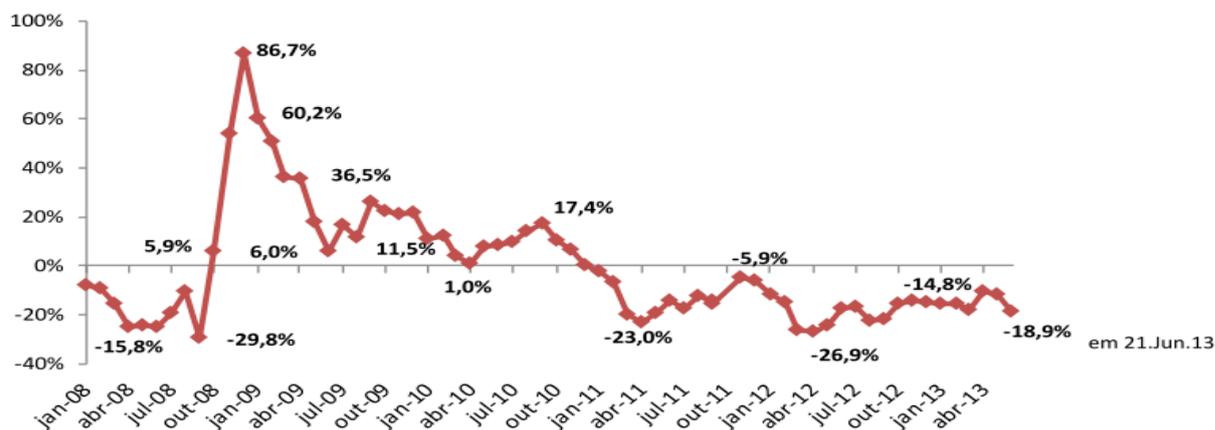


Figura 21 - Preços da gasolina - Brasil x Mercado Internacional (U.S. Gulf Coast). Além do prejuízo ao setor de etanol, que vem sendo fortemente impactado por esta política artificial de preços, a crescente importação de gasolina tem causado impacto negativo crescente na balança comercial do país.

Ao mesmo tempo em que controla o preço da gasolina, o governo ofertou compensações ao setor de etanol. Em sete de maio de 2013, a Medida Provisória nº 613

instituiu crédito presumido da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS na venda de álcool combustível, até 31 de dezembro de 2016. Na prática esse crédito presumido teve o efeito de zerar a cobrança do PIS/COFINS no etanol. A medida foi vista como uma forma de recompor parte da lucratividade do setor.

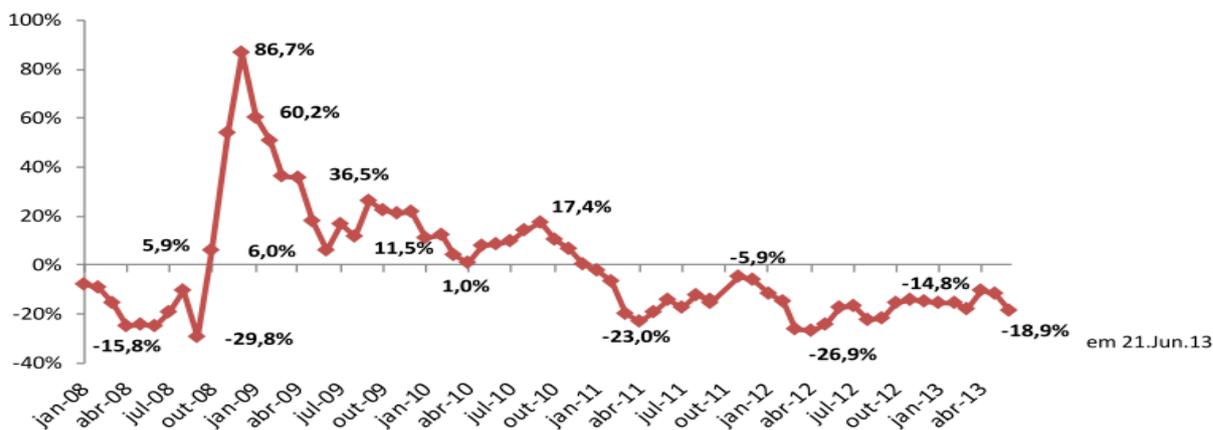


Figura 21 - Preços da gasolina - Brasil x Mercado Internacional (U.S. Gulf Coast)
 Fonte: (NASTARI, 2013)

No segmento financeiro, o BNDES passou a ofertar uma linha de crédito denominada Prorenova, com o objetivo de aumentar a produção de cana-de-açúcar no país, por meio do financiamento à renovação e implantação de novos canaviais (BRASIL, 2014j). A taxa de juros inicial de 9,5% foi reduzida em 2013 para 5,5%, abaixo da inflação. Também foi instituído o Programa BNDES de Apoio ao Setor Sucroalcooleiro (BNDES PASS), com o objetivo de financiar a estocagem de etanol combustível. A taxa de juros inicial do PASS também foi reduzida em 2013 de 10% para 7,7%.

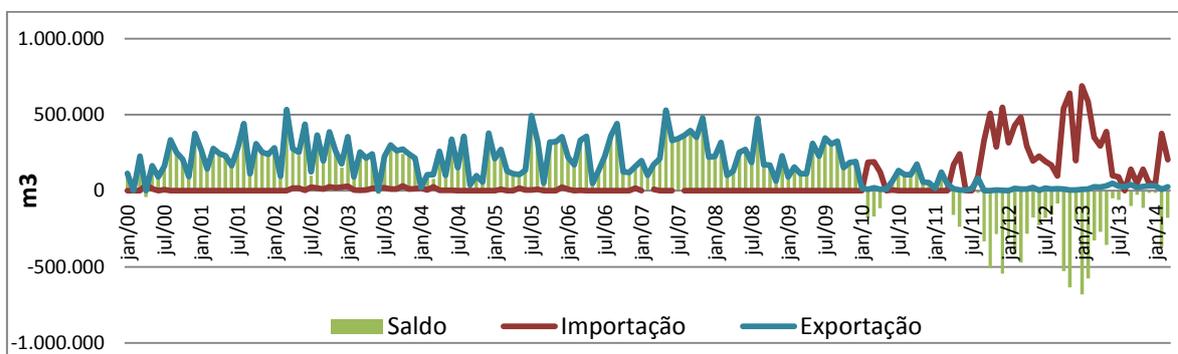


Figura 22 - Balança Comercial – Gasolina
 Fonte: (BRASIL, 2014i)

Um evento interessante para analisar o comportamento dos atores do setor ocorreu em março de 2011. Na Figura 23 pode ser observado que o preço do etanol anidro passou do patamar de R\$ 1,20/l em fev/2011 para algo próximo a R\$ 2,40/l em mar/2011. Conforme apresentado nos gráficos sobre produção de etanol, 2011 foi um ano de redução de produção, mas não se poderia afirmar que faltaria etanol anidro no mercado. Por que então essa subida de preço tão brusca? Nas entrevistas realizadas não se obteve nenhuma informação relevante sobre esse período tão atípico.

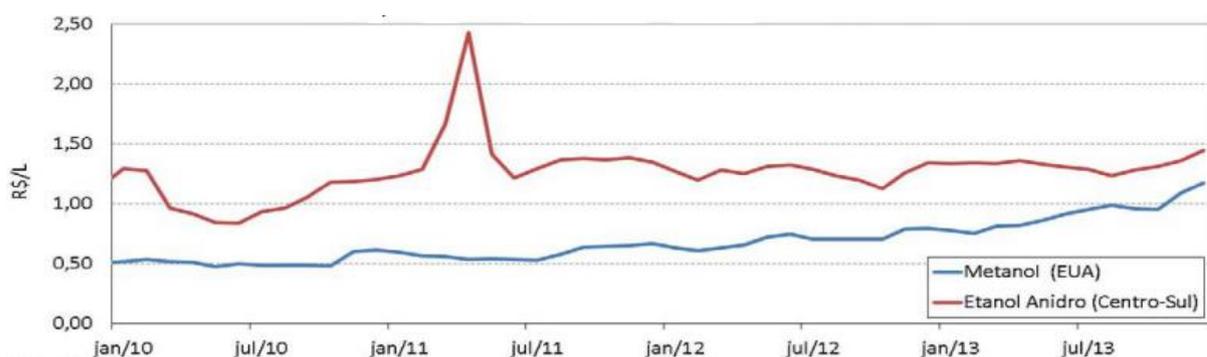


Figura 23 - Preços etanol anidro e metanol

Fonte: (BRASIL, 2014k)

Apesar de ter um custo médio de produção 6% superior ao etanol hidratado, em média, o etanol anidro tem sido comercializado por valores 13% superiores ao etanol hidratado. Com uma demanda garantida, é normal que essa situação ocorra. A hipótese sobre o episódio de março de 2011 é que em plena entressafra no Centro-Sul, tenha havido uma tentativa conjunta dos produtores de recuperar a rentabilidade perdida no etanol hidratado, com um aumento nos preços do etanol anidro. Contudo, a resposta do governo foi ágil. Em abril de 2011, foi promulgada a Medida Provisória 532, convertida na Lei 12.490, que traz duas modificações relevantes para o setor. O etanol, que até então vinha sendo controlado pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e considerado como um produto agrícola, passa a ser tratado como combustível e fiscalizado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A banda da mistura de etanol anidro à gasolina que era de 20 a 25% foi alterada, com a diminuição do mínimo para 18%. Apesar de não ter modificado imediatamente a mistura de etanol, somente a reação rápida do governo e a “ameaça” de redução foi suficiente para que os preços retornassem a patamares mais coerentes com a série histórica. Ainda em 2011, a Portaria MAPA nº 678 reduziria a mistura do etanol anidro na gasolina para 20% a partir de 01/10/11, só tendo voltado ao patamar de 25% a partir de 01/05/2013.

Coerente com a previsão teórica de Mahoney e Thelen (2010) a mudança institucional foi ocasionada por uma crise. Após o evento, algumas alterações relevantes foram introduzidas para o setor, cuja nova regulamentação será analisada a seguir.

A FSI de Formação de Mercado, que é considerada muito relevante no setor de energia, tem sido a mais severamente impactada de forma negativa pela gestão macroeconômica federal. Ações para mitigar este impacto foram tomadas, porém com eficácia limitada. A falta de competitividade do etanol hidratado frente à gasolina tem impactado severamente a lucratividade do setor e impedido o desenvolvimento da FSI de Atividades Empresariais.

4.3.2 A nova regulamentação do SS

A Lei nº 12.490/ 2011, incluiu na política energética nacional vários objetivos ligados aos biocombustíveis: a) garantir o seu fornecimento em todo o território nacional; b) incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis; c) promover a competitividade do Brasil no mercado internacional de biocombustíveis; d) atrair investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis; e) fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável; e g) mitigar as emissões de GEE. Tais objetivos reforçam o caráter estratégico dos biocombustíveis na matriz energética nacional, bem como criam para o gestor da política energética obrigações de estabelecer mecanismos de desenvolvimento sustentável deste segmento. Com um consumo de gasolina e etanol de 52,18 bilhões de litros em 2013 (BRASIL, 2014i) e crescendo de forma acelerada, foi criado um Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis. Esse Sistema é relevante para estabilizar o preço, já que o etanol de cana-de-açúcar, produto de origem agrícola, tem uma safra que dura somente oito meses. Também foram introduzidas definições de biocombustíveis, etanol e bioquerosene de aviação. É relevante destacar que as definições são amplas e modernas, não vinculando os biocombustíveis a um tipo de matéria-prima, ou a um processo específico de produção. Do modo como estão as definições, a lei já estaria adequada para permitir a produção de biocombustíveis de segunda geração. Apesar de ainda não haver uma política definida para o biocombustível de aviação, já há movimentação governamental e principalmente da iniciativa privada quanto ao tema.

Ainda relevante sobre a Lei nº 12.490/2011, foi a criação da obrigatoriedade de autorização de registro na ANP para atuar no setor, bem como para modificar ou ampliar suas instalações. A inserção destas modificações permite à Agência reguladora conhecer com

detalhes a capacidade produtiva do segmento, bem como acompanhar os movimentos de expansão e ajustes que vêm ocorrendo no mercado. Tais informações são essenciais para tomada de decisão sobre o setor.

Após a promulgação da lei, em dezembro de 2011, a ANP editou a Resolução nº 67. A aquisição do etanol anidro pelo distribuidor passa a ter várias exigências (arts. 3º a 9º da Resolução): a) optar pela aquisição por meio de contrato de fornecimento ou compra direta/spot; b) manter volume de aquisição compatível com 90% da comercialização da gasolina C; c) apresentar cópia dos contratos de compra na ANP; e d) estoque próprio mínimo em 31 de março de cada ano compatível, no mínimo, com 15 dias de sua comercialização média de gasolina C. Os produtores de etanol anidro, a cooperativa de produtores de etanol ou a empresa comercializadora também passaram a ter exigências de estoque. Em agosto de 2012, a Resolução ANP nº 26 regulamentou a atividade de produção de etanol, abrangendo a construção, ampliação de capacidade, modificação e operação de usinas. Para Castro (2012) a nova regulação do mercado de etanol caracteriza-se por uma maior intervenção do Estado, por meio de regras de controle da produção, comercialização e estocagem desse produto. Contudo, o autor destaca ainda que é necessária uma intervenção racional do Estado, que compatibilize “a regulação com os princípios constitucionais da livre iniciativa, livre concorrência, propriedade privada e defesa do consumidor, sob pena de inviabilizar a competitividade do produto e o próprio mercado” (p. 544).

As alterações na regulamentação do SS são vistas como uma mudança institucional relevante, vinculadas à FSI de Criação de Legitimidade. O etanol celulósico e outros biocombustíveis como o de aviação também são positivamente afetados quanto à FSI de Criação de Legitimidade. Esse processo está em curso, levando em conta que a definição consta da lei, mas ainda há carência de regulamentação por parte da ANP. Esta lentidão no processo regulatório para os novos biocombustíveis pode ser associada com a carência da FSI de Mobilização de Recursos.

4.3.3 O Planejamento Energético e o Plano Nacional de Mudanças Climáticas

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, criada pelo Decreto nº 5.184/2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras

(BRASIL, 2014). Em 2007, a EPE publicou o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030, primeiro estudo de longo prazo orientado para o exame integrado do uso dos recursos energéticos realizado no âmbito do governo brasileiro (BRASIL, 2007). Em 2013 a EPE lançou um Termo de Referência para preparação do PNE 2050.

A partir de 2006 a EPE passou a publicar anualmente o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, que desde 2007 incorporou uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de diversos energéticos, além da energia elétrica. No PDE 2022 se considera que o Plano é mandatório: “O Estado Brasileiro exerce, na forma da lei, as funções de planejamento, o qual é **determinante para o setor público** e indicativo para o setor privado” (BRASIL, 2013b, p. v, grifo nosso). No entanto, quando se trata de etanol, em vários momentos, quando questionados sobre as ações que estão sendo executadas para atingir os volumes de etanol previstos nos PDEs, representantes do Governo afirmam que o PDE é um estudo de previsão e não uma meta a ser seguida.

Conforme pode ser visto na Tabela 7, o PDE 2017 apresenta uma grande expectativa no aumento de produção de etanol no país, que apresenta crescimento no PDE 2020 e posteriormente é reduzida nos PDEs 2021 e 2022. Também é interessante observar que o PDE 2017 previa um decréscimo no consumo de etanol anidro, indicando que na época de elaboração se acreditava que o etanol hidratado, competitivo frente à gasolina, iria substituí-la em grande parte.

No PDE 2022 nota-se uma mudança bastante forte na composição entre etanol anidro, que tem uma previsão quase 100% superior ao PDE 2021 e uma redução proporcional no etanol hidratado. Tal cenário é reflexo da crise atual do setor. Com menor competitividade do etanol hidratado frente à gasolina, a EPE passou a considerar um maior consumo de gasolina C e, portanto, de etanol anidro. Pela primeira vez, a EPE também passou a considerar a importação de etanol anidro. Fato que já vem ocorrendo como relatado anteriormente.

| | EH (bilhões de litros) | EA (bilhões de litros) | EA importado (bilhões de litros) | Etanol Total (bilhões de litros) | Consumo final energético de bagaço de cana (10 ³ tep) |
|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| PDE 2022 | 36 | 18 | 0,5 | 54,5 | 43.438 |
| PDE 2021 | 51,98 | 9,63 | | 61,61 | 50.010 |
| PDE 2020 | 55,88 | 7,18 | | 63,06 | 50.698 |
| PDE 2019 | 47,25 | 5,12 | | 52,37 | 53.466 |
| PDE 2017 | 48,77 | 4,44 | | 53,21 | 22.162 |
| PDE 2016 | 22,62 | 6,63 | | 29,25 | 21.736 |

Tabela 7 - Previsões dos PDEs para o Setor Sucroenergético

Fonte: PDEs de 2016 a 2022, elaboração própria

* Em alguns anos o PDE apresentou os dados pelo limite inferior e limite superior da projeção. Nestes casos o dado apresentado representa o limite superior

** Não foi publicado o PDE 2018

*** O PDE 2015, o primeiro elaborado, só tratava de energia elétrica

As mudanças nos PDEs constataam que os mesmos são uma projeção realizada a partir dos cenários desenhados, conforme declarado nos documentos, e a partir dos dados econômicos atuais dos setores. Os mesmos não representam metas a serem perseguidas pelo setor público.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi lançado no dia 1º de dezembro de 2008, com a proposta de “incentivar o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como objetiva a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais” (BRASIL, 2014m).

Dentre os objetivos específicos do PNMC consta: 4) Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transporte nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis. Uma das metas expressas no PNMC é o aumento da oferta de energia elétrica de co-geração, principalmente a partir do bagaço de cana-de-açúcar, para 11,4% da oferta total de eletricidade no país, em 2030 (BRASIL, 2014m). Ou seja, os biocombustíveis e a co-geração de energia elétrica a partir do bagaço de cana são centrais para atingir o objetivo do PNMC.

O aumento da penetração de biocombustíveis também está presente nos compromissos internacionais do Brasil no âmbito do Acordo de Copenhague, onde consta: “Increase the use of biofuels (range of estimated reduction: 48 to 60 millions tons of CO₂ eq in 2020)” (BRASIL, 2010a).

Para o atendimento do PNMC, o Decreto nº 7.390/2010 prevê a elaboração de Planos Setoriais com a inclusão de ações, indicadores e metas específicas de redução de emissões e mecanismos para a verificação do seu cumprimento. Este mesmo Decreto transformou o PDE em Plano Setorial de Mitigação e Adaptação para o segmento de energia. Aqui se observa certa incoerência, o PDE é um estudo que prevê a produção a partir dos cenários econômicos avaliados e não uma meta a ser seguida. Nesse caso o PDE ser adotado como Plano Setorial de Mitigação e Adaptação para o segmento de energia indica falta de coerência entre os discursos e as políticas. Os sinais relativos à FSI de Criação de Legitimidade passam a ser dúbios. O PNMC afirma a importância do SS, mas adota metas estabelecidas pelos PDE's, que na prática são apenas projeções econômicas. Esta incoerência sobre o PDE ser ou não

uma meta a ser atingida, indica que a institucionalização do setor de energia no Brasil ainda encontra-se em curso e algumas incoerências ainda necessitam ser tratadas.

4.3.4 Equipe de Pessoal do Governo Federal envolvida com o SS

Atualmente, no Governo Federal, existem diversos órgãos envolvidos na gestão do SS, cujo breve panorama é apresentado a seguir.

No Ministério da Fazenda (MF) o tema é tratado na Secretaria de Acompanhamento Econômico, na Coordenação-Geral de Energia – COGEN. A equipe da coordenação é de oito técnicos, incluindo o coordenador, sendo três para tratar de combustíveis (incluindo etanol, biodiesel e fósseis).

No Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) o tema é tratado na Secretaria de Desenvolvimento da Produção na Coordenação-Geral de Análise da Competitividade e Desenvolvimento Sustentável (CGACDS). A equipe da coordenação é de seis técnicos, incluindo a coordenadora, sendo duas para tratar de todas as energias renováveis.

No Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) o tema é tratado na Secretaria de Produção e Agroenergia, no Departamento de Cana-de-Açúcar e Agroenergia. O Departamento conta com sete técnicos. A Coordenação-Geral de Açúcar e Álcool que trata especificamente de etanol conta com quatro técnicos, incluindo o Coordenador-Geral.

No Ministério de Minas e Energia (MME) o tema é tratado na Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, no Departamento de Combustíveis Renováveis, que conta com oito técnicos. A Coordenação-Geral para etanol conta com três técnicos, incluindo o coordenador e o diretor que também trata do tema.

No Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) o tema é tratado na Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) na Coordenação-Geral de Tecnologias Setoriais. A equipe da coordenação é de 10 técnicos, sendo três para tratar de biocombustíveis (etanol e biodiesel), incluindo o coordenador.

Verifica-se que a quantidade de técnicos do governo federal envolvidos com o tema é bastante reduzida, indicando a pouca relevância dada ao SS na atualidade. A FSI de Mobilização de Recursos passa a ser vista como negativa no nível federal. Quanto à FSI de Criação de Legitimidade, observa-se que a mesma teria um caráter neutro. Existem técnicos/equipes dedicados ao tema e o mesmo está organicamente alocado nas instituições.

Apesar de serem poucos técnicos o tema é tratado de forma contínua e conta com técnicos experientes nas instituições.

| Ministério | Quantidade de técnicos* |
|---------------|-------------------------|
| MF | 1 |
| MDIC | 0,5 |
| MAPA | 4 |
| MME | 3,5 |
| MCTI | 1,5 |
| Total: | 10,5 |

Tabela 8 - Quantidade de técnicos envolvidos com o Setor Sucroenergético nos Ministérios

Fonte: elaboração própria com base em pesquisa realizada com técnicos do Governo Federal

* A quantidade de técnicos foi ponderada pela quantidade de temas tratados.

4.3.5 As novas ICTs públicas ligadas ao SS

No Anexo I é relatado que historicamente o SS desenvolveu-se na área agrícola apoiado em ICTs como o IAC, ESALQ, RIDESA e CTC, mas que na área industrial, o desenvolvimento tecnológico deu-se sem a participação expressiva das ICTs públicas. As evoluções foram basicamente introduzidas pelas empresas de base do setor, com participação do CTC e caracterizaram-se por um processo de importação de tecnologias de outros setores e países, com a engenharia nacional integrando os projetos.

Com a retomada do setor na década de 2000, observa-se que os gestores políticos percebem tal carência, tendo sido criadas duas ICTs públicas com finalidade de pesquisar a área industrial do etanol, bem como reforçar as pesquisas na área agrícola. Serão avaliadas um pouco mais detalhadamente a criação da Embrapa Agroenergia e do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

4.3.5.1 A criação da Embrapa Agroenergia

Em 2005, o MAPA publicou o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (PNA), que considera que o investimento em pesquisa é a base para o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, permitindo a identificação de plantas mais aptas, sistemas de produção mais eficientes e regiões com elevado potencial de produção; e que novas tecnologias

industriais representam a essência da transformação de produtos agrícolas em biocombustíveis (BRASIL, 2005).

No referido documento é clara a preocupação com o mercado internacional. Um dos objetivos específicos do PNA é: induzir a criação do mercado internacional de biocombustíveis, garantindo a liderança setorial do Brasil. Essa preocupação também poderá ser observada na criação do CTBE, descrita no próximo tópico. No PNA, a preocupação ambiental, que pouco era tratada no Proálcool, já é considerada como um dos fundamentos da política: “Os programas de agroenergia deverão estar aderentes à política ambiental brasileira e em perfeita integração com as disposições do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto” (p. 11). Para o PNA, “uma das forças propulsoras da demanda por agroenergia será a pressão ambiental pela substituição de combustíveis fósseis” (p. 8). Verifica-se no documento que apesar de utilizar como uma das motivações para se investir na agroenergia a redução da importação do petróleo e de seus derivados, este não é mais o foco principal como era no Proálcool.

Outro ponto relevante do PNA é o fato de ser um dos poucos documentos do governo brasileiro a tratar a agroenergia de maneira integrada, propondo que se cuide do etanol e co-geração de energia; biomassa florestal e resíduos; biogás; e biodiesel. Um dos fundamentos do plano é a fundação da Embrapa Agroenergia. A proposta era que a Embrapa criasse uma unidade descentralizada de pesquisa, com o papel de: a) Coordenar as ações de pesquisa em agroenergia; b) Representar um órgão de aglutinação de conhecimentos e competência específica, hoje espalhada em diversas Unidades da Empresa; c) Captar especialistas com competência ainda não incorporada ou internalizada no perfil técnico-científico da Empresa, mas necessárias para apoiar o Plano Nacional de Agroenergia; e d) Ser vista como centro de referência na Embrapa, a partir do qual a Empresa se integrará a redes e consórcios multiinstitucionais que se formarem para a PD&I no assunto.

A Embrapa Agroenergia foi criada em 24/05/2006, tendo sua sede física sido inaugurada em 2012. No PNA, foi determinado que o programa de PD&I a ser conduzido se desdobraria nas quatro grandes áreas: o etanol e a co-geração de energia, provenientes da cana-de-açúcar; o biodiesel de fontes animais e vegetais; a biomassa florestal; e os resíduos e dejetos agropecuários e da agroindústria. Tendo cada uma dessas áreas que priorizar os temas: a) Zoneamento agroecológico; b) Melhoramento genético; c) Estudos socioeconômicos e estratégicos em desenvolvimento de cenários, estratégia e geopolítica; d) Estudos de competitividade em sistemas e custos de produção; e) Balanços energéticos dos ciclos de

vida; e f) Temas ligados ao Protocolo de Quioto, à redução da emissão de GEE e aos mercados de crédito de carbono.

A preocupação com o mercado internacional pode ser claramente observável na análise dos temas propostos para PD&I. Uma das críticas aos biocombustíveis, principalmente expressa pelos países da União Européia (UE) é a de que os biocombustíveis causariam impactos irreversíveis na diversidade ambiental. O zoneamento agroecológico teria como uma de suas finalidades definir locais adequados para o plantio das variedades adequadas para produção de energia, levando em consideração a manutenção dos biomas e da fauna. Os estudos sócio-econômicos avaliando conexões com temas ambientais, econômicos e sociais, também abordariam esta questão criticada no plano internacional.

Outro ponto frequentemente criticado quanto aos biocombustíveis é a sua efetividade na diminuição de emissão de GEE. Diversos estudos foram publicados, a partir da década de 2000, mostrando que de acordo com a matéria-prima utilizada essa redução era mínima e em alguns casos poderia inclusive ser negativa. A PD&I sobre balanços energéticos dos ciclos de vida e temas ligados ao Protocolo de Quioto trariam subsídios para essa discussão.

Ainda no plano internacional, o debate mais relevante é o de *food x fuel* (comida x combustível), com vários atores argumentando que a produção de combustíveis a partir de produtos utilizados para alimentação seria nociva. Esta argumentação é baseada na carência de alimentos para toda população, mas principalmente no fato da competição pela matéria-prima aumentar o preço dos alimentos. No PNA esse tema é tratado em vários momentos, sendo considerado como premissa que a “expansão da área de agricultura energética não poderá ocorrer à custa da contração da oferta de alimentos (p.54)“. Mas de forma geral o documento ressalta que no Brasil existe área disponível para aumentar a produção de agroenergia sem competir com os alimentos, e que, pelo contrário, co-produtos do biodiesel, como tortas de soja e de girassol, tendem a complementar a oferta de produtos para a alimentação humana e a animal.

Como uma instituição ainda relativamente recente e em formação, é difícil avaliar os impactos da Embrapa Agroenergia no setor. Os resultados mais relevantes até o momento foram a publicação dos zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma de óleo (dendê). As pesquisas com variedades de palma de óleo também têm sido reforçadas e são importantes para o Programa de Biodiesel. Contudo, não analisaremos essa questão por não ser diretamente correlata com o tema da tese.

A elaboração do PNA e a fundação da Embrapa Agroenergia são associadas principalmente com a FSI de Mobilização de Recursos. Observa-se também que a FSI de

Direcionamento da Pesquisa passa a ser bastante forte, com a instituição tendo tópicos específicos de trabalho, como a transgenia. Verifica-se ainda que a FSI de Criação de Legitimidade também teve forte impacto no processo. A instituição teve como motivação para sua criação a busca por resposta a vários questionamentos, principalmente no plano internacional, como comida x combustível, efetividade na diminuição de emissão de GEE e impacto ambiental.

4.3.5.2 A criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

Em 2005, o MCTI, por meio do Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), encomendou uma pesquisa exploratória ao Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE/Unicamp) para identificar os fatores limitantes da expansão em larga escala da produção brasileira de etanol (CTBE, 2014). Para atender ao grande volume necessário de etanol nos anos seguintes, seria preciso superar importantes gargalos tecnológicos. Iniciou-se um processo de discussão no MCTI sobre a criação de ambiente de pesquisa que agregasse os grupos de pesquisa brasileiros na área em torno de soluções para os gargalos identificados.

Em janeiro de 2010 foi inaugurado, em Campinas, o CTBE, cujo objetivo declarado é: estudar o ciclo cana-de-açúcar/etanol, com foco em tecnologias industriais de etanol celulósico. Busca-se, também, implantar o sistema de plantio direto no cultivo de cana e criar modelos de sustentabilidade para o setor. Por fim, almeja-se construir e atuar em uma agenda científica na área que possa solucionar os desafios da agenda tecnológica do Brasil (CTBE, 2014).

O CTBE está vinculado ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), uma Organização Social qualificada pelo MCTI, que opera os Laboratórios Nacionais por meio de um contrato de gestão. Este tipo de organização faz parte de um esforço de remodelagem da estrutura brasileira de CT&I. O CNPEM segue um modelo de organização que estabelece instituições responsáveis pela operação de grandes equipamentos como geradores nucleares experimentais, sincrotrones, usinas piloto, entre outros – e pela realização de pesquisas em áreas estratégicas e de segurança nacional constituídas com recursos públicos e, em muitos casos, abertas à comunidade científica acadêmica e empresarial. Além do orçamento advindo do Governo Federal, as atividades de pesquisa do CTBE podem ser subsidiadas por recursos provenientes de parcerias com empresas do setor público e privado e por projetos aprovados em instituições de fomento à pesquisa (CTBE,

2014). O principal diferencial do CTBE é a propriedade de uma Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos que possibilita a realização de testes de novas tecnologias em escala semi-industrial. O uso desta planta é compartilhado pela comunidade científica e pode ser utilizado por empresas do setor. O CTBE conta ainda com um Laboratório de Protótipos Agrícolas, com a finalidade de desenvolver maquinário agrícola específico para o setor.

São desenvolvidas também pesquisas básicas e sobre sustentabilidade, com a finalidade de avaliar o ciclo de vida de produção do etanol e a sustentabilidade de novas técnicas e métodos de produção. O CTBE possui competência para análise de balanço energético e de GEE, estoque de carbono no solo e impacto da mudança do uso do solo, impactos na água e na biodiversidade.

Observa-se que a criação do CTBE busca preencher a lacuna de conhecimento tecnológico no Brasil na área industrial de produção de etanol, principalmente em sua evolução para a segunda geração. Além disso, a criação no CTBE voltada para pesquisas sobre sustentabilidade incorpora a intensa discussão internacional sobre os efeitos da produção de biocombustíveis no meio ambiente. Essa mudança institucional é relevante, porém, devido ao pouco tempo de existência é difícil fazer uma avaliação dos resultados da criação do CTBE. Assim como a Embrapa Agroenergia, a criação do CTBE é associada principalmente com as FSI's de Mobilização de Recursos, de Direcionamento da Pesquisa e de Criação de Legitimidade.

4.3.6 Os recursos públicos federais para PD&I no SS

Os Fundos Setoriais são atualmente a principal fonte de recursos para PD&I no Brasil, funcionando como um instrumento estável e sempre crescente de receitas para o financiamento às atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação no Brasil (BRASIL, 2010b). São 14 fundos setoriais existentes no país, nenhum tratando especificamente de biocombustíveis, indicando que o SS tem recebido menor atenção governamental no que tange à PD&I. Numa análise realizada sobre os projetos dos fundos setoriais entre 1999 e 2006, somente 81 de todos os projetos tinham a palavra cana-de-açúcar – 0,5% do total (FURTADO; SCANDIFFIO; CORTEZ, 2011). Os autores consideram que desde a extinção do IAA houve uma significativa redução do suporte das agências públicas ao P&D no SS.

Contudo, O Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional (PACTI), definiu linhas de ação voltadas para programas de P&D em áreas consideradas estratégicas para o País. Essas linhas de ação não são exatamente as

mesmas dos fundos setoriais e contemplam os biocombustíveis. O Objetivo da linha de ação 10 – biocombustíveis é definido como:

Promover a Pesquisa e o Desenvolvimento de fontes de energias renováveis e de tecnologias energéticas limpas e eficientes, com destaque em biodiesel e etanol, por meio da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel – RBTB e da implementação de um centro de referência mundial em tecnologias do bioetanol, visando ao aumento da produção, ao desenvolvimento e à utilização de novas rotas tecnológicas, e de co-produtos e tecnologias para a produção sustentável de energia (BRASIL, 2010c, p. 154).

Na análise dos dados do FNDCT, desde 01/12/2001 até dezembro de 2013, constam 455 projetos apoiados na linha de ação 10 – biocombustíveis, totalizando R\$ 114.383.930,66 (valor do auxílio + valor das bolsas). A média de valor dos projetos foi de R\$ 251.393,25. Quantidade menor que a calculada por Cavalcante (2013) de R\$ 335 mil para todos os projetos do FNDCT e já considerada baixa pelo autor. Destaca-se ainda que 22,36% do total dos recursos para biocombustíveis foi utilizado em bolsas de pesquisa.

Na Figura 24 pode ser observado que duas linhas de ação mudaram de patamar no ano de 2013: Apoio à Inovação Tecnológica nas Empresas e Tecnologia para a Inovação nas Empresas. Tal fato é coerente com a reorientação focada em mudar o modelo fomento à inovação no Brasil, fato que será analisado adiante. Também pode ser observado que os biocombustíveis têm constantemente recebido pelo FNDCT recursos menores que o setor de Petróleo, Gás e Carvão. A participação de recursos destinados aos biocombustíveis vem constantemente perdendo participação percentual, com uma recuperação em 2013. De maneira geral é relevante destacar que os desembolsos do FNDCT que foram de R\$ 9,2 bilhões em 2003, se reduziram drasticamente ao longo dos anos, sendo de somente R\$ 213,1 milhões em 2013.

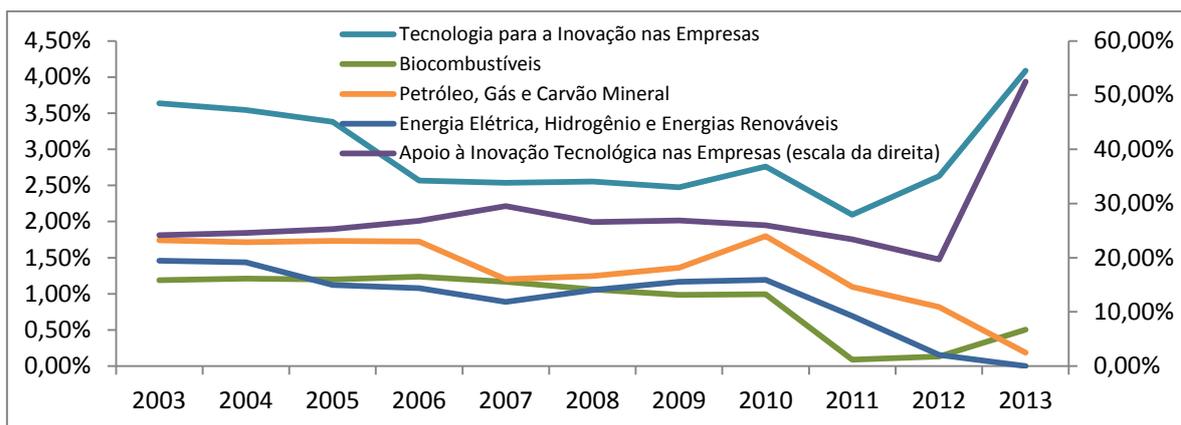


Figura 24 – Desembolso de recursos do FNDCT (%) - Áreas Selecionadas

Fonte: (BRASIL, 2014n), elaboração própria

Do orçamento federal para PD&I, os biocombustíveis basicamente contam com os recursos do FNDCT e eventuais chamadas como o PAISS e o PAISS agrícola. O Setor de Petróleo e Gás conta com a Cláusula 24^a - Cláusula de Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento, constante dos contratos de concessão para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e/ou gás natural. Esta cláusula estabelece que "caso a Participação Especial (PE) seja devida para um campo em qualquer trimestre do ano calendário, o concessionário está obrigado a realizar despesas qualificadas como pesquisa e desenvolvimento em valor equivalente a 1% (um por cento) da receita bruta da produção para tal campo." Esse volume de recursos tem crescido significativamente e em 2013 gerou R\$ 1,26 bilhão em obrigação de investimento em PD&I no setor de petróleo e gás (BRASIL, 2014o). Sistema similar ao de Petróleo e Gás existe no Setor Elétrico. As empresas concessionárias, permissionárias ou autorizadas de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica devem aplicar anualmente um percentual mínimo de sua receita operacional líquida no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica. Este 1% a ser aplicado pelas empresas do setor elétrico em atividades de P&D e eficiência energética é calculado sobre um montante, que no ano de 2013 foi de R\$ 133,2 bilhões.

Os biocombustíveis têm recebido do FNDCT recursos menores, mas em patamar similar aos segmentos de energia elétrica e de petróleo e gás. Contudo, estes outros dois segmentos contam com fontes específicas de recursos vultuosas, que os biocombustíveis não possuem. Tal fato é associado com uma baixa FSI de Mobilização de Recursos e consequentemente na deficiência da FSI de Criação de Conhecimento. Outro fato apresentado como problemático nas entrevistas é a falta de critérios adequados para seleção dos projetos, resultando em uma condição negativa também na FSI de Direcionamento da Pesquisa. Esta sistemática manutenção de menor alocação de recursos para novas tecnologias energéticas

comparado com as opções dominantes (petróleo e hidroeletricidade) é uma das principais motivações para o *carbon lock-in* (UNRUH, 2000).

4.3.7 O novo modelo de fomento à inovação no SS

Furtado, Scandiffio e Cortez (2011) relatam que em 2006 houve uma grande mudança na política federal de ciência e tecnologia. A Finep lançou um programa especial de garantias para financiar a inovação nas empresas no valor de R\$ 300 milhões. Nos anos de 2007 e 2008 projetos para cana-de-açúcar e etanol receberam R\$ 65 milhões, indicando uma mudança qualitativa na política federal de inovação para o etanol.

Em 2011, o BNDES e a Finep lançaram o Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS). Esse é um evento revolucionário para o setor e possivelmente para as atividades de fomento à inovação no Brasil como um todo. Em 2014, foi lançado, também em conjunto pelo BNDES e pela Finep, o PAISS Agrícola. Os dois planos de apoio à inovação serão analisados mais detalhadamente, a partir das publicações de diagnóstico que deram origem aos dois planos e da análise dos resultados preliminares do PAISS (NYKO et al., 2010, 2013a, 2013b).

4.3.7.1 O PAISS

Na avaliação do PAISS, Nyko et al. (2013b) destacam que na criação do Plano, dois fatores foram relevantes: a realização de um diagnóstico com claro recorte do(s) problema(s) ou oportunidade(s) a ser(em) abordada(s); e na mesma época, o recebimento no BNDES e na Finep de um projeto desafiador de inovação referente ao setor sucroenergético. Esse projeto demandaria que o centro de pesquisa proponente se articulasse com diversas empresas com possível interesse comercial na tecnologia. Além disso, também seria necessária coordenação entre os agentes públicos financiadores em virtude do alto risco do projeto e da necessidade de recursos de natureza não reembolsável. As discussões entre BNDES e Finep sobre o projeto recebido teriam evoluído para uma discussão mais ampla sobre as necessidades do SS referentes ao financiamento à inovação.

A equipe de biocombustíveis do BNDES já vinha trabalhando à época numa investigação sobre como apoiar o SS que vinha passando pela crise de 2008/2009, já retratada anteriormente, tendo então publicado um diagnóstico - A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada (NYKO et al., 2010). Nesse

diagnóstico, foi verificado que havia uma corrida mundial em busca de biocombustíveis celulósicos e que o Brasil não se encontrava bem posicionado. Os autores relatam como principais problemas: a) baixa articulação entre os agentes envolvidos no setor (empresas, instituições de pesquisa e financeiras); b) baixa participação do setor privado em investimentos de inovação; e c) iniciativas de pequeno porte, difusas e sem foco.

Além disso, o baixo grau de investimento no etanol 2G seria advindo do setor ter uma dinâmica inovativa voltada para o etanol 1G, já que há completo domínio tecnológico de suas etapas agrícola e industrial (NYKO et al., 2013b). Essa maturidade traria um reforço de manutenção. Com maior número de pesquisadores, estes aproveitariam melhor as oportunidades de apoio federal à inovação. Por sua vez, os órgãos de fomento também possuiriam mais conhecimento e facilidade de avaliação dos projetos. Os autores citam ainda a quase inexistência de empresas privadas atuando nas novas rotas tecnológicas

Ao verificarem que a produção de etanol de primeira geração utilizava de tecnologia industrial desenvolvida na década de 1980, que está próxima de seus limites teóricos, os autores buscaram identificar os possíveis ganhos do etanol celulósico (NYKO et al., 2010, 2013b): a) estimativas de ganhos substanciais de produtividade, em torno de 50% em termos de l/ha; b) parte da produção poderia ser exportada, principalmente para os EUA, onde o etanol celulósico, tem preços superiores ao convencional; c) a menor necessidade de terras diminuiria pressões sobre coberturas florestais nativas; e d) o debate comida x combustível também seria tratado pela produção a partir dos resíduos. Visando dar foco nas iniciativas do PAISS e evitar a dispersão de recursos em pesquisas desconectadas, se optou por restringir o acesso ao PAISS apenas a empresas e solicitar planos de negócios (PN), em vez dos tradicionais projetos de P&D. Os PNs deveriam considerar desde as fases de P&D básica e aplicada, passando pelas fases de escalonamento-piloto e demonstração e terem em sua etapa final a previsão de industrialização e/ou comercialização da tecnologia.

Nyko et al. (2013b) ressaltam que o modelo adotado invertia a lógica em vigor para fomento à inovação, no qual, em geral, ICTs apresentavam projetos de P&D para um determinado instrumento de apoio que desejasse – num modelo “de prateleira”. Além disso, no PAISS eram as empresas que deveriam liderar a iniciativa. Realizadas as apresentações dos PNs, as equipes do BNDES e Finep ofereciam sugestão de apoio por meio do instrumento considerado mais adequado. O PAISS contemplou então três linhas temáticas gerais: o etanol celulósico, os novos produtos (química verde) e as tecnologias de gaseificação. A Tabela 9 apresenta as empresas que tiveram planos de negócios aprovados para participar do PAISS.

Verges (2013) ao analisar os participantes do PAISS destaca a importância de haverem empresas de ramos diversos de atuação “buscando acumular conhecimentos e competência em processos de conversão de biomassa e ao mesmo tempo garantir acesso privilegiado à matéria-prima, a cana-de-açúcar” (p. 71). Empresas da indústria química como a Dow, DuPont, DSM, Kemira e Braskem estão participando do PAISS. A Eli Lilly (farmacêutica), Metso Paper (papel e celulose) e Abengoa (engenharia) também fazem parte do processo. Algumas empresas como a Bunge, a ETH e a Petrobras já são investidoras do SS. A Granbio é uma entrante com a finalidade de produzir bioenergia e bioquímicos. A Butamax é uma *joint venture* formada pela Petroleum e DuPont, em 2009, com a finalidade de desenvolver tecnologia e produzir butanol. A LS9 é uma empresa nova fundada com recursos de *venture capital* nos Estados Unidos para produzir diesel a partir de organismos transgênicos. A Mascoma também foi fundada com recursos de *venture capital* focada em produzir biocombustíveis celulósicos. O autor, ainda em sua análise do PAISS, ressalta que o CTC e o VTT (instituto finlandês de pesquisa avançada em diversos ramos, como biotecnologia, energia, eletrônica e química) passaram a atuar como empresas, tendo acesso direto aos créditos do PAISS.

| Razão Social | Linha I | Linha II | Linha III |
|--|----------------|-----------------|------------------|
| Abengoa Bioenergia Agroindustrial Ltda. | X | | |
| Agacê Sucroquímica Ltda. | | X | |
| Amyris Pesquisa e Desenv. de Biocombustíveis | | X | |
| Barauna Comércio e Indústria Ltda. | | X | |
| Bioflex Agroindustrial Ltda. | X | | |
| BIOMM S/A | X | | |
| Bunge Açúcar e Bioenergia Ltda. | | X | |
| Butamax Biocombustíveis Avançados | | X | |
| CTC – Centro de Tecnologia Canavieira S.A. | X | X | |
| Dow Brasil S/A | X | X | |
| DSM South América Ltda. | X | X | |
| Du Pont do Brasil S/A | | X | |
| Eli Lilly do Brasil Ltda. | X | | |
| ETH Bioenergia S.A. | X | X | |
| Ideom Tecnologia Ltda. | | X | |
| Kemira Chemicals Brasil Ltda. | | X | |
| LS(Brasil Biotecnologia Ltda. | | X | |
| Mascoma Brasil | X | | |
| Methanum Engenharia Ambiental Ltda. | | X | |
| Metso Paper South America Ltda. | X | | |
| Novozymes Latin America Ltda. | X | | |
| Petróleo Brasileiro S/A | X | | X |
| PHB Industrial S/A | | X | |
| Solazyme Brasil Óleos Renováveis e Bioprodutos Ltda. | | X | |
| VTT Brasil – Pesquisa e Desenvolvimento Ltda. | X | X | |

Tabela 9 - Lista de empresas com planos de negócios selecionados no PAISS

Fonte: BNDES (2012)

Na avaliação do PAISS, realizada em 2013, Nyko et al. (2013b) consideram que o Plano pode ser considerado um sucesso: 57 empresas iniciaram sua participação no processo seletivo; 39 foram selecionadas e convidadas a enviar seus PNs; 35 PNs de 25 empresas diferentes foram selecionados, derivando em 60 projetos; 21 empresas que não tinham histórico de projetos de inovação com o BNDES participaram do PAISS; e foram criados 7 consórcios entre empresas e 10 parcerias entre empresas e universidades.

O orçamento original do Plano, de R\$ 1 bilhão, se transformou numa carteira de projetos de R\$ 3,3 bilhões, dos quais R\$ 2,4 bilhões já estão aprovados ou contratados com o BNDES ou com a Finep. Entre as iniciativas, constam cinco plantas comerciais, cinco plantas de demonstração e mais sete unidades piloto. A comparação com os Estados Unidos e com a União Europeia relativos à perspectiva de produção de etanol 2G alterou-se significativamente, conforme mostra a Figura 25.

Além dos números apresentados, Nyko et al. (2013b) apresentam uma série de resultados positivos originados do PAISS: Grupos internacionais com tecnologia de ponta criaram subsidiárias no Brasil; Aprendizado para as equipes técnicas do BNDES e Finep; Melhor capacidade de análise dos projetos; e Melhoria na qualidade da apresentação dos projetos. Verges (2013) considera o PAISS como um dos motores de mudança do SPIS no período recente.

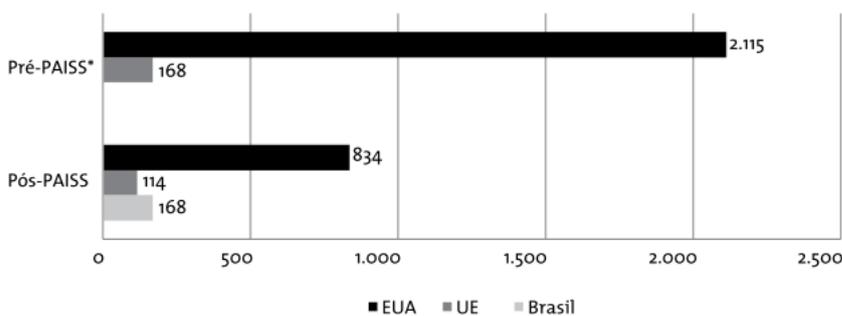


Figura 25 - Expectativa de produção de etanol 2G pra 2015 (em milhões de litros)
 Fonte: (NYKO et al., 2013b)

Além dos fatos já citados, o sucesso do PAISS pode ser verificado pelo surgimento de outros planos de fomento seguindo a mesma lógica de funcionamento. O BNDES e a Finep mantiveram-se como parceiros em todas as iniciativas, agregando-se outras instituições conforme o setor. Inova Petro: fomento à cadeia produtiva da indústria de petróleo e gás natural. Entidades patrocinadoras: BNDES, Finep e Petrobras. Inova Energia: fomento às

Redes Elétricas Inteligentes; geração de energia através de fontes alternativas; e veículos híbridos e eficiência energética veicular. Entidades patrocinadoras: BNDES, Finep e Aneel. Inova Saúde: fomento à inovação em diagnósticos *in vitro* e por imagem; dispositivos implantáveis; equipamentos eletromédicos e odontológicos; e tecnologias da informação e comunicação para saúde. Entidades patrocinadoras: BNDES, Finep e Ministério da Saúde. Inova Aerodefesa: Apoio à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação nas empresas brasileiras das cadeias de produção aeroespacial, defesa e segurança. Entidades patrocinadoras: BNDES, Finep, Ministério da Defesa e Agência Espacial Brasileira. Inova Agro: Apoio ao desenvolvimento e ao adensamento das cadeias produtivas de insumos para a agropecuária, de produtos e processos da indústria de alimentos e de máquinas e equipamentos para agropecuária. Entidades patrocinadoras: BNDES e Finep.

O PAISS e posteriormente os Inovas são iniciativas que tratariam de dois dos grandes problemas apresentados no SNI brasileiro: a falta de coordenação dos órgãos de fomento e a falta de recursos para investimentos de maior porte como plantas comerciais inovadoras, plantas de demonstração e plantas piloto.

Os resultados preliminares do PAISS são promissores. Quanto aos Inovas, lançados em 2013, ainda não há condições de se analisar os mesmos com mais profundidade, ainda que já seja possível afirmar que nem todos tiveram um estudo diagnóstico tão aprofundado quanto o realizado para o PAISS. Contudo, o *learning by doing* está ocorrendo e espera-se que estas primeiras iniciativas de ação conjuntas possam evoluir.

4.3.7.1.1 Os projetos industriais de etanol celulósico apoiados pelo PAISS

No âmbito do PAISS, quatro empresas estão conduzindo projetos industriais de produção de etanol 2G. Todos os projetos optaram por utilizar a rota da hidrólise enzimática, cujas etapas estão representadas simplificada na Figura 27. Neste processo, três etapas são novas para o SS, o pré-tratamento da matéria-prima, a hidrólise enzimática e a fermentação das pentoses. No pré-tratamento, a estrutura celular da matéria-prima é rompida, dando acesso às fibras de celulose e hemicelulose e à lignina. Na hidrólise enzimática, as enzimas rompem as fibras de celulose, liberando açúcares simples possíveis de serem fermentados. A hemicelulose é hidrolisada e gera açúcares de seis átomos de carbono - hexoses (C6) e açúcares de cinco átomos de carbono - pentoses (C5). A fermentação do caldo de cana já realizada atualmente basicamente fermenta os açúcares C6. O processo é similar,

porém os microrganismos utilizados necessitam ser diferentes, ou ser usada uma mistura de microrganismos que fermentem os dois açúcares.

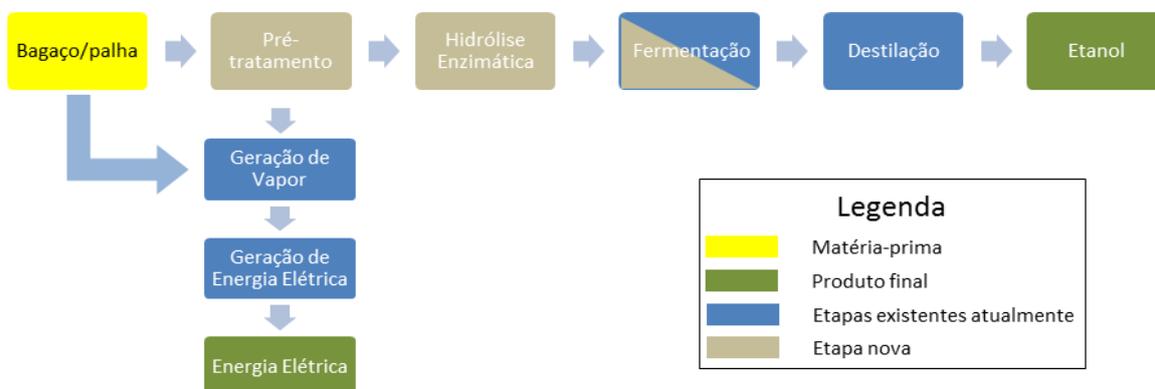


Figura 27 - Etapas de produção do etanol 2G

Fonte: Elaboração própria

Os quatro projetos industriais serão analisados brevemente, sendo dado destaque para as etapas novas necessárias no processo. A Tabela 10 apresenta um resumo dos projetos de etanol celulósico participantes do PAISS. O projeto do CTC, não será analisado, por ter sido considerado um projeto demonstrativo.

| Empresa(s) | Cidade (Estado) | Produção (milhões de litros) | Entrada em Operação | Investimento (milhões de reais) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Granbio/Carlos Lyra | São Miguel dos Campos (AL) | 82 | 2014/15 | 350 |
| Raízen | Piracicaba (SP) | 40 | 2015/16 | 210 |
| Odebrecht Agroindustrial | Sem definição | 80 | 2016/17 | Sem definição |
| Petrobras/ São Martinho | Quirinópolis (GO) | 40 | Sem definição | 240 |
| CTC | São Manoel (SP) | 3 | 2014/15 | Não disponível |
| Total: | | 245 | | |

Tabela 10 - Capacidade produtiva de etanol celulósico

Fonte: (BRASIL, 2014f, p. 49)

4.3.7.1.1.1 O Projeto de etanol celulósico da Granbio

A Granbio foi a primeira empresa a anunciar uma planta comercial de etanol de segunda geração no Hemisfério Sul, com previsão de produzir 82 milhões de litros anualmente (GRANBIO, 2014). É uma empresa nova, fundada em junho de 2011 e sem tradição no SS. A literatura sobre inovação ressalta que frequentemente é necessário que um

newcomer traga tecnologias externas para quebrar o paradigma de um setor. A Granbio representa esse entrante que introduziu uma mudança significativa no setor. Além da produção de etanol e bioquímicos, a Granbio pretende atuar do começo ao fim da cadeia produtiva integrando tecnologias próprias e de líderes mundiais, oferecer espécies vegetais ricas em celulose, soluções para o uso da terra, processos industriais integrados e enzimas e microrganismos adaptados à produção industrial (GRANBIO, 2014).

O projeto da empresa se destaca por não ser integrado totalmente a uma planta de etanol. A GranBio realizou alianças com usinas de primeira geração que garantem o fornecimento da matéria-prima. Em conjunto com os parceiros, a companhia desenvolve um sistema de coleta e armazenamento de palha de cana-de-açúcar que já está em operação em Alagoas. A palha que era deixada no campo agora é recolhida, enfardada e armazenada para, futuramente, ser transformada em etanol. Além da palha, a empresa utilizará outros resíduos, como o bagaço da cana-de-açúcar, e novas variedades energéticas, como a cana-energia, que é mais produtiva que a cana convencional e pode ser plantada em áreas degradadas de pastagens (GRANBIO, 2014).

A empresa também inaugurou em 2013 uma subsidiária denominada BioCelere para realizar pesquisas de biologia sintética. O foco da subsidiária é o desenvolvimento de leveduras brasileiras para fermentação industrial, que possam processar os açúcares celulósicos com rapidez e alto rendimento. A BioCelere também tem a função de radar para identificar as melhores tecnologias disponíveis no mundo – incluindo aquelas que ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento, mas que trazem um enorme potencial disruptivo (GRANBIO, 2014). Outra atividade tecnológica da GranBio envolve o desenvolvimento de uma nova variedade de cana batizada de Cana Vertix. A empresa busca uma cana mais robusta, mais resistente a pragas e a doenças e mais longeva, com teor de fibra e produtividade maiores que a planta convencional. O projeto é conduzido em parceria com o IAC e com a RIDESA que estão realizando os cruzamentos (GRANBIO, 2014).

As etapas de pré-tratamento da matéria-prima, hidrólise enzimática e fermentação na primeira usina da GranBio são todas de origem estrangeira. A Beta Renewables, empresa italiana, licenciou a tecnologia Proesa® para construção e operação da primeira planta de segunda geração do Brasil. A Chemtex, subsidiária do grupo italiano Mossi & Ghisolfi, tem um acordo para fornecimento de equipamentos críticos para a planta de etanol celulósico. A DSM, empresa holandesa tem acordo para fornecimento de leveduras industriais para fermentação de etanol celulósico. A Novozymes, multinacional dinamarquesa é a fornecedora de enzimas para hidrólise de celulose (GRANBIO, 2014). Em entrevista realizada com um

dos diretores da Granbio, foi ressaltado que não havia disponibilidade no Brasil de tecnologia comprovada para estas etapas e que, além disso, a opção foi por utilizar tecnologias que já tinham comprovação em escala industrial ou em planta piloto, reduzindo assim o risco tecnológico do projeto.

Em 2013, a imprensa notificou que a Granbio comprou 25% da empresa americana de tecnologia American Process Inc. (API). A motivação exposta para o negócio foi que “com o acordo, a GranBio terá acesso a uma plataforma de pré-tratamento de biomassa que torna possível, com custos reduzidos, desenvolver açúcar de celulose como matéria-prima para a conversão de uma grande variedade de produtos bioquímicos e biocombustíveis”. A empresa também montou uma equipe de desenvolvimento e prospecção de tecnologia nos Estados Unidos, inclusive com uma planta de demonstração. Na entrevista, o diretor relatou que é muito mais barato realizar atividades de P&D nos EUA. Além disso, foi destacado que houve tentativa de levar uma planta de demonstração usada para o Brasil e que esse processo foi impedido pela restrição de importação de equipamentos usados para o país. O diretor considera que no Brasil o ambiente é hostil à inovação e ao empreendedorismo, que são intimamente interligados. Para adquirir tecnologia americana, inclusive, o diretor ressaltou que teve que abrir uma empresa nos EUA, já que o licenciador tinha receio de não conseguir proteção suficiente no Brasil. O sistema judiciário seria considerado ineficiente no Brasil, ainda que a lei de patentes não fosse muito diferente do padrão internacional.

4.3.7.1.1.2 O Projeto de etanol celulósico da Raizen

A unidade de etanol celulósico da Raizen será construída em Piracicaba, ao lado da usina de primeira geração Costa Pinto (FOODY, 2013). A empresa considera haver diversas vantagens na integração da planta de primeira e segunda geração (MIZUTANI, 2013, p. 14). A) Vapor/fornecimento de energia: *retrofit* de caldeira existente e lignina como combustível para gerar energia e vapor. B) Gerenciamento da biomassa: Sinergia com os ativos existentes. C) Fermentação de C6: Conhecimento já desenvolvido. D) Destilação: sinergia com os ativos existentes. E) Uso de água/vinhaça: sinergia com balanço de água de 1G; retrofit do sistema de vinhaça existente; e *know how* sobre descarte da vinhaça. F) Sinergias operacionais entre os processos de 2G e 1G (suprimentos, lignina, escritórios, armazéns, manutenção etc).

Mizutani avalia que a palha pode ser a principal matéria-prima para o etanol 2G, se forem superados desafios logísticos, para os quais faltam uma definição que envolve tecnologia e os custos associados. As duas opções em avaliação são transportar a cana-de-

açúcar junto com a palha e fazer a separação na entrada da usina. A outra opção é deixar a palha no campo e utilizar um sistema de enfardamento.

A tecnologia a ser utilizada na planta de etanol celulósico será fornecida pela Iogen Energy, joint venture da Raizen com a Iogen Corporation, empresa de origem canadense. Foody (2013) relata em entrevista que a Iogen é pioneira na pesquisa de combustíveis renováveis, tendo as primeiras experiências com biocombustíveis celulósicos sido realizadas no final dos anos 70. Desde 2008 a empresa opera uma unidade produtora de etanol celulósico no Canadá e desde 2012, a Raizen tem enviado bagaço para realizar testes de performance com esta matéria-prima. A Iogen e a Raizen também realizaram acordo com a Novozymes para o fornecimento de enzimas (NOVA CANA, 2014).

O custo total do etanol celulósico obtido na escala de demonstração foi de R\$ 1,50 por litro, a meta é reduzir esse valor para o patamar médio de R\$ 1,10 por litro, que é o custo total do etanol convencional (VALOR ECONÔMICO, 2013). Para obter tal redução, a Raizen espera conseguir reduzir significativamente o OPEX do etanol 2G, principalmente o custo das enzimas.

4.3.7.1.1.3 O Projeto de etanol celulósico da Odebrecht Agroindustrial

A Odebrecht Agroindustrial também é uma empresa nova no SS, tendo sido fundada em 2007, com o nome de ETH. Originalmente com planos de investir exclusivamente na geração de energia elétrica e produção de etanol, a empresa passou também a atuar no segmento de açúcar. Diferente da GranBio, a Odebrecht Agroenergia investirá numa planta de produção de etanol 2G em sinergia com uma planta de 1G, em Santa Luzia/MS, com capacidade de 72.000 m³ anuais, com início da construção previsto para 2017 (NUNES, 2014).

Para a etapa de pré-tratamento, a Odebrecht realizou acordo com a Metso (CALMANOVICI, 2012), empresa de origem finlandesa líder em equipamentos para celulose no país (GOMES, 2013). Calmanovic (2012) anunciou, ainda, em apresentação no BNDES, que realizaria parceria com a empresa VIT. Não foi identificada nenhuma notícia posterior sobre esta parceria, ou obtida informação a respeito. Em 2013, foi anunciada uma parceria da Odebrecht com a Inbicon, empresa Dinamarquesa com experiência na área de hidrólise enzimática (INBICON, 2013; NUNES, 2014).

4.3.7.1.1.4 O Projeto de etanol celulósico da Petrobras/São Martinho

Com o intuito de agilizar as pesquisas para a produção do etanol de segunda geração, a Petrobras fechou parceria com a companhia estadunidense KL Energy Corporation (KLE), que já fazia testes com etanol celulósico a partir da madeira. Em 2011 foram investidos US\$ 11 milhões para adaptar a planta industrial da KLE em Upton, nos Estados Unidos. A finalidade foi de utilizar o bagaço como matéria-prima e validar o processo de produção de etanol celulósico com essa matéria-prima (PETROBRAS, 2014). A KLE concluiu os testes para produção de etanol a partir de bagaço de cana e enviou o etanol para avaliação da Petrobras, tendo pedido falência alguns meses a seguir (SCHILL, 2013).

4.3.7.1.1.5 Avaliação dos novos projetos em relação às FSIs

A ação empresarial relacionada com a implantação de unidades industriais de etanol celulósico confirma que o relacionamento entre as FSIs não tem um único caminho. Mesmo não havendo mercado segmentado para o etanol celulósico no Brasil, os recursos do PAISS caracterizaram as FSIs de Mobilização de Recursos e de Direcionamento da Pesquisa, que levaram ao fortalecimento da FSI de Atividades Empresariais e espera-se que também impactem positivamente às FSIs de Criação e de Difusão de Conhecimento. Além disso, a possibilidade de atender ao mercado dos EUA confirmou o inter-relacionamento entre SIs de diferentes países.

4.3.7.2 O PAISS Agrícola

O diagnóstico de Nyko et al. (2013a) elenca os problemas de redução de inovação na taxa de variedades e de baixo grau de desenvolvimento do maquinário agrícola para o SS, já tratados em seções anteriores. Em fevereiro de 2014, novamente numa ação conjunta do BNDES e da FINEP, é lançado o PAISS Agrícola, com a finalidade de fomentar tanto o desenvolvimento e a produção pioneira de tecnologias agrícolas como a adaptação de sistemas industriais, desde que inseridos nas cadeias produtivas da cana-de-açúcar e/ou de outras culturas energéticas compatíveis, complementares e/ou consorciáveis com o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar (BRASIL, 2014p).

Assim como no PAISS, podem participar da seleção empresas brasileiras que tenham interesse em empreender atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, bem como em produzir e comercializar os produtos e serviços resultantes dessas atividades. Mantém-se uma lógica de buscar o direcionamento das atividades de P&D pelas empresas que podem realizar parcerias ou consórcios com ICTs. Novamente a seleção será realizada pela apresentação de planos de negócio e não pela apresentação de projetos de pesquisa.

Nas linhas temáticas do PAISS Agrícola, percebe-se a busca por melhoramentos na geração de variedades da cana, maquinários agrícolas e técnicas que melhorem a integração cana-equipamentos. É introduzida uma novidade, que é o apoio a outras culturas energéticas. O Proálcool tinha entre seus objetivos desenvolver outras matérias-primas, mas não teve sucesso em avançar neste caminho. O histórico de conhecimento da cana-de-açúcar e a sua grande vantagem em produtividade à época fizeram com que a busca por alternativas ficasse mitigada. Contudo, existem alguns fatos novos que têm modificado esse cenário: a) O grande crescimento do consumo e a exigência da ANP de estoques de passagem aumentaram a pressão por diminuir ou se possível eliminar a entressafra; b) O desenvolvimento tecnológico de culturas como o sorgo sacarídeo tem aumentado bastante a sua produtividade; c) A dinâmica agrícola de plantar soja e em seguida plantar milho aumentou muito a disponibilidade deste produto no Brasil, principalmente no Centro-Oeste; e d) O desenvolvimento da tecnologia do etanol celulósico, também abriu caminho para uso de outras matérias-primas com menor teor de açúcar, mas que forneçam maior rendimento agrícola, a exemplo do capim elefante ou da cana energia. Algumas destas inovações já estão em curso e serão descritas brevemente.

A Usimat Flex foi a primeira a produzir etanol de milho no Brasil, no estado de Mato Grosso. As notícias relatam que a opção empresarial por consorciar a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e do milho foi motivada pela farta disponibilidade de milho na região da usina, associada à possibilidade de estocar o cereal e utilizar na entressafra da cana. Em 2012 a usina trabalhou 45 dias com o cereal e em 2013 usou além do milho o sorgo sacarídeo. Em reportagem de Lessa (2014), o gerente da usina afirma estar produzindo durante 335 dias, ao invés de 200 dias de safra de cana, com uma redução de 5% nos custos fixos da indústria. A repórter afirma que na entressafra da cana-de-açúcar as indústrias de Mato Grosso devem produzir cerca de 30 milhões de litros de etanol de milho. Dentre os fatores que levam o Estado de Mato Grosso a buscar o uso do milho está a ampla disponibilidade do produto, associado a um preço inferior ao de outras regiões, causado em parte pelos altos custos

logísticos de exportar o produto. Além disso, a disponibilidade comercial da tecnologia de produção do etanol de milho favoreceu a integração desta cultura à usina de etanol de cana.

No Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino, realizado em Piracicaba, várias empresas do SS reportam estar investindo na introdução e expansão desta cultura. Peraceli (2012) ressalta que a Raizen vê o uso do sorgo sacarino como complemento e não como substituto da cana-de-açúcar. São vistas como oportunidade pela Raizen e compartilhadas pelos demais apresentadores: possibilidade de estender a safra para a produção de etanol e cogeração; utilização da infraestrutura existente; plantio por sementes (menor tempo de plantio); ciclo curto (90 a 150 dias); melhoramento acelerado (+/- 6 anos). Burnquist (2012) destaca na Figura 28 a complementariedade da safra das culturas.

Godoy (2012) trata sobre a fermentação do sorgo na usina de etanol e considera que o comportamento é muito similar ao da cana, contudo aponta para algumas diferenças que poderiam reduzir a produtividade industrial e propõe que sejam feitos alguns ajustes para potencializar o uso do sorgo. Gurgel (2012) trata do Corte, Carregamento e Transporte (CCT) do Sorgo Sacarino, relatando que é possível utilizar os mesmos maquinários agrícolas da cana-de-açúcar, mas que são necessários ajustes específicos para reduzir as perdas. Nas apresentações realizadas no Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino observa-se que todos consideram que essa cultura é promissora quando utilizada de forma complementar à cana-de-açúcar. O uso do mesmo maquinário agrícola e da mesma instalação industrial é visto como a principal vantagem. Porém, ainda é necessária a aprendizagem tanto na etapa agrícola quanto na etapa industrial que permita otimizar essa sinergia.

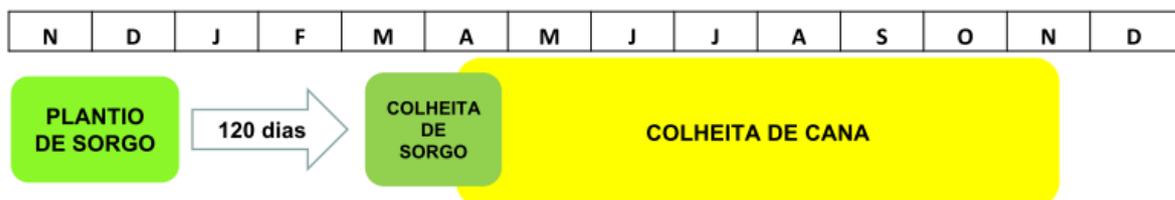


Figura 28 - Interação da safra cana e sorgo

Fonte: (BURNQUIST, 2012)

Assim como ressaltado pelos autores que tratam de Sistemas Nacionais e Setoriais de Inovação, a inovação não ocorre isolada, mas sim imersa num conjunto de inter-relações. Exigências regulamentares que caracterizam a FSI de criação de legitimidade, associadas com desenvolvimento tecnológico do setor e de outras culturas agrícolas que inicialmente não eram correlatas, caracterizam as FSIs de Criação e Difusão do Conhecimento e causam

condições para o surgimento de inovações no SS. Os órgãos de fomento percebem esta dinâmica e buscam reforçá-la com as FSIs de Mobilização de Recursos e de Direcionamento da Pesquisa.

4.4 A ação dos Estados

Conforme pode ser observado no Anexo II, até set/2009 quase que na totalidade dos estados brasileiros, o etanol hidratado apresentava uma relação de preço com a gasolina C favorável ao uso do biocombustível. A partir de então, a competitividade do etanol foi se reduzindo na maior parte do país. Além dos fatores já citados de intervenção do governo federal, fazem parte da composição de preços do etanol hidratado e, portanto da competitividade, a distância entre o local de consumo e a produção, bem como os impostos estaduais. Com um país com dimensões continentais e com uma parte significativa do etanol hidratado sendo transportada por caminhões, é natural que estados mais distantes, como os da região norte tenham um custo de frete bem superior e, portanto, uma menor competitividade para o etanol hidratado. Desde o fim de 2009, cinco estados têm mais períodos com o etanol hidratado competitivo: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná. Dos seis maiores estados produtores de etanol hidratado, somente Minas Gerais não tem apresentado preços competitivos do etanol hidratado para o consumidor. Parte da explicação para a melhor competitividade do etanol hidratado nos estados produtores é o valor reduzido do frete. Mas o maior componente de diferença no preço é relativo ao Imposto Sobre Circulação de Bens e Mercadorias (ICMS).

O ICMS é o tributo que mais afeta o preço dos combustíveis no Brasil. Na maioria dos estados tem uma alíquota de 25%, conforme pode ser visto no Anexo III. Contudo, alguns estados têm alíquotas reduzidas para o etanol hidratado. São Paulo é o estado com maior benefício neste quesito, já que a alíquota do etanol é menos de 50% da alíquota da gasolina. Cabe aqui ressaltar que no caso da gasolina, o ICMS é inteiramente recebido no estado de consumo. Já no caso do etanol, o ICMS tem o valor repartido entre o estado de produção e de consumo. As regras do ICMS para a gasolina e para o etanol no Brasil fazem com que os estados que não produzam o biocombustível tenham duas perdas tributárias no caso de reduzirem a alíquota do etanol: i) perdem o diferencial de redução da alíquota; e ii) perdem a arrecadação da gasolina (100% do ICMS), substituindo por uma alíquota menor e da qual só recebem 50%. Dos cinco estados que tiveram o etanol hidratado mantido competitivo por mais tempo recentemente, São Paulo, Paraná e Goiás possuem alíquotas menores de ICMS

para o etanol. Mato Grosso e Mato Grosso do Sul não possuem alíquotas diferenciadas, mas ofertam benefícios expressivos para o setor. No Mato Grosso a Lei Estadual nº 7.874/2002 instituiu o Programa de Incentivo às Usinas Produtoras de Álcool do Estado de Mato Grosso. No art. 3º da lei consta que as indústrias que atenderem às precondições definidas [...], será concedido um crédito fiscal relativo ao ICMS de 80% (oitenta por cento) do ICMS devido na saída do álcool da usina.

Pereira et al. (2007) expõem que no Mato Grosso do Sul os benefícios para o etanol podem ser sintetizados da seguinte forma: a) Operações dentro do estado, a redução se dá através do crédito recebido pelas distribuidoras de 16,75%, resultando numa alíquota de 8,25%; e b) Operações interestaduais - alíquota de 12%, a redução se dá através do crédito presumido de 9,6%, resultando numa carga tributária de 2,4%. Os benefícios tributários ofertados pelos estados produtores de etanol são associados com a FSI de Formação de Mercado.

4.4.1 A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

A FAPESP está ligada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Inovação e Tecnologia do Governo do Estado de São Paulo. Com um orçamento anual correspondente a 1% do total da receita tributária do Estado, a FAPESP apoia a pesquisa e financia a investigação, o intercâmbio e a divulgação da ciência e da tecnologia produzida em São Paulo. Furtado, Scandiffio e Cortez (2011) sugerem que seja possível que haja uma forte correlação entre o capital alocado pela FAPESP no SS e a competitividade de São Paulo na produção de açúcar e álcool. São citados pelos autores alguns grandes projetos apoiados pela fundação e considerados importantes para o setor. O projeto sobre o genoma da cana iniciado em 1998 identificou 50.000 genes da cana-de-açúcar. A criação da Alellyx e da CanaVialis, empresas novas e dedicadas a trabalhar com biotecnologia no SS foram parcialmente custeadas pela FAPESP. A Fundação também financiou uma planta piloto industrial de hidrólise ácida rápida patenteada pela Dedini e desenvolvida em parceria com o CTC. Juntamente com a Oxiten, empresa do ramo químico, a FAPESP lançou chamada para projetos de pesquisa para hidrólise ácida e enzimática. Junto com a Dedini, foi lançada outra iniciativa para produção de co-produtos da cana-de-açúcar, eficiência energética no processo industrial e ganhos de eficiência no processo de destilação e fermentação. A colaboração

Dedini-Fapesp previa investir R\$ 100 milhões, cada um contribuindo com metade do valor, num período de 5 anos para financiar pesquisas conjuntas entre a indústria e a universidade.

Lançado em 2008, o Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN) objetiva estimular e articular atividades de pesquisa e desenvolvimento utilizando laboratórios acadêmicos e industriais para promover o avanço do conhecimento e sua aplicação em áreas relacionadas à produção de bioenergia no Brasil, contando com cinco áreas de atuação (FAPESP, 2014): a) Divisão de Biomassa para Bioenergia (com foco em cana-de-açúcar); b) Divisão de Processo de Fabricação de Biocombustíveis; c) Divisão de Biorefinarias e Alcoolquímica; d) Divisão de Aplicações do Etanol para Motores Automotivos: motores de combustão interna e células-combustível; e e) Divisão de Pesquisa sobre impactos sócio-econômicos, ambientais e uso da terra.

A atuação da FAPESP reforça um movimento histórico de estabelecimento de um Sistema Regional de Inovação em São Paulo, acelerando adoção e geração de inovação no estado. A forte atuação da FAPESP no SS está associada com as FSIs de Mobilização de Recursos, Criação de Conhecimento, Difusão do Conhecimento e Direcionamento da Pesquisa.

4.5 O desenvolvimento nos motores flex

INEE (2014) relata que em 1984, a eficiência¹ dos carros a etanol hidratado (EH) chegou a ser 15% maior que a dos carros a gasolina semelhantes. Apesar de o etanol ter um conteúdo energético menor que a gasolina, outras propriedades do etanol, apresentadas na Tabela 11, também afetam o consumo. A “maior octanagem do etanol permite que os motores obtenham mais energia útil do calor do combustível, comparativamente à gasolina” (BRASIL, 2008, p. 42). A adoção de taxas de compressão mais elevadas podem permitir ganhos de eficiência de até 10% para o EH.

| Parâmetro | Unidade | Gasolina | Etanol |
|--|----------|-------------|-----------|
| Poder Calorífico | kJ/Kg | 43.500 | 28.225 |
| | kJ/litro | 32.180 | 22.350 |
| Densidade | Kg/litro | 0,72 – 0,78 | 0,792 |
| Octanagem RON (Research Octane Number) | - | 90 – 100 | 102 – 130 |

¹ Como o etanol hidratado e a gasolina possuem conteúdo energético diferentes, a eficiência é avaliada em MJ/km.

| | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|
| Octanagem MON (Motor Octane Number) | - | 80 – 92 | 89 – 96 |
| Calor latente de vaporização | Kj/kg | 330 – 400 | 842 – 930 |
| Relação ar/combustível estequiométrica | | 14,5 | 9,0 |
| Pressão de vapor | kPa | 40 – 65 | 15 – 17 |
| Temperatura de ignição | Grau C | 220 | 420 |
| Solubilidade em água | % em volume | ~0 | 100 |

Tabela 11 - Propriedades da gasolina e do etanol

Fonte: (BRASIL, 2008)

Na avaliação dos veículos no Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, foi constatado que no ciclo urbano o consumo do etanol é 2,5% maior que o da gasolina, e no ciclo estrada esta diferença é de 2,6% (NIGRO, 2013a). O autor considera que o Inovar-Auto² e outras iniciativas causaram uma melhora da eficiência geral dos veículos no Brasil, baseada principalmente em uma apropriação inteligente das tecnologias globais para gasolina: injeção direta, *downsizing* com turbo, comando variável eletronicamente, desligamento e acoplamento automático de cilindros, redução de inércia, atrito e desgaste, propulsão híbrido-elétrica ou híbrido-pneumática. Contudo, ao mesmo tempo que a eficiência global melhora, a relação de consumo entre o EH e a gasolina C tem se deteriorado. O autor alerta que o principal problema relacionado ao Inovar-Auto é o risco de importação de tecnologia para gasolina, ignorando o etanol.

Nigro (2013b) apresenta um conjunto de pesquisas sobre tecnologias que poderiam otimizar a eficiência do etanol em veículos flex:

- a) Devido a sua maior tolerância à diluição, o etanol é mais apto para as altas taxas de EGR (*exhaust gas recirculation*) previstas para as próximas gerações de motores (TOMANIK, 2011). Nigro considera que o uso do EGR poderá implicar em 2 a 3% de vantagem para o etanol no quesito eficiência.
- b) Um maior número de marchas permite aproveitar melhor o torque e a potência maiores do etanol com o motor em baixa velocidade e reduzir o consumo de combustível - mudança de marchas flexível (FRAIDL, 2013).
- c) A válvula de admissão com atuação variável permite um ganho de eficiência para o E85 de 5% em altas cargas a 20% em carga baixa (MOORE; FOSTER; HOYER, 2011).

² O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto) foi criado em 2012, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos e das autopeças. O Programa trabalha basicamente com a concessão de benefícios fiscais relativos ao IPI, na forma de crédito presumido, redução de alíquota e suspensão do imposto. Em contrapartida estipula gastos de P&D por parte das montadoras.

- d) Uma taxa de compressão variável utilizando um sistema Piston-Crank gera benefícios de eficiência no consumo de combustível de 4 a 5% na comparação entre o E100 e o E22 (NISSAN, 2014).
- e) O uso de injeção direta de etanol com *downsizing* e uso de turbo aumenta em 17% e 22% o torque e a potência, respectivamente, e melhora a economia de energia de 10 à 12% utilizando o E85 (YILMAZ et al., 2010).
- f) Com o uso de turbo e o *downsizing* dos motores, o maior consumo de combustível auxilia a controlar a temperatura. A economia de energia com o E85 pode atingir de 15 a 20% em comparação com a gasolina regular (FREELAND, 2013).

Em sua conclusão, Nigro (2013b) ressalta que a busca por economia está se tornando mandatória no mercado global e que os motores com injeção direta deverão representar mais de 50% do mercado em 2020, metade deles utilizando turbo. Estas características são favoráveis ao ganho de eficiência para o etanol, porém, o Inovar-Auto não incentiva melhorias específicas para o biocombustível. Na pesquisa realizada foi identificada apenas a ação da FAPESP em incentivar pesquisas para um melhor desempenho de motores a etanol ou flex utilizando o biocombustível. Observa-se aqui que a FSI de Criação de Legitimidade perdeu força na equipe que conduz o Inovar-Auto, levando a se reduzir os esforços para o desenvolvimento de tecnologias automotivas para o etanol e conseqüentemente reduzindo as FSIs de Direcionamento da Pesquisa e de Criação de Conhecimento. O esforço governamental para o desenvolvimento tecnológico de carros a etanol, que foi identificado no Anexo I como um dos principais motivadores para o sucesso do Proálcool, é praticamente nulo nas ações do governo federal.

4.6 A interação entre a oferta e a demanda por tecnologia no SPIS para o etanol 2G

O PAISS gerou investimentos em etanol 2G no Brasil, cujos projetos industriais foram brevemente avaliados. É interessante observar que os projetos utilizaram nas fases de pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação do C5, tecnologias desenvolvidas em outros países. Tal fato é coerente com a crescente globalização dos sistemas de inovação, nos quais as atividades de PD&I não ocorrem mais circunscritas às fronteiras nacionais, mas sim imersas numa dinâmica mundial.

Contudo, por que o Brasil, que foi líder mundial na tecnologia para produção de etanol de primeira geração de cana-de-açúcar, não foi capaz de desenvolver as tecnologias para o etanol 2G? Na seção 4.3.6, obtém-se parte da resposta: os investimentos em PD&I públicos são baixos no Brasil, dispersos em uma grande quantidade de projetos, com baixo valor e pouca relevância no sentido de gerar tecnologias disruptivas. Quando o PAISS gerou uma oportunidade em que seriam necessárias tecnologias diferentes, estas não estavam disponíveis no Brasil. Além disso, como já relatado, o setor privado investe pouco em PD&I.

Nas entrevistas realizadas também são encontradas outras razões para este “gap” entre a necessidade de tecnologia e a disponibilidade da tecnologia apropriada no Brasil. O segmento mais dinâmico do SPIS é o agrícola e este não é o principal envolvido na tecnologia 2G. No segmento industrial, as inovações no Brasil foram concentradas no setor metal-mecânico e na fermentação. A principal área de conhecimento para o desenvolvimento do etanol 2G é a biotecnologia, área em que o país possui um desenvolvimento tecnológico ainda escasso. Coerente com Weiss e Bonvillian (2009), no SS, seria necessário ter um modelo de inovação que mesclasse o modelo linear, ofertista, e o modelo de demanda. O PAISS criou demanda por tecnologias de etanol 2G, contudo não havia oferta desta tecnologia disponível no Brasil. Não houve alinhamento entre as diferentes etapas de PD&I para o setor. É importante ressaltar que no PAISS e na FAPESP existem outros projetos, além dos industriais e que se espera que o Brasil desenvolva parte da tecnologia necessária para o etanol 2G, contudo ainda não há resultados disponíveis para análise destes projetos. Também, não se pretende realizar uma crítica absoluta à importação de tecnologia, apenas destacar a incapacidade brasileira no período atual de atuar de forma concatenada para o desenvolvimento tecnológico no SPIS.

Furtado, Scandiffio e Cortez (2011) consideram que dada a dimensão dos desafios relacionados à expansão da cana-de-açúcar e o desafio científico e tecnológico do desenvolvimento do etanol 2G existem lacunas no SNI brasileiro. Os autores consideram que o governo federal e a FAPESP estão mais focados no etanol 2G e que a criação e difusão de variedades aptas para o Centro-Oeste estaria a cargo somente da Ridesa. É interessante ressaltar que à época do diagnóstico, o PAISS agrícola ainda não havia sido lançado e que o mesmo tem entre seus objetivos tratar esta questão.

O PAISS está atuando numa etapa final de geração de inovação, que é a implantação de projetos industriais inovativos e plantas piloto. Nas condições atuais, não existem, no Brasil, incentivos para investimentos significativos no desenvolvimento do etanol 2G já que não há demanda específica para este biocombustível. O PAISS criou um conjunto de

incentivos temporários, que necessita ser complementado por criação de demanda, durante o período inicial da curva de aprendizagem.

4.7 A estruturação do SPIS no período recente

Nesta seção serão sumarizados os processos de transformação do SPIS a partir da crise de 2008/2009, cujo principal fator de impacto no SPIS foi o controle de preço da gasolina, com reflexos extremamente negativos para o setor. Diversas ações no sentido de mitigar esse fator negativo foram executadas, contudo, sem obter o resultado do retorno dos investimentos no etanol de primeira geração.

Na Figura 29 pode ser observado o processo de transformação do SPIS no período pós-crise. Vários elementos da FSI de formação de mercado estiveram presentes neste período. Afetando negativamente o setor, há o controle de preços da gasolina e os leilões de energia no período de 2008 a 2012 realizando disputas somente por preço. Afetando positivamente o setor, há a venda constante e crescente de veículos *flex fuel*, as ações dos estados produtores referentes ao ICMS, a redução a zero do PIS/COFINS e o prêmio pago nos EUA para o etanol de cana.

Quanto à FSI de geração de conhecimentos, destaca-se que continuaram a ser lançadas variedades e desenvolvida tecnologia relacionada com o etanol de primeira geração, porém os ganhos têm sido inferiores aos aumentos do custo dos fatores de produção. A FSI de Mobilização de Recursos teve dois componentes: a criação do CTBE e da Embrapa Agroenergia e a disponibilização de financiamentos a juros menores para o setor. A FSI de direcionamento de pesquisa foi representada principalmente pelo lançamento do PAISS com recursos para o desenvolvimento do etanol 2G.

A FSI de Atividades Empresariais para o etanol de primeira geração não atuou, ficando o setor praticamente estagnado a partir do período da crise. Já no etanol 2G, houve resposta empresarial, com a implantação de plantas piloto e industriais de etanol 2G, em fase de construção.

4.8 Análise indutiva e discussão da co-evolução entre a mudança institucional e a mudança tecnológica no SPIS

Pode-se observar que as mudanças na governança federal para os biocombustíveis têm seguido a lógica incremental defendida por Streeck e Thelen (2005) e Mahoney e Thelen

(2010). A Agência Nacional do Petróleo (ANP) foi criada pela Lei nº. 9.478/1997, tendo sido renomeada pela Lei nº. 11.097/2005 para Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Porém, somente com a edição da Medida Provisória nº. 532/2011 a Agência passou a controlar efetivamente o setor de etanol. No âmbito político, o Decreto de 27 de outubro de 1993, instituiu, sob controle do Ministério de Minas e Energia a Comissão Interministerial do Alcool - CINAL; transferida para o Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo (MICT) em 1995. Já o Decreto nº. 5.652 cria o Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool - CIMA, sob a presidência do MICT, que teve sua composição alterada e foi transferido para a presidência do MAPA pelo Decreto nº. 3.546 (BRASIL, 2000a). As mudanças de presidência/coordenação do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool e a passagem da fiscalização do setor para ANP, indicam que as mudanças são em parte reflexo do balanço de poder alterado conforme preconizado por Thelen (1999).

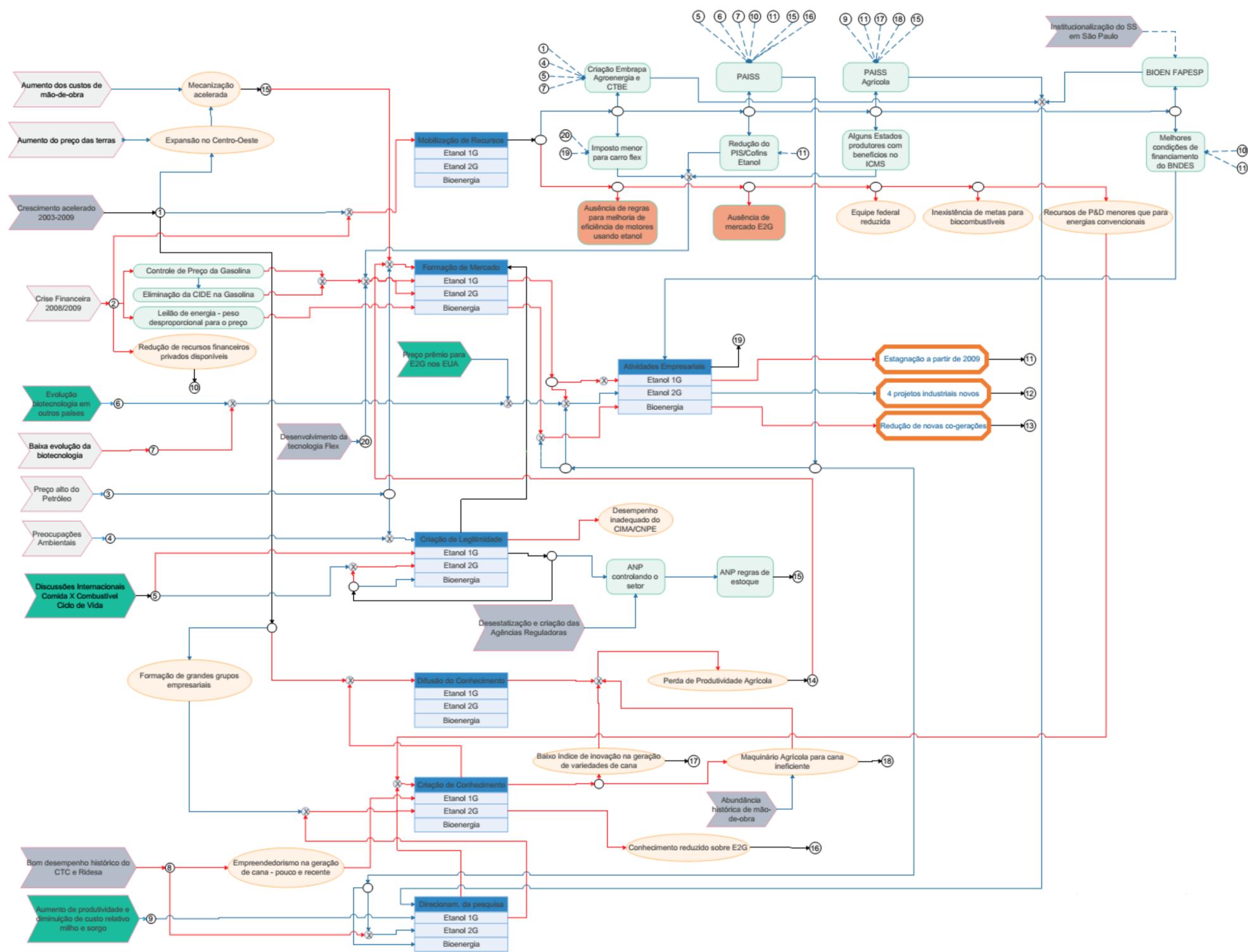


Figura 29 - Representação do processo de transformação associado ao período pós-crise 2008-2009
 Fonte: Elaboração própria

Marini e Martins (2004) destacam que para o Governo Matricial gerar resultados adequados, é necessário alinhamento horizontal e vertical. O alinhamento horizontal contempla o alinhamento dos pontos de implementação no âmbito de cada programa, com a definição de arranjos específicos de coordenação para que os resultados dos respectivos programas possam ser alcançados. O alinhamento vertical requer o alinhamento das organizações com os resultados dos programas que as perpassam. Será que o arranjo institucional brasileiro tem garantido o alinhamento horizontal e vertical necessários ao sucesso do SPIS?

Todos os entrevistados relacionados às instituições públicas afirmaram que não recebem orientações ou determinações do CNPE para execução de suas atividades. Alguns dos comentários sobre o CNPE foi que ele é um Conselho “elétrico” e que etanol é um assunto muito pequeno para o Conselho, que envolve um grande número de ministros. Pode-se concluir que o CNPE não tem se envolvido no planejamento ou na condução de ações relacionadas aos biocombustíveis, apesar de ter esta atribuição legal. Cabe ressaltar que a recente mudança governamental na área de biocombustíveis, passando o controle do setor de etanol do MAPA para o MME/ANP alterou as atribuições do CNPE, explicitando e reforçando o papel desse Conselho neste segmento. As atas de reunião do CNPE desde 23/06/2009 foram avaliadas e neste período o SS não foi objeto de discussão nas reuniões.

Quanto à atuação do CIMA, houve entrevistado que apesar de ter importante atuação no setor de etanol simplesmente desconhecia este Conselho. Outros entrevistados que não são de Ministérios que participam do CIMA, ou que não são os representantes de seus órgãos no Conselho afirmaram não conhecer a atuação do órgão, a não ser as reuniões que determinaram aumentos ou diminuições da mistura de etanol à gasolina. Dentre os entrevistados que participam do CIMA, há um consenso que este Conselho foi perdendo a “força” e que atualmente quase somente se reúne para decidir sobre o percentual de mistura do etanol à gasolina.

Os entrevistados que não são representantes de seus órgãos no CIMA foram unânimes em afirmar que não recebem orientações ou diretrizes deste Conselho. Instituições com atuação importante no setor usam de mecanismos diversos para estabelecer suas prioridades de ação, já que não há uma comunicação formal ou informal sobre quais devem ser as prioridades a cada período. Outro consenso dos entrevistados é que falta ao CIMA a representação de alguns Ministérios que são relevantes para o tema. Quanto a quais seriam os Ministérios a serem incluídos, não houve concordância.

Um tópico que não havia sido previamente planejado para ser abordado nas entrevistas foi o relacionamento dos Ministérios com suas “agências”, aí se considerando as instituições da Administração Indireta, Institutos e órgãos de fomento. Alguns entrevistados afirmaram que um dos fatores responsáveis por certa descoordenação governamental é a independência das agências. Dois entrevistados citaram o caso do Inmetro, que iniciou o desenvolvimento de um programa de certificação de biocombustíveis que foi considerado inadequado pelos diversos Ministérios envolvidos com o tema. O programa só foi interrompido após severas desavenças entre alguns líderes das instituições envolvidas na discussão e intervenção do 1º escalão do governo. Houve entrevistado que considerou que tal situação só será resolvida com a inclusão das agências diretamente nas discussões e nos fóruns decisores. Outro entrevistado considera que tal problema tem diminuído e que tem ocorrido uma melhor definição sobre o papel dos Ministérios e suas agências vinculadas, permitindo uma melhor coordenação.

Messner e Meyer-Stamer (1994) ao tratarem sobre a inconveniência do planejamento hierárquico convencional, destacam que “o requisito de know-how para formular políticas de longo prazo e as capacidades de implementação se distribuem por uma variedade de agências governamentais, privadas e intermediárias.” Concordando com um dos entrevistados que considera que as agências governamentais devem participar mais ativamente das discussões.

Sousa e Carvalho (2013) ao analisarem a governança da Administração Pública Federal consideram que os Conselhos pouco têm atuado para formular diretrizes para o SS. Os Conselhos formados por Ministros praticamente não se reúnem e quando o fazem é somente para referendar propostas já previamente discutidas ou para debater tópicos muito específicos sobre os quais não há consenso entre os técnicos. É necessário reestruturar a governança federal sobre o assunto.

5 PANORAMA DO SETOR DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

No Anexo I é apresentada a evolução histórica do setor nos EUA a partir do trabalho de Berger (2010). Os EUA iniciaram políticas de apoio à produção de etanol, com o lançamento do *Energy Policy Act* em 1978. Entre 1978 e 2011, o subsídio dado para produção de etanol variou entre 10,6 e 15,9 centavos de dólar por litro. Em 2008 o valor era de 13,5 centavos de dólar por litro (TYNER, 2008). Até dezembro de 2011 o subsídio era de 11,9 centavos de dólar por litro e a taxa de importação era de 14,3 centavos de dólar por litro, adicionada de 2,5% *ad valorem*; ambos benefícios expiraram devido ao alto custo ao orçamento (BABCOCK, 2013). Desde o início, o subsídio foi estabelecido como um valor fixo, invariante com os preços do petróleo ou do milho (TYNER; QUEAR, 2006). O mecanismo de subsídio original era uma isenção parcial do imposto para o combustível misturado. Posteriormente, tornou-se um crédito tributário para as empresas que misturam etanol com a gasolina – *blended fuel tax credit*. Além deste subsídio, existem outros subsídios federais e estaduais.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency – EPA) é a responsável por desenvolver e implementar regulamentos para garantir que o combustível de transporte vendido nos EUA contenham uma quantidade mínima de combustível renovável (U. S. EPA, 2013). O programa RFS foi criado pelo Energy Policy Act (EPAAct) de 2005 e estabeleceu o primeiro mandato em volume de combustíveis renováveis dos EUA. O primeiro RFS (RFS1) tinha como meta misturar 28,4 bilhões de litros de combustíveis renováveis na gasolina em 2012. Para o propósito do programa, o combustível renovável foi definido de maneira a incluir quase todas as formas de biocombustíveis que são derivadas de biomassa renovável (KESAN; SLATING; YANG, 2013). Os autores consideram que as metas do RFS eram: melhorar a segurança energética nos EUA, reduzir as emissões de GEE relacionadas ao transporte e estimular o desenvolvimento econômico rural.

Em 2007, o Energy Independence and Security Act (EISA) expandiu o RFS (U. S. EPA, 2013): O programa passou a incluir o diesel; O volume de combustíveis renováveis que deveriam ser misturados nos combustíveis de transporte passaram para 34,1 bilhões de litros em 2008 para 136,3 bilhões de litros em 2022; Foram estabelecidas novas categorias de combustíveis renováveis e estabelecidos requerimentos em volume para cada uma; A EPA passou a ser obrigada a aplicar um limite para o ciclo de vida da emissão de GEE para

garantir que cada categoria de combustíveis renováveis emita menos GEE que o combustível derivado de petróleo que ele substitua.

As categorias criadas no RFS2 são apresentadas por Kesan, Slating e Yang (2013). i) A categoria mais ampla é definida como **combustível renovável** e inclui qualquer combustível produzido a partir de biomassa renovável, cuja emissão de GEE seja, no mínimo, 20% menor que a linha de base, definida como as emissões de GEE associada com a gasolina ou com o diesel em 2005 (dependendo de qual combustível esteja sendo substituído). ii) **Biocombustível avançado** é definido como combustível renovável (excluído o etanol de milho), cuja emissão de GEE seja, no mínimo, 50% menor que a linha de base. iii) **Biocombustível celulósico** inclui qualquer combustível produzido da celulose, hemi-celulose ou lignina de biomassa renovável, cuja emissão de GEE seja, no mínimo, 60% menor que a linha de base. iv) **Diesel de biomassa** é definido como combustível diesel produzido de biomassa renovável, cuja emissão de GEE seja, no mínimo, 50% menor que a linha de base do diesel de petróleo em 2005.

Como as categorias se sobrepõem, biocombustíveis celulósicos e diesel de biomassa podem ser utilizados para atender ao mandato de Biocombustível avançado. Da mesma maneira, qualquer combustível que se categorize como biocombustível avançado pode atender as metas para combustíveis renováveis.

Kesan, Slating e Yang (2013) destacam que os mandatos para cada categoria crescem desproporcionalmente, refletindo uma intenção de promover a produção e consumo de biocombustíveis que não sejam derivados de milho. Além do subsídio já relatado, do RFS1 e do RFS2, o *Food, Conservation, and Energy Act of 2008*, e o *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*, autorizaram diversas pesquisas, desenvolvimento, demonstração e plantas piloto de bioenergia, que foram as forças motrizes para acelerar a produção de matéria-prima, logística e tecnologia de conversão (U.S. BR&D, 2013a).

Para controlar o atendimento ao mandato imposto pelo RFS, a EPA criou os *renewable identification numbers* (RINs). O RIN é um código de 38 caracteres numéricos que correspondem a um volume de combustível renovável produzido ou importado nos EUA. As partes obrigadas devem adquirir RINs em quantidade compatível com sua produção ou importação anual de gasolina ou diesel. Também é possível comercializar os RIN's no mercado secundário.

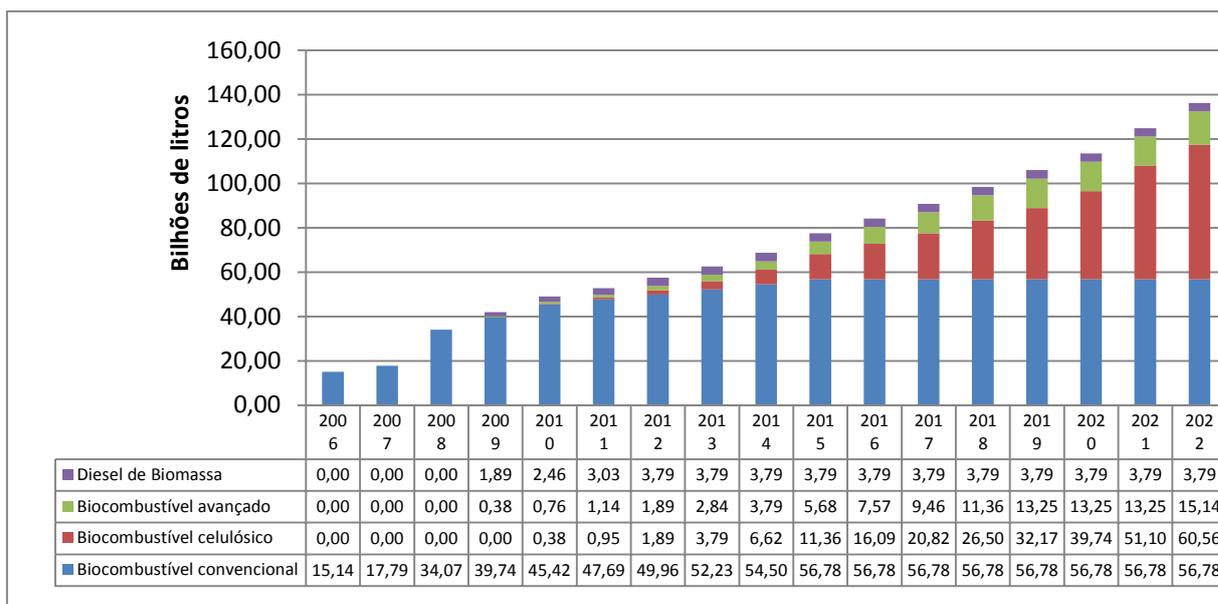


Figura 30 - Mandato de biocombustíveis (RFS2) por tipo

Fonte: (U. S. EPA, 2013), elaboração própria

5.1 Dados sobre Bioenergia nos EUA

Tyner (2008) considera que o subsídio associado ao preço do petróleo entre US\$ 10 e US\$ 30 gerou condições para aumentar a produção norte-americana de etanol de 1,6 bilhões de litros em 1984 para 12,8 bilhões de litros em 2004 - Figura 31. Neste ano, o preço do petróleo iniciou seu aumento para algo em torno de US\$ 70 chegando a US\$ 120 em alguns períodos. Tal fato, em conjunto com o subsídio fixo ao etanol, causou um enorme aumento na construção de usinas de etanol.

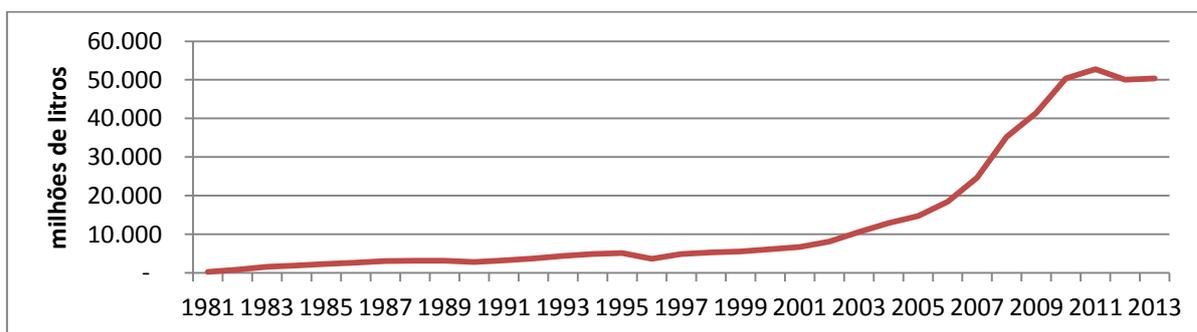


Figura 31 - Produção de etanol nos EUA

Fonte: (U.S. EIA, 2014a), elaboração própria

Além dos subsídios ao etanol, o *Clean Air Act* de 1990 passou a requerer que a gasolina vendida nos EUA tivesse certa percentagem de oxigênio (por peso). As principais fontes de adição de oxigênio à gasolina àquela época eram o etanol e o MTBE. Porém, o

MTBE é uma substância altamente tóxica e foi banido como aditivo em 20 estados em 2005. Em maio de 2006 houve mudanças no *Clean Air Act* que aumentaram significativamente a demanda por etanol, cujo preço chegou a US\$1/litro (TYNER, 2008). Babcock (2013) também considera que mesmo antes do mandato imposto pelo RFS, a necessidade de incorporação de oxigênio à gasolina já havia impulsionado a venda de etanol.

Assim como no Brasil, nos anos recentes, a produção de energia primária a partir da biomassa superou a produção de energia pela fonte hídrica - Figura 32. Entre 2002 e 2013 o consumo de energia de biomassa nos EUA cresceu mais de 60%, principalmente devido ao aumento no consumo de biocombustíveis (U.S. EIA, 2014b). Nos EUA a principal fonte de biomassa é a madeira, incluindo os combustíveis derivados de madeira, como o carvão vegetal e os subprodutos da produção de papel.

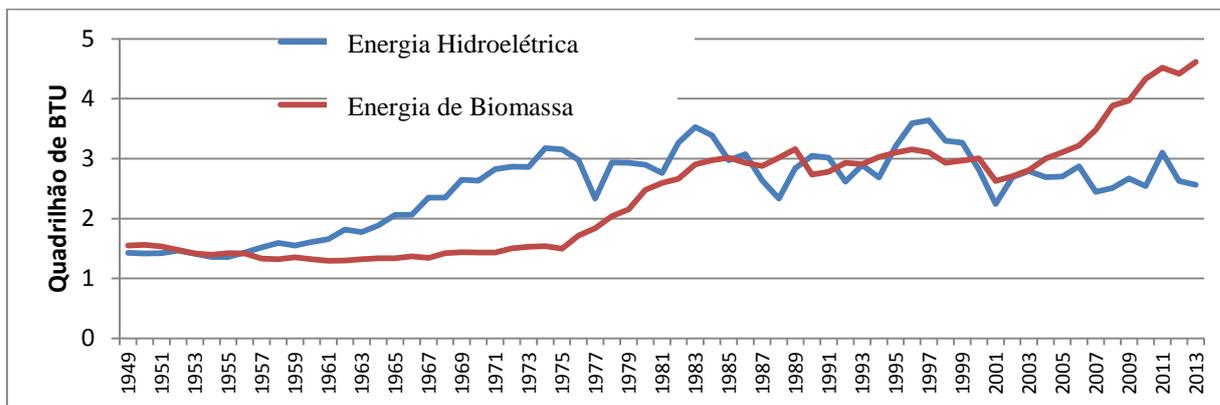


Figura 32 - Produção primária de Energia - fontes selecionadas
 Fonte: (U.S. EIA, 2014a), elaboração própria

Ao final de 2013, havia nos EUA 210 plantas de produção de etanol em 28 estados, que geraram 86.504 empregos diretos e 300.277 empregos indiretos, bem como um PIB de 44 bilhões de dólares e 8,3 bilhões de dólares em impostos (RFA, 2014a). Em seu relatório anual, a Renewable Fuel Association ressalta ainda que a importação de gasolina nos EUA tem se reduzido enormemente devido à produção de etanol, associada à maior eficiência dos veículos e redução nas distâncias médias percorridas - Figura 33. A Associação considera que a quantidade de etanol produzido em 2013 gerou uma economia na importação de gasolina nos EUA correspondente à mesma quantidade de petróleo importado anualmente da Venezuela e do Iraque combinados.

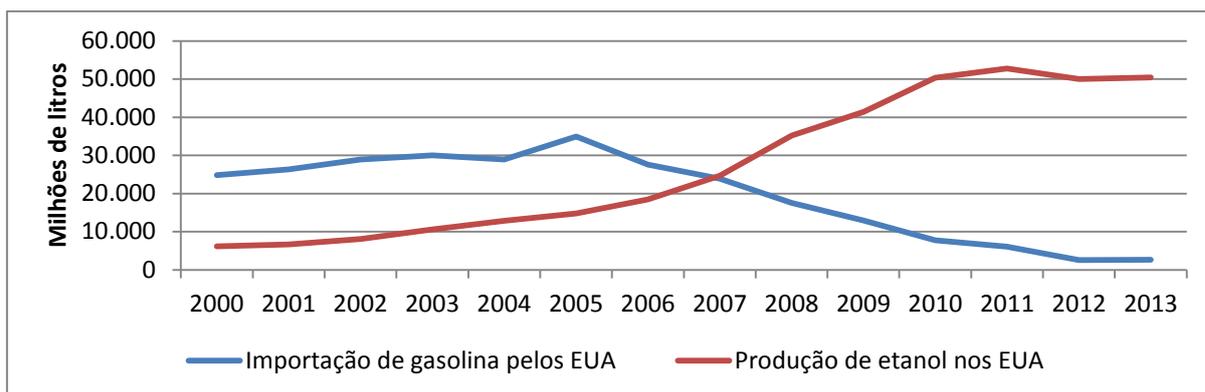


Figura 33 - Importação de gasolina X Produção de Etanol

Fonte: (U.S. EIA, 2014a), elaboração própria

Nos EUA, é aprovada a mistura de 10% de etanol na gasolina (E10), valor que foi atingido em 2013 e é visto pela indústria como um limitador ao crescimento do setor, sendo comumente conhecido como “*Blend Wall*” - Figura 34. Em abril de 2012 a EPA aprovou o primeiro registro para venda de E15, para uso em veículos produzidos em 2001 ou posteriormente. Em julho de 2012 foi realizada a primeira venda de E15 no país no posto de gasolina chamado Zarc066, na cidade de Lawrence, no Kansas (RFA, 2014a). Ao final de 2013 o E15 era vendido em apenas 60 postos de combustíveis, em 12 estados diferentes (RFA, 2014a), e a associação reporta que há um intenso *lobby* das companhias petrolíferas contra o uso de E15.

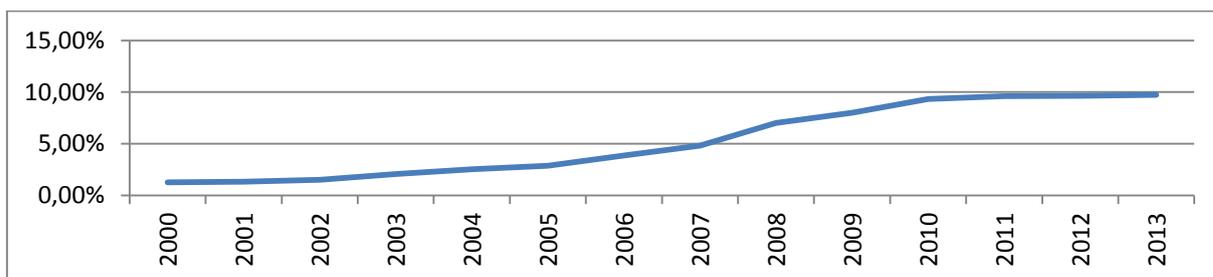


Figura 34 - Porcentagem de etanol misturado ao total da gasolina nos EUA

Fonte: (U.S. EIA, 2014a), elaboração própria

O E85 (mistura de 85% de etanol com 15% de gasolina) foi lançado nos EUA há quase duas décadas, mas nunca teve uma venda significativa. Em 2013, a RFA considera que essa situação começou a mudar, com alguns estados apresentando um crescimento vigoroso no consumo de E85. Contudo, o número de locais de vendas de E85 ainda é reduzido – Figura 35, comparando-se a mais de 120.000 postos de combustíveis no país.

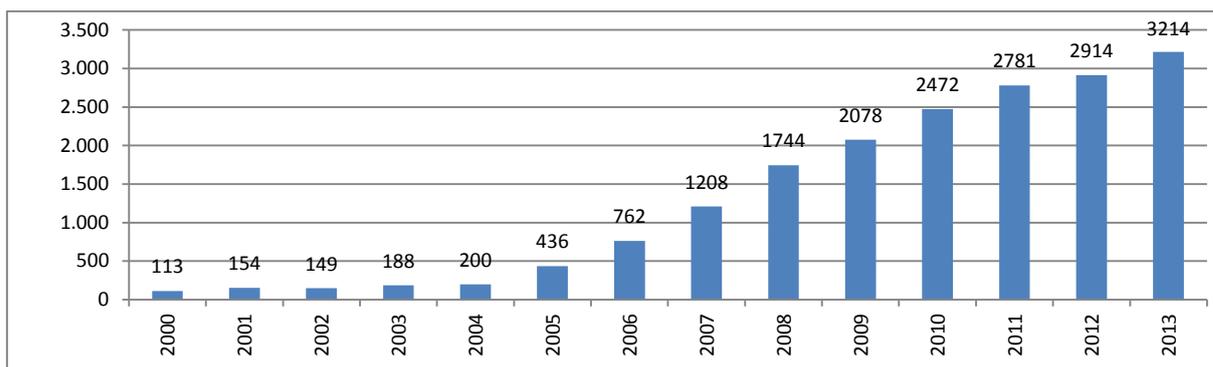


Figura 35 - Postos de combustíveis vendendo E85

Fonte: (RFA, 2014a), elaboração própria

O crescimento da produção de etanol nos EUA também alterou o panorama de sua balança comercial para o produto. O país passou de importador líquido para exportador líquido do biocombustível, inclusive com grandes quantidades vendidas para o Brasil. Atualmente, os EUA representam 57% da produção mundial de etanol.

5.2 Avaliação da Inovação no setor de bioenergia nos EUA

Uma série de dados indicam ganhos de produtividade causados pela inovação no setor de bioenergia nos EUA. O consumo de fertilizantes para produção de milho teve uma grande queda - Tabela 12, e a produtividade do milho vem crescendo constantemente - Figura 15. Nos últimos 20 anos a energia térmica necessária para produzir etanol foi reduzida em 36%, a eletricidade em 38% e a água em mais de 50%, enquanto se produz 12% mais etanol por unidade de milho (RFA, 2014a). Os dados indicam que a adoção de tecnologias no setor tem sido constante, com a redução de insumos necessários e aumento na produção.

| | 1985 | 2010 | %mudança |
|-----------------------------------|-------|-------|----------|
| Nitrogênio Total | 5.666 | 5.610 | -1,0% |
| Fosfato Total | 2.153 | 1.933 | -10,2% |
| Potássio Total | 2.769 | 1.991 | -28,1% |
| Nitrogênio/Kg | 1,28 | 0,90 | -29,4% |
| Fosfato/Kg | 0,49 | 0,31 | -36,0% |
| Potássio/Kg | 0,62 | 0,32 | -48,7% |
| Produção de Milho (mil toneladas) | 241,5 | 338,8 | 40,2% |

Tabela 12 - Uso de fertilizantes no milho - EUA

Fonte: (RFA, 2014a, p. 22)

Quanto ao etanol celulósico, as primeiras plantas comerciais já foram inauguradas na Flórida, Mississippi, Iowa e Kansas e existem várias outras próximas do lançamento. Existem

projetos em vários estágios em mais de 20 estados e os EUA recebem cerca de 67% do *venture capital* mundial para biocombustíveis avançados (RFA, 2014a).

O grande crescimento da produção de etanol de primeira geração indica que a FSI de atividades empresariais vem funcionando adequadamente. Os avanços técnicos obtidos também indicam que a FSI de criação de conhecimento apresenta um bom desempenho para o etanol de primeira geração.

5.3 Projetos de Biocombustíveis avançados

Serão descritos a seguir quatro grandes projetos de etanol de segunda geração representativos e que indicam funcionamento da FSI de atividades empresariais para o E2G.

5.3.1 Abengoa Bioenergy

- Local: Hugoton, Kansas.
- Capacidade: 25 milhões de galões/ano + 21 Megawatts de bioeletricidade.
- Início das atividades previsto para 2014 – a planta está em fase de comissionamento.
- Matéria-Prima: resíduos de milho, palha de trigo e gramíneas.

Desde o final de 2013 a unidade está fornecendo energia elétrica para rede. A tecnologia utilizada foi desenvolvida pela Abengoa, que adquiriu da Dyadic, uma licença para uso e modificação do microrganismo que produz a enzima para conversão de celulose em açúcar (ABENGOA, 2011). A empresa considera estratégica a propriedade das tecnologias enzimáticas e desenvolve diversas pesquisas relacionadas ao tema. Para execução do projeto, a Abengoa recebeu US\$ 76 milhões do DOE, bem como incentivos fiscais do Estado.

5.3.2 POET/DSM

- Local: Emmetsburg, Iowa.
- Capacidade: 20 milhões de galões/ano.
- Início das atividades: 03/09/2014 (THE DAILY CLIMATE, 2014)
- Matéria-Prima: resíduos de milho.

O DOE concedeu US\$ 100 milhões em subsídios para apoiar os custos de engenharia e construção, bem como a colheita de biomassa e de infraestrutura, e o Estado de Iowa

contribuiu com US\$ 20 milhões em assistência financeira (POET; DSM, 2014). O projeto conta com a parceria da Novozymes para otimizar as enzimas comerciais; o NREL está fornecendo treinamento e capacidade analítica; fornecedores de equipamentos agrícolas também participam do projeto - AGCO, Case IH, John Deere e Vermeer (U. S. DOE, 2012).

5.3.3 INEOS Bio

- Local: Vero Beach, Flórida.
- Capacidade: 8 milhões de galões/ano + 6 Megawatts de energia renovável.
- Iniciou a produção comercial em 31 de julho de 2013.
- Matéria-Prima: Lixo sólido municipal e resíduos agrícolas.

A empresa usa tecnologia de gaseificação e fermentação do gás resultante; e a planta inaugurada é uma parceria entre a INEOS Bio e a New Planet Energy (INEOS, 2013). O processo de gaseificação é visto como uma vantagem pela empresa, por permitir o tratamento do lixo urbano, aliando alta disponibilidade de matéria-prima, com a necessidade de eliminação dos “lixões” (DIETZEN, 2013).

5.3.4 DuPont Cellulosic Ethanol

- Local: Nevada, Iowa.
- Capacidade: 30 milhões de galões / ano.
- Início das atividades previsto para 2014 – a planta está em fase de comissionamento.
- Matéria-Prima: resíduos de milho.

O projeto conta com parcerias da Genencor com sua experiência na concepção e operação de fábricas; e da Pioneer pelo conhecimento de agricultura e relacionamento com produtores; além da experiência própria da DuPont em engenharia e em materiais avançados (HILL, 2013).

5.4 A Estruturação do Sistema de Inovação Norte-Americano

O Conselho de Pesquisa e Desenvolvimento de Biomassa (Biomass Research and Development Board – BR&D) foi criado pela promulgação da *Biomass Research and Development Act* de 2000, “para coordenar programas internos e entre departamentos e

agências do Governo Federal, com a finalidade de promover o uso de produtos industriais de base biológica pela (1) maximização dos benefícios decorrentes dos subsídios e assistências federais; e (2) trazer coerência ao planejamento estratégico federal.” O Conselho é copresidido por funcionários dos Departamentos de Energia (DOE) e Agricultura (USDA) e conta ainda com representantes do Departamento de Transportes (DOT), Departamento do Interior (DOI), do Departamento de Defesa (DOD), EPA, *National Science Foundation*, e do Escritório de Políticas de Ciência e Tecnologia (Office of Science and Technology Policy) do Escritório Executivo do Presidente (U.S. BR&D, 2013a).

Com a sua composição diversificada, a principal função do BR&D é facilitar a coordenação entre os órgãos do governo federal que afetam a pesquisa e o desenvolvimento dos biocombustíveis (U.S. BR&D, 2013a). No seu plano de ação de 2012, o BR&D relata que o atendimento às metas do RFS2 para os biocombustíveis convencionais estava ocorrendo conforme previsto. Contudo, o atendimento às metas para biocombustíveis celulósicos eram desafiadoras. Devido à falta de capacidade de produção, a EPA reduziu as metas de biocombustíveis celulósicos para 2010, 2011, 2012 e 2013 de 100, 250, 500 e 1.000 milhões de galões por ano (MGA) para 6,5; 6,6; 8,65 e 6 MGA, respectivamente. O Conselho considera que os maiores desafios são advindos de capital de investimento insuficiente, produção de matéria-prima em escala comercial, logística e também tecnologia de conversão. Mas, apesar dos desafios, o Conselho considera que houve avanços importantes na produção de biocombustível celulósico. As primeiras plantas em escala comercial de etanol celulósico iniciaram a produção em 2011 e o etanol celulósico está à beira da comercialização a um custo competitivo.

Em 2011, o DOE publicou a revisão quadrienal sobre tecnologia, motivado por um pedido do Conselho de Assessores de Ciência e Tecnologia do Presidente para melhor priorização e planejamento do Governo Federal relacionado às atividades para enfrentar os desafios energéticos nacionais. Foram considerados diversos critérios na seleção de prioridades tecnológicas, incluindo se as tecnologias podem ser demonstradas em escala comercial dentro de uma década (maturidade), se elas terão impacto positivo sobre o cumprimento das metas de energia em duas décadas (materialidade), e se as tecnologias poderiam ser amplamente adotadas pelos mercados relevantes (potencial de mercado) (U. S. DOE, 2011a). No setor de transportes, as estratégias do DOE incluem o aumento da eficiência dos veículos, eletrificação da frota de veículos leves e implantação de combustíveis de hidrocarbonetos alternativos para veículos pesados. Os biocombustíveis são vistos pelo DOE como a fonte mais significativa destes combustíveis alternativos. Tanto as atividades do DOE

quanto do BR&D são correlatas às FSI de direcionamento da pesquisa e também à FSI de mobilização de recursos.

No National Biofuels Action Plan 2012 (NBAP 2012), U.S. BR&D (2013a) relata quais foram as principais realizações desde o lançamento do primeiro plano, o National Biofuels Action Plan 2008 (NBAP 2008) e quais são as áreas em que o Conselho considera necessários desenvolvimentos adicionais. Também há uma compilação de realizações e atividades relacionadas à PD&I por Agências Federais. A partir deste levantamento será apresentado um resumo destas realizações e atividades segmentadas em cinco áreas: Atividades transversais, Educação e Divulgação para os *Stakeholders*, Fontes de Biomassa, Tecnologias de Conversão, Uso Final e Infraestrutura de Transporte e Distribuição.

5.4.1 Atividades transversais

Implementação do Programa Nacional de Combustíveis Renováveis

A EPA é a responsável pela implantação do RFS e iniciou a realização de avaliações anuais sobre matéria-prima renovável e possibilidades tecnológicas.

Growing America's Fuel

Considerando que havia centenas de projetos sendo apoiados, mas que os resultados não atendiam à demanda proposta para os biocombustíveis celulósicos e avançados, foram criados um Grupo de Trabalho Interagências (IWG) sobre Biocombustíveis com as participações do DOE, USDA e da EPA e uma equipe central de gestão ligada à Casa Branca para supervisionar a coordenação de esforços entre o IWG e o Conselho de Biomassa (U.S. WHITE HOUSE, 2010). É interessante observar que no documento se considera que a próxima geração de biocombustíveis será uma das mais importantes indústrias norte-americanas no século XXI.

USDA Roadmap to America's Renewable Energy Goals

O USDA desenvolveu um *roadmap* regional para ajudar a determinar se as culturas e florestas dos EUA têm a capacidade de fornecer a biomassa necessária para atender o mandato RFS de 36 bilhões de litros de biocombustível por ano em 2022.

No relatório se conclui que o etanol convencional de milho já vem sendo produzido de maneira consistente e sem problemas para atingimento da meta proposta. A mesma situação se dá na indústria de biodiesel, já que a meta deste é bem menor, de apenas um bilhão de galões anuais. Para atingir os 20 bilhões de galões de biocombustíveis avançado e celulósico em 2022, vários obstáculos são identificados (U.S. BR&D, 2010).

USDA Biomass Research Centers

Os Centros de Pesquisa de Biomassa do USDA servem para complementar e coordenar as pesquisas do USDA Agricultural Research Service (ARS) e do Forest Service Research & Development (FS) para ajudar a acelerar a criação de cadeias comerciais regionais de fornecimento de biocombustíveis baseados em matérias-primas agrícolas e de base florestal (USDA, 2010a). Os Centros de Pesquisa de Biomassa do USDA são compostos por cinco redes regionais de instalações e cientistas localizados em centros de pesquisas em mais de 100 localidades ao longo dos EUA.

Coordinated Agricultural Projects

O USDA's National Institute of Food and Agriculture's e o Agriculture and Food Research Initiative trabalham em conjunto para desenvolver sistemas de bioenergia por meio dos *Coordinated Agricultural Projects*, projetos agrícolas que consistem de parcerias entre o governo, indústria e universidades.

Sun Grant Regional Biomass Feedstock Partnership

A Sun Grant Initiative é uma rede nacional de universidades e laboratórios nacionais, em parceria, para auxiliar na construção de uma economia de base biológica (SUN GRANT, 2014). A Sun Grant Regional Biomass Feedstock Partnership é uma parceria com o DOE, com três objetivos: avaliar os recursos de biomassa; desenvolver os recursos de biomassa; e formação de recursos e divulgação. As atividades incorporam a identificação das barreiras logísticas à comercialização dos biocombustíveis.

DOE Bioenergy Research Centers

Para focar os mais avançados recursos baseados em biotecnologia nos desafios da produção de biocombustíveis, o DOE estabeleceu três Bioenergy Research Centers (BRCs). Cada centro representa uma parceria multidisciplinar que envolve áreas como: física, química, biologia e ciência da computação, incluindo genômica, biologia microbiana e vegetal, química analítica, biologia computacional, bioinformática e engenharia. Os BRCs são estruturados para facilitar o compartilhamento do conhecimento entre as disciplinas, de maneira que os avanços em uma área possam ser capitalizados e traduzidos em ênfase para outra área (U. S. DOE, 2014a). São três centros nas regiões: Sudeste, Meio Oeste e Costa Oeste. Na Figura 36 - Resultados dos BRCs, U. S. DOE (2014a) apresenta os resultados alcançados pelos Centros de Pesquisa.

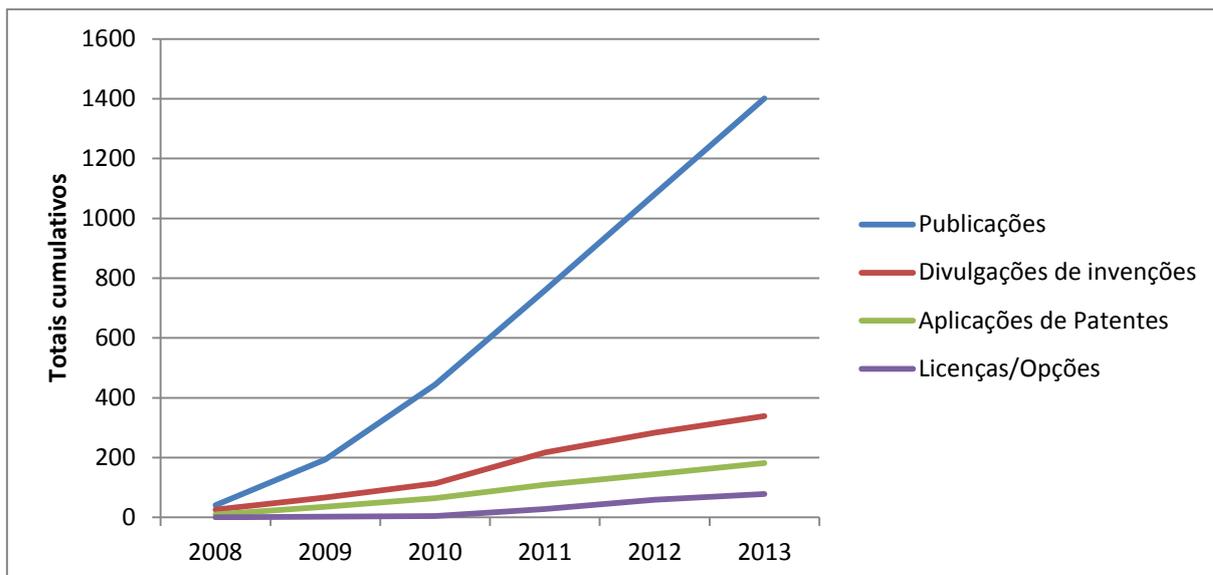


Figura 36 - Resultados dos BRCs

Fonte: (U. S. DOE, 2014a, p. 3)

Biomass Research and Development Initiative

O USDA e o DOE anualmente publicam em conjunto uma chamada para projetos que tratam de três áreas definidas legislativamente: desenvolvimento de matéria-prima, desenvolvimento de biocombustíveis e produtos de base biológica, e análise do desenvolvimento dos biocombustíveis. Este trabalho conjunto é denominado Biomass Research and Development Initiative (BRDI). Em 2012 os recursos foram de US\$ 35 milhões (U.S. BR&D, 2013b).

EPA Biofuels and the Environment: First Triennial Report to Congress

A EISA exige que a EPA relate ao Congresso os impactos ambientais da crescente produção e uso de biocombustíveis. O relatório revê os impactos e as ferramentas de mitigação em toda a cadeia de suprimento de biocombustíveis, incluindo a produção e logística da matéria-prima, a produção, uso e distribuição dos biocombustíveis. As principais conclusões do documento são (U. S. EPA, 2011): i) Evidências da literatura científica sugerem que os impactos ambientais correntes ocasionados pela crescente produção e uso de biocombustíveis nos EUA associados com a EISA são negativos, mas limitados em magnitude. ii) A literatura científica sugere potencial tanto para efeitos ambientais positivos quanto negativos no futuro. iii) As metas do EISA podem ser atingidas com impactos ambientais mínimos se forem utilizadas as melhores práticas de gerenciamento e de conservação, conjuntamente com avanços tecnológicos que facilitem o uso de matérias-primas de segunda geração.

Farm to Fly report

Em julho de 2010, o USDA, a Boeing e a Associação Airlines for América (A4A) assinaram uma resolução para trabalhar conjuntamente na Iniciativa “FARM TO FLY”. Os objetivos da iniciativa são: acelerar a disponibilidade de biocombustíveis de aviação nos EUA de maneira sustentável e comercialmente viável, aumentar a segurança energética doméstica, estabelecer cadeias de suprimento globais e suportar o desenvolvimento rural (USDA; A4A; BOEING, 2012). Em 2012, como resultado da iniciativa, foi publicado o documento *Agriculture and Aviation: Partners in Prosperity*, que destaca que não há perspectiva realista para viagens aéreas elétricas e que voos de baixo carbono dependem de biocombustíveis *drop-in*³ e que “ao contrário dos outros esforços para uso de combustíveis alternativos dirigidos pelo lado da oferta, a comunidade de usuários de combustível de aviação está puxando a demanda por biocombustíveis de aviação” (USDA; A4A; BOEING, 2012, p. 8).

A Força Aérea dos EUA planeja converter metade do combustível de aviação baseado em petróleo que ela usa para combustível não baseado em petróleo até 2016. A Marinha dos EUA anunciou o objetivo de suprir 50% de seu consumo energético total a partir de fontes alternativas até 2020.

As atividades transversais realizadas são relacionadas principalmente com as FSIs de criação de mercado, direcionamento de pesquisa, criação de conhecimento e mobilização de recursos.

5.4.2 Educação e Divulgação para Stakeholders

Technology Transfer

Usando os Centros de Transferência de Tecnologia do USDA e o Sistema *Land Grant*, as novas descobertas sobre biocombustíveis têm sido rapidamente disseminadas. Considera-se que as funções de transferência de tecnologia são críticas para acelerar a utilização dos investimentos públicos em P&D, criando atividade econômica, empregos e desenvolvimento econômico sustentável (USDA, 2014a).

Sustainability Stakeholder Workshop:

O Sustainability Stakeholder Workshop foi realizado pelo DOE e pelo USDA em outubro de 2008, tendo resultado no relatório *Sustainability of Biofuels: Research*

³ Combustíveis *drop-in* são aqueles que possuem as mesmas especificações físico-químicas dos combustíveis de origem fóssil e, portanto, podem ser misturados à estes sem a necessidade de alteração nos motores ou demais equipamentos.

Opportunities (USDA; DOE, 2009). O relatório apresenta áreas críticas para pesquisa e lacunas de conhecimentos relevantes para sustentabilidade dos biocombustíveis nas dimensões ambiental, social e econômica. Ele também ressalta a necessidade de um *framework* sócio-ecológico para desenvolver uma compreensão sistêmica de como essas dimensões interagem através de diferentes escalas espaciais – da pequena fazenda para as grandes escalas regionais. Além de forjar um caminho para implementação de biocombustíveis celulósicos, muito do que pode ser descoberto sobre a sustentabilidade dos biocombustíveis irá fornecer importantes aprendizados sobre a futura produção agrícola e florestal.

Research Stakeholder Workshop

O Research Stakeholder Workshop ocorreu em março de 2010, com foco em obter informações sobre as perspectivas e necessidades de pesquisa nos setores industriais *downstream* para produzir biocombustíveis de maneira sustentável.

Regional Workshop Report

O USDA em conjunto com a Soil and Water Conservation Society sediaram um *workshop* para desenvolver *roadmaps* específicos regionais para produção e entrega sustentável de matérias-primas. O objetivo dos *roadmaps* era prover estratégias baseadas em ciência que permitam à agricultura, em largo senso, auxiliar a solucionar os desafios relacionados à bioenergia (SWCS, 2010). Foram desenvolvidos *roadmaps* para seis regiões: Alto meio Oeste, Nordeste, Oeste das Montanhas Rochosas, Grandes Planícies, Sudeste e meio Sul.

Educação e Treinamento

O USDA e seus parceiros acadêmicos estão desenvolvendo novos programas de educação superior e vocacional para garantir que a próxima geração de técnicos, gerentes agrícolas, engenheiros de processo e analistas estejam bem posicionados na emergente bioeconomia (U.S. BR&D, 2013a).

As atividades de educação e divulgação para *stakeholders* são principalmente vinculadas à FSI de difusão do conhecimento, mas verifica-se que as mesmas impactam a FSI de direcionamento da pesquisa e são resultado da FSI de mobilização de recursos.

5.4.3 Biomassa

U.S. Billion-Ton Update

Em 2005 o DOE elaborou o relatório denominado Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply (conhecido como Billion-Ton Study) que estimava a biomassa potencial nos EUA baseado em várias suposições sobre a disponibilidade corrente e futura de capacidade de produção, disponibilidade e tecnologia. No Billion-Ton Study se estimava que os EUA pudessem produzir pelo menos um bilhão de toneladas de biomassa seca anualmente, de maneira sustentável. Produção que seria suficiente para substituir cerca de 30% do consumo de petróleo atual dos EUA. Foram usadas suposições conservadoras, mas não havia restrição de preços para os produtos agrícolas e florestais.

Na atualização realizada se buscou tratar algumas lacunas (U. S. DOE, 2011b). Foi realizado um inventário de matérias-primas para cada município. Foram identificados preços e disponibilidades para cada matéria-prima e houve um tratamento e modelagem mais rigorosos da sustentabilidade dos recursos. Também foi analisada a resposta da implantação do RFS, bem como estabelecida uma distinção clara entre os recursos sendo usados correntemente e os recursos prospectivos para os biocombustíveis avançados. São avaliados um cenário de base e um com maior produtividade. Na atualização se apresentam estimativas sobre a produção de biomassa e seu custo estimado

USDA Biomass Crop Assistance Program (BCAP)

O BCAP apoia a produção e entrega de biomassa por meio de assistência financeira a proprietários e operadores agrícolas e de florestas privadas não industriais (USDA, 2013a). Ao final de 2013 o USDA BCAP havia fornecido apoio para 53,000 acres que forneciam mais de 250 mil toneladas de matéria-prima seca por ano. O relatório do programa 2008 (USDA, 2013a) ressalta que houve mais demanda que fundos disponíveis. Também são ressaltados no relatório dois pontos que necessitam de atenção: 1) As plantas de produção necessitam ter relacionamento de longo prazo com os produtores de biomassa. Várias empresas têm focado nas tecnologias de conversão e dado pouca atenção ao lado agrícola/florestal. Existe uma incerteza sobre aquisição da produção que prejudica a decisão de investimentos por parte dos agricultores. 2) A maioria dos produtores de biomassa são pequenas empresas que requerem certeza financeira. É necessário suporte governamental tanto na parte financeira quanto na parte de tecnologia para mitigar os riscos para os pequenos produtores.

Deployable Process Demonstration Unit (PDU)

O DOE apoiou a instalação de uma planta em escala piloto (5 toneladas/hora) no Idaho National Laboratory para desenvolvimento, demonstração e validação de tecnologias de pré-processamento de biomassa (INL, 2014). A planta é reconfigurável e possui sistemas para desconstrução, estabilização, tratamento térmico e densificação. Pesquisadores acadêmicos ou da indústria podem coletar dados de processamento por qualquer abordagem que eles estejam seguindo. O PDU inclui atualmente moedores finos e grossos, um secador, uma fábrica de aglomerados e os meios para a captura de dados sobre as taxas de fluxo de partículas, o consumo de energia e outros fatores.

National Algal Biofuels Technology Roadmap

O National Algal Biofuels Technology Roadmap (U. S. DOE, 2010a) resume o estado da tecnologia e os futuros desafios para produção de combustíveis derivados de algas em escala comercial. O *Roadmap* conclui que provavelmente serão necessários muitos anos de ciência e engenharia básica e aplicada para alcançar os combustíveis à base de algas acessíveis, escaláveis e sustentáveis. A capacidade de testar rapidamente e implementar tecnologias novas e inovadoras em um processo integrado será um componente-chave para acelerar o progresso (U. S. DOE, 2010a, p. iii).

Algae Research and Development Consortia Initiative:

Para atender as prioridades estabelecidas pelo National Algal Biofuels Technology Roadmap, em 2010, o BETO lançou quatro consórcios de pesquisa multi-disciplinar para conduzir pesquisas aplicadas (U. S. DOE, 2013a): National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts; Sustainable Algal Biofuels Consortium; Consortium for Algal Biofuels Commercialization; e Cellana, LLC Consortium. Os consórcios são parcerias entre as universidades, os laboratórios nacionais e a indústria. É necessário que no mínimo 20% dos custos associados sejam pagos pelo setor privado.

USDA/DOE Plant Feedstock Genomics for Bioenergy Joint Program:

O DOE e o USDA estão trabalhando em conjunto para financiar projetos que aceleram programas de melhoramento de plantas e melhorar matérias-primas de bioenergia (USDA; DOE, 2013). Desde 2006, dezenas de projetos foram financiados pelo DOE-USDA Plant Feedstock Genomics Program para apoiar a investigação fundamental na genômica de biomassa para fornecer a base científica para o uso de materiais lignocelulósicos, seja matéria-prima ou resíduos agrícolas, para bioenergia e biocombustíveis.

DOE High-Tonnage Supply Systems/Industrial Partnerships:

Em 2009, o DOE lançou um programa para estimular a concepção e demonstração de um sistema abrangente para lidar com a colheita, pré-processamento, transporte e armazenamento de matérias-primas produzidas de forma sustentável. Cinco projetos foram selecionados para acelerar o desenvolvimento e implantação de sistemas de logística inovadoras para gramíneas, palha e madeira. O programa inclui colaboradores da indústria, universidade e laboratório nacionais (U. S. DOE, 2009): i) Agco Corporation of Duluth, GA (até US\$ 5 milhões) procurará demonstrar a viabilidade do grande fardo quadrado densificado (large square bale - LSB). ii) University of Auburn, Alabama (até US\$ 4,9 milhões) irá trabalhar com os principais produtores de biomassa florestal para energia no Alabama para projetar e demonstrar um sistema de alta produtividade para a colheita, processamento e transporte da biomassa lenhosa de plantações de pinheiros do sul. iii) FDC Enterprises Inc. of Columbus, Ohio (até US\$ 4,9 milhões) planeja elaborar o desenho, fabricar e demonstrar três tipos de máquinas inovadoras de colheita e manuseio de biomassa, incluindo um equipamento de corte de uma única passagem e operação de enfardamento, um caminhão que recolhe os fardos, e um *trailer* auto carregador. iv) Genera Energy, LLC of Knoxville, Tennessee (até US\$ 4,9 milhões) fornecerá *switchgrass* com baixa umidade, com um sistema que maximiza o transporte e manuseio automatizado. O projeto visa alcançar um processo global em que o *switchgrass* seja seco e cortado em formato maior na fazenda, transportado para um local satélite próximo, armazenado em uma instalação de proteção, tenha a massa compactada em um *trailer*, e seja eficientemente transportado (80 km) para ser descarregado na unidade de manuseio da biorefinaria. v) The SUNY College of Environmental Science and Forestry of Syracuse, New York (até US\$ 1,3 milhões) planeja desenhar, desenvolver, testar e implantar uma colheitadeira de uma única passagem combinado com um sistema de tratamento, transporte e armazenamento que seja eficaz e eficiente em uma variedade de diferentes sistemas de cultivos de madeira de curta rotação.

Uniform-Format Feedstock Supply System

No relatório de Hess et al. (2009) a proposta é de uma abordagem de mudança incremental dos sistemas existentes para o uso do “formato uniforme”. Para os recursos herbáceos lignocelulósicos são designadas três etapas. “Fardo convencional” – que reflete as práticas correntes. “Uniformização Pioneira” – que usa novas tecnologias e oferta melhorias incrementais em relação ao fardo convencional. “Uniformização avançada” – que atinge todas as metas de custo e capacidade de fornecimento e que requer alguns equipamentos com novos

conceitos. O projeto de formato unificado avançou para também incorporar a biomassa proveniente da madeira (SEARCY; HESS, 2010).

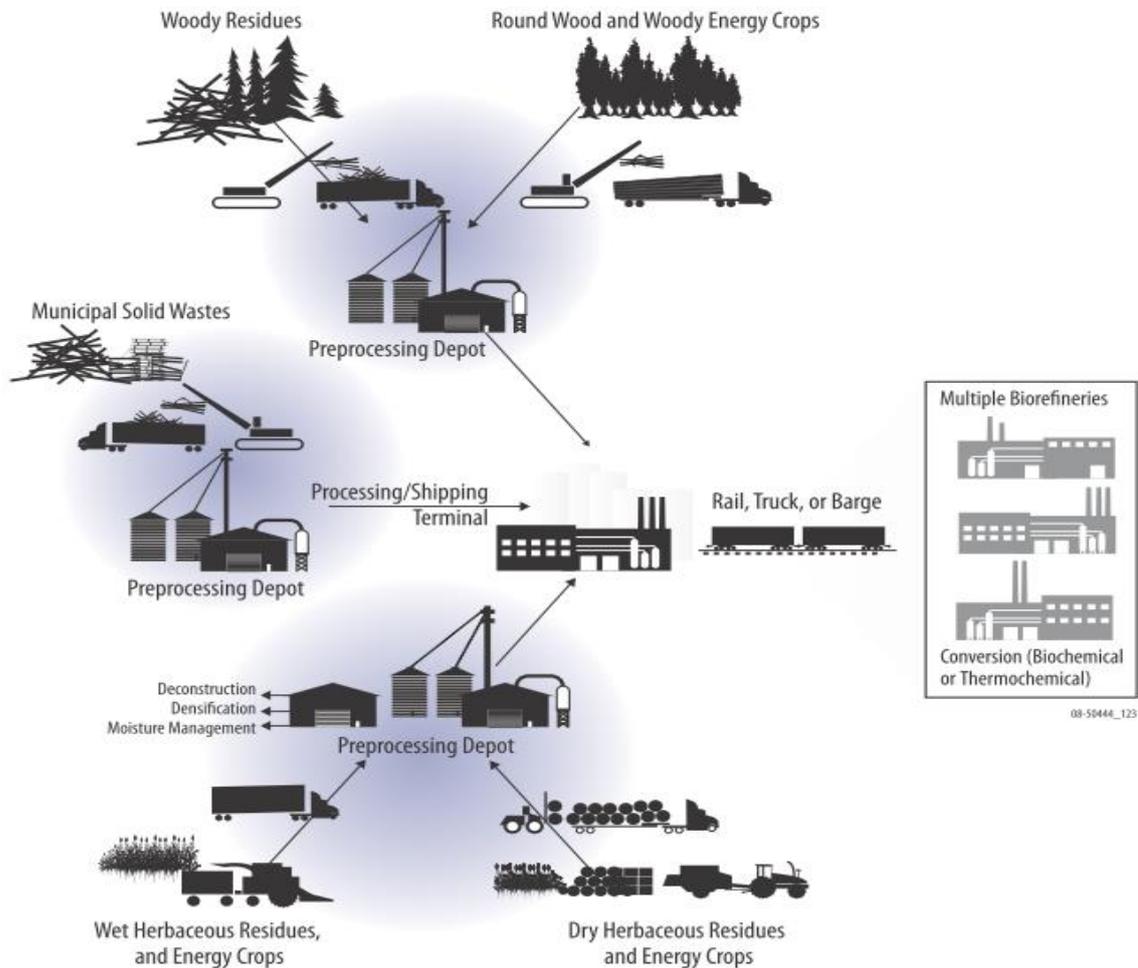


Figura 37 - Visão do "Formato Unificado"

Fonte: (HESS et al., 2009, p. 5)

Feedstock Readiness Level Tool

A Commercial Air Alternative Fuel Initiative (CAAFI) desenvolveu um trabalho denominado Fuel Readiness Level, no qual foi identificada a necessidade de se fazer um acompanhamento da disponibilidade de matéria-prima disponível. Foi celebrado um acordo entre o USDA e a Federal Aviation Administration, tendo resultado no Feedstock Readiness Level Tool, que fornece meios de acompanhar o desenvolvimento e disponibilidade de matérias-primas necessárias para produzir biocombustíveis de aviação alternativos, cobrindo quatro componentes (CAAFI, 2014): 1) Produção; 2) Mercado; 3) Política - Programa de Apoio e Regulamentação; e 4) Ligação com os processos de conversão.

Modeling Emissions and Energy Return from Forest Residues

O Serviço Florestal do USDA liderou uma equipe que analisou a coleta, trituração e transporte da biomassa de resíduos florestais em uma área de 515.900 ha em Montana ocidental, e comparou as emissões totais da queima de resíduos florestais em uma caldeira para a energia térmica com as alternativas de disposição no local por queima empilhada e usando gás natural ou óleo destilado n.º 2, para produzir a quantidade equivalente de energia utilizável. Quando comparado com as alternativas de queima empilhada e fóssil, as emissões de dióxido de carbono a partir da alternativa de bioenergia foram de aproximadamente 60%, as emissões de metano foram de aproximadamente 3% (JONES et al., 2010).

Fuel Reduction Cost Simulator

Em 2005, o USDA e o DOE publicaram o *Billion-Ton Study*, que foi criticado porque definiu "fornecimento", em grande parte, em termos de disponibilidade física sem uma avaliação formal de viabilidade econômica. Em 2008/2009 as duas agências realizaram uma revisão do estudo a partir da reavaliação do potencial de fornecimento de biomassa economicamente por meio da derivação das curvas de suprimento a nível municipal para biomassa florestal e agrícola. Dykstra, Hartsough e Stokes (2009) descrevem o modelo de exploração florestal que foi usado para estimar os custos associados ao recolhimento e preparação de biomassa florestal para o transporte até as instalações de processamento. O modelo foi atualizado de uma versão anterior que foi limitada às condições no oeste. O modelo revisto foi projetado para uso em todas as regiões dos Estados Unidos contíguo.

Woody Biomass Grants

Diversos tipos de recursos têm sido disponibilizados pelo USDA Forest Service para facilitar a produção de biomassa lenhosa para bioenergia. Recursos anuais têm sido dedicados para auxiliar a melhorar a utilização de biomassa de madeira removida de projetos de restauração florestal (U.S. BR&D, 2013a).

Bioenergy Knowledge Discovery Framework

O DOE desenvolveu o Bioenergy Knowledge Discovery Framework com o intuito de facilitar a tomada de decisão informada, fornecendo um meio de sintetizar, analisar e visualizar grandes quantidades de informação de uma forma espacialmente integrada. Este framework, baseado num Sistema de Informação Geográfica, permite aos usuários analisar de forma abrangente os impactos econômicos e ambientais de diferentes opções de desenvolvimento para fontes de biomassa, biorefinarias e infraestrutura. A análise e visualização de fatores socioeconômicos e industriais integrada com dados espaciais pode ser

usada para o planejamento, desenvolvimento e decisões de gestão, garantindo a produção de bioenergia confiável e sustentável (U. S. DOE, 2013b).

RFS2 Biomass Supply Analysis

Um Grupo de Trabalho interagência foi estabelecido para avaliar o fornecimento de biomassa para atingir as metas propostas pelo RFS2. O BR&D conduziu a elaboração de um relatório para identificar as recomendações para tratar das restrições em torno da produção de biomassa. O relatório faz uma análise econômica que correlaciona as consequências para emissão de GEE e sustentabilidade. Quatro questões guiam a análise (U.S. BR&D, 2009): i) Quais matérias-primas e a qual preço? ii) Qual a distribuição regional da produção de matéria-prima? iii) Quais os efeitos dos investimentos alternativos em pesquisa sobre matérias-primas? e iv) Quais as consequências para sustentabilidade e emissão de GEE relacionados com a produção de matérias-primas?

No relatório se verificam um conjunto complexo de interações nos mercados de matérias-primas, algumas das implicações relevantes identificadas no relatório são: i) A matéria-prima para produção de bioenergia compete pela terra – Pode haver aumento de preços para os alimentos, ração e existe a possibilidade de ameaça às reservas ambientais. ii) A produção de biocombustíveis aumenta a renda dos agricultores – Esse aumento pode ser contrabalanceado pelo aumento nos insumos como os fertilizantes. iii) Alguns fazendeiros e setores podem experimentar redução nos lucros – Consumidores e processadores de alimentos perdem com o aumento dos preços dos alimentos. Porém, se ressalta que a percentagem da renda comprometida com a alimentação humana tem se reduzido ao longo do tempo.

Advanced Biofuels for Military and Commercial Transportation

Em 2011, a Marinha dos EUA, o USDA e o DOE assinaram um memorando de entendimento (U. S. NAVY; U. S. DOE; U. S. USDA, 2011) e anunciaram US\$ 510 milhões em investimento, em parceria com o setor privado, para produzir biocombustíveis avançados. O objetivo da iniciativa é a construção ou *retrofit* de múltiplas plantas de escala comercial ou pré-comercial para produção de biocombustíveis avançados, com as seguintes características: i) Capacidade para produzir biocombustíveis avançados *drop-in* que atendam às especificações militares a preços competitivos com o petróleo. i) Localização geográfica dispersa para um acesso fácil ao mercado; e ii) Sem impacto significativo no fornecimento de *commodities* agrícolas para produção de comida.

USDA ARS/Navy Office of Naval Research

O ARS e o Office of Naval Research realizaram uma parceria para desenvolver ferramentas de decisão para avaliar as opções mais viáveis à produção de matérias-primas que

irão garantir o suprimento de biocombustíveis no Havaí e nos EUA para uso da Marinha (USDA, 2010b). O Office of Naval Research e o ARS fornecerão recursos de US\$ 2 milhões por ano, até 2015, para financiar a pesquisa para produção de biocombustíveis avançados a partir da cana-de-açúcar no Havaí. A ênfase está em determinar as melhores estratégias para assegurar recursos e infraestrutura adequada para fornecer matéria-prima para biorefinarias que produzam querosene de aviação e diesel a partir de açúcares (USDA, 2010b).

Advanced Research Projects Agency–Energy (ARPA-E)

O DOE estabeleceu a Advanced Research Projects Agency–Energy (ARPA-E) para estimular a inovação no setor de energia. O projeto se inspirou no sucesso da ARPA na geração de inovação no setor de TIC e desenvolve tecnologias de energia de alto potencial e de alto impacto, que ainda não possuem maturidade suficiente para o investimento do setor privado (ARPA-E, 2014). O programa inclui projetos relacionados à bioenergia.

De maneira geral, as principais realizações relacionadas com a biomassa são: Investimentos substanciais em P&D, incluindo novos programas para sistemas de algas; Apoio financeiro para produção de biomassa para os proprietários e operadores agrícolas e de florestas privadas não industriais; Avaliação abrangente de recursos de biomassa compreendendo as barreiras ao fornecimento de matéria-prima sustentável; e Ações para o desenvolvimento de sistemas de abastecimento de matérias-primas avançadas.

Neste tópico pode ser observada intensa atividade nas FSIs de criação de conhecimento, direcionamento da pesquisa e mobilização de recursos. As necessidades remanescentes identificadas por U.S. BR&D (2013a) são melhorias na produção, colheita e transporte de matérias-primas para os sistemas de bioenergia.

5.4.4 Tecnologias de Conversão

National Advanced Biofuels Consortium (NABC)

O DOE, por meio da liderança do National Renewable Energy Laboratory (NREL) e do Pacific Northwest National Laboratory, estabeleceu o NABC que inclui 17 parceiros entre indústrias, universidades e laboratórios nacionais, com a finalidade de desenvolver uma ou mais tecnologias de biocombustíveis que endereçam desafios fundamentais de converter biomassa lignocelulósica em combustíveis *drop-in* (NREL, 2010). Busca-se, com isso, tirar vantagens das economias de custos possíveis pelo uso das refinarias, redes de distribuição e frotas de veículos existentes. O NABC foca em seis processos: fermentação de açúcares,

conversão catalítica de açúcares, pirólise catalítica rápida, hidropirólise, liquefação hidrotermal e gás de síntese para destilarias.

Advanced Biofuels Process Demonstration Unit

A Advanced Biofuels Process Demonstration Unit foi construído no Lawrence Berkeley National Laboratory como uma planta de demonstração flexível. A planta oferece aos pesquisadores possibilidade de produzir biocombustíveis a partir de biomassa, como as gramíneas, madeira e resíduos agrícolas. A instalação está totalmente equipada para o pré-tratamento, a fermentação e processamento, juntamente com capacidade de caracterização analítica rigorosa em cada passo (LBL, 2010).

Integrated Biorefinery Facility (IBRF)

A IBRF foi implantada no NREL como uma planta piloto com capacidade de 1 tonelada/dia. A IBRF tem como finalidade permitir aos pesquisadores e indústria desenvolver, testar, avaliar e demonstrar processos para a produção de produtos e combustíveis de base biológica, com foco na redução de risco de desempenho e melhorar a viabilidade comercial de novos processos (NREL, 2012). Além da instalação, a equipe do NREL trabalha com parceiros do IBRF em cada estágio do processo de desenvolvimento, a partir de processo exploratório de P&D.

Energy Frontier Research Centers

Em agosto de 2009, o DOE estabeleceu 46 Energy Frontier Research Centers, que são esforços de pesquisa colaborativos com o objetivo de acelerar a pesquisa fundamental de alto-risco e alta-recompensa para transformar as tecnologias energéticas do futuro (U. S. DOE, 2011c). Os Centros envolvem universidades, laboratórios nacionais, organizações sem fins lucrativos e empresas, singularmente ou em parcerias, selecionadas por avaliação científica por pares. O propósito é integrar os talentos e a expertise de cientistas líderes para acelerar a pesquisa que transforme o futuro da energia e do meio ambiente.

Conversion Technologies for Advanced Biofuels Workshop

Em dezembro de 2011, o DOE conduziu o Conversion Technologies for Advanced Biofuels Workshop para produzir um novo *roadmap* sobre barreiras tecnológicas para conversão bioquímica e termoquímica para produção de biocombustíveis. O propósito foi de atualizar os *roadmaps* de 2006 e 2007 que foram considerados desatualizados (U.S. BR&D, 2013a).

Redução do custo de conversão do etanol celulósico

A pesquisa realizada pelo DOE na última década resultou na redução dos custos de produção dos biocombustíveis pela rota bioquímica de palha de milho e de madeira. Ao fim

de 2011 os resultados mostram uma redução de 29% no custo de conversão do etanol celulósico produzido pela rota bioquímica e 23% de redução na rota termoquímica em comparação a 2008 (U.S. BR&D, 2013a).

Melhoramento das enzimas

Desde 2008, dois programas empresariais receberam recursos para o objetivo programático de reduzir os custos das enzimas pelo aumento da eficiência dos coquetéis de enzimas celulósicas. Ambas empresas lançaram seus produtos entre 2010 e 2012, o que ajudou a reduzir o custo de produção projetado dos biocombustíveis em 2008 (U.S. BR&D, 2013a).

Construção de biorefinarias em escala comercial

Em 2012, três biorefinarias em escala comercial haviam começado sua construção com recursos federais. As tecnologias em uso foram desenvolvidas com recursos do fundo para conversão. As tecnologias chaves que estarão em operação são a gaseificação, pré-tratamento, conversão enzimática e fermentação (U.S. BR&D, 2013a).

Atualização dos modelos de conversão do etanol celulósico

Em 2011, o DOE apoiou a atualização dos modelos de conversão do etanol celulósico. Foram utilizados dois modelos de análise técnico-econômica que avalia o processo de conversão potencial pelas rotas bioquímica e termoquímica (U. S. DOE, 2011d).

Planta piloto de gaseificação de biomassa de madeira

A gaseificação de pinheiros e de chips mistos de madeira foi realizada em um sistema de escala piloto com diferentes taxas de fluxo de gás. Com base na composição e conteúdo energético do gás produzido, os resultados foram muito similares. O processo pode converter efetivamente muitas matérias-primas diferentes, com diferentes composições para produzir gases com propriedades razoavelmente uniformes (ELDER; GROOM, 2011).

Modelagem para um sistema de gaseificação de biomassa integrado com fábricas de celulose

A gaseificação de biomassa é uma abordagem para produção de energia e/ou biocombustíveis que pode ser integrada em plantas de produção de produtos florestais, particularmente em fábricas de celulose. Ince, Bilek e Dietsberger (2011) descrevem um sistema de modelagem para auxiliar na avaliação preliminar de engenharia e de viabilidade econômica da integração de gaseificadores de biomassa com fábricas de celulose existentes. Este modelo pode ser facilmente modificado para considerar diferentes opções. Biomassa gaseificada pode ser queimada diretamente para substituir o gás natural, ou pode ser limpa e

refinada para produzir biocombustíveis de Fischer-Tropsch, incluindo diesel com baixo teor de enxofre e de outros hidrocarbonetos sintéticos.

De maneira geral, as principais realizações relacionadas com as tecnologias de conversão são: investimentos em pesquisa de agências federais e parcerias com empresas privadas têm se concentrado em engenharia de novas enzimas ou microorganismos com capacidade metabólica melhorada e catalisadores mais eficientes para converter economicamente matérias-primas lignocelulósicas para biocombustíveis; vários centros de pesquisa em ciências básicas e aplicadas foram estabelecidos de forma consorciada para coordenar os esforços em tecnologia de conversão; houveram melhorias nos processos de pré-tratamento, a comercialização de dois pacotes de enzimas, e melhorias de processo e catalisadores para conversão de biomassa em gás de síntese.

Neste tópico pôde ser observada intensa atividade nas FSIs de criação de conhecimento, direcionamento da pesquisa e mobilização de recursos. As necessidades remanescentes identificadas por U.S. BR&D (2013a) são: pesquisa adicional para um entendimento mais profundo da ciência fundamental, processos e materiais envolvidos nos processos de conversão; desenvolvimento de enzimas e catalisadores mais robustos e eficientes; e validação de tecnologia e processos pré-comerciais.

5.4.5 Uso Final e Infraestrutura de Transporte e Distribuição

Grupo de Trabalho interagência – Infraestrutura de Distribuição e Transporte de Biocombustíveis (Biofuels Transport & Distribution Infrastructure Interagency Working Group)

O Grupo de Trabalho interagência – Infraestrutura de Distribuição e Transporte de Biocombustíveis foi estabelecido pelo DOT e inclui representantes do DOE, USDA, EPA e DOI. O propósito é avaliar os fatores técnicos, geográficos, econômicos, políticos e regulatórios ou outros que possam impactar de forma negativa o desenvolvimento da infraestrutura de distribuição e transporte ao longo da cadeia de fornecimento de biocombustíveis (U.S. BR&D, 2013a).

Workshop Interagência sobre Infraestrutura para Biocombustíveis

O Workshop foi realizado pelo DOT, em cooperação com o Grupo de Trabalho interagência – Infraestrutura de Distribuição e Transporte de Biocombustíveis. Com a participação de todos os segmentos da sociedade, foram identificados os passos necessários

para facilitar o transporte adequado, seguro e eficiente, distribuição e armazenamento de ambos os biocombustíveis convencionais e avançados.

Testes de misturas de etanol intermediárias

Em 2007, o DOE, em parceria com a EPA, iniciou um programa de testes para avaliar os impactos potenciais de misturas intermediárias de etanol em veículos antigos e outros motores (KNOLL et al., 2009). São avaliados os efeitos do E15 e do E20 no escape e nas emissões evaporativas, catalisador e durabilidade do motor, dirigibilidade do veículo, operacionalidade do motor, e materiais dos veículos e motores. Com base nos resultados dos testes a EPA aprovou, em 2011, o uso do E15 para veículos produzidos a partir de 2001 ou mais novos. O programa de testes continua ativo, avaliando o uso de misturas com 20% e também o uso de misturas em veículos mais antigos (DAVIS; HOFF; RATCLIFF, 2012).

Relatório do DOE para o Congresso sobre viabilidade de dutos dedicados ao etanol

O relatório avalia a viabilidade de um duto de etanol ligando a Costa Leste, onde há a maior demanda, com o Meio-Oeste, onde se produz a maior parte do etanol nos EUA. No relatório, o DOE (2010b) conclui que para o álcoolduto ser economicamente viável, sem grandes incentivos financeiros, seria necessário transportar cerca de 4,1 bilhões de galões de etanol por ano, um volume que excede a demanda projetada na área de serviço da Costa Leste. O volume pode ser alcançado nesta região, com um aumento significativo na procura de E85 e/ou o uso generalizado de misturas de etanol superior a 10%. Com base no volume, se assumiu a demanda por etanol de 2,8 bgy e um custo de construção do projeto de 4,25 bilhões de dólares. O álcoolduto teria de cobrar uma tarifa média de 28 centavos por galão, substancialmente mais do que a taxa média atual (19 centavos de dólar) para o transporte de etanol através dos modos atuais (trem, barcaça e caminhão).

Relatório do DOT para o Congresso no papel dos transportes em reduzir as emissões de GEE nos EUA

O relatório examina diversas estratégias propostas e avalia o seu potencial para reduzir as emissões de GEE no setor de transporte, incluindo o desenvolvimento de biocombustíveis e de infraestrutura para os biocombustíveis (U.S. DOT, 2011).

Relatório Conjunto do DOT e do USDA para o Congresso sobre questões associadas ao transporte rural

No relatório, USDA e DOT (2010) concluem que é necessária a colaboração entre as transportadoras, produtores, comerciantes e os governos estaduais e federal para planejar terminais capazes de receber vagões de etanol. Além disso, a expansão da infraestrutura do E85 e o aumento do número de veículos flex fuel vai ajudar a aumentar a base de demanda

por etanol, que é necessária para resolver as questões do “blend-wall”. Embora as ferrovias até agora tenham sido capazes de lidar com a expansão da produção de etanol, mais terminais terão de ser desenvolvidos para o sistema ferroviário acomodar o crescimento esperado.

Análise do Ciclo de Vida do Etanol

O Rochester Institute of Technology conduziu um estudo, custeado pelo DOT, englobando etanol (E20 e E85), misturas de biodiesel e hidrogênio, juntamente com a disponibilidade da tecnologia e a análise do ciclo de vida dos combustíveis alternativos (DUDDY, 2011).

Modelo de Infraestrutura de Logística e Transporte de Biocombustíveis (Biofuel Infrastructure, Logistics, and Transportation)

Desenvolvido pelo Oak Ridge National Lab, o Modelo de Infraestrutura de Logística e Transporte de Biocombustíveis é capaz de especificar simultaneamente a infraestrutura para toda a cadeia produtiva de biocombustíveis, incluindo a seleção de biomassa, o modo de transporte, localização e capacidade de pré-processamento e refino de plantas para processamento e distribuição. Os usuários podem selecionar um conjunto de estados contíguos, uma lista de locais candidatos para refinaria, e uma meta de substituição de um determinado percentual da gasolina consumida na região. Os resultados mostram o movimento da biomassa a partir dos municípios de origem para o local selecionado da refinaria, o movimento de etanol para instalações de mistura e distribuição do biocombustível para os municípios de destino (U. S. DOE, 2014b).

De maneira geral, as principais realizações relacionadas com o uso final e infraestrutura de transporte são: vários estudos, projetos e ferramentas foram desenvolvidos para permitir um melhor entendimento da cadeia de suprimento de biocombustíveis e as barreiras ao transporte; operadores nacionais de dutos têm conduzido testes de compatibilidade de materiais e teste de qualidade dos combustíveis, desenvolvendo dutos de etanol de curta-distância; a EPA aprovou o uso de E15 em veículos produzidos em 2001 ou posteriormente; e testes comerciais e militares foram realizados para uso de biocombustíveis de aviação.

Neste tópico pôde ser observada intensa atividade nas FSIs de criação de conhecimento, direcionamento da pesquisa e mobilização de recursos. As necessidades remanescentes identificadas por U.S. BR&D (2013a) são: entendimento sobre a cadeia logística presente e futura de fornecimento de biocombustíveis, bem como garantia de compatibilidade de materiais usados; e desenvolvimento de uma infraestrutura de transporte multimodal incluindo trens, caminhões e dutos.

5.4.6 As novas Instituições e redes ligadas à Bioenergia

Como relatado nos tópicos anteriores, várias das pesquisas realizadas no campo da bioenergia têm sido realizadas na forma de redes, coordenadas pelos Laboratórios Nacionais. O DOE coordena extensa rede de laboratórios com uma grande equipe associada, conforme pode ser visto na Tabela 13. Vários dos Laboratórios Nacionais foram fundados como um esforço de P&D realizado na Segunda Guerra Mundial e são mantidos até a atualidade como a espinha dorsal da pesquisa pública realizada nos EUA (U. S. DOE, 2014c).

BIOENERGY TECHNOLOGIES OFFICE (BETO)

O BETO está focado na formação de parcerias, que compartilhem o custo, com as principais partes interessadas para desenvolver, demonstrar e implantar tecnologias para produção de biocombustíveis avançados a partir de biomassa lignocelulósica e algas (U. S. DOE, 2014d). O objetivo estratégico do BETO é desenvolver tecnologias comercialmente viáveis de utilização de biomassa para permitir a produção sustentável de biocombustíveis, em âmbito nacional, que sejam compatíveis com a infraestrutura de transporte de hoje e que permitam substituir uma parte dos combustíveis derivados do petróleo para reduzir a dependência dos EUA em petróleo e incentivar a criação de uma nova indústria de bioenergia nacional, apoiando o objetivo do EISA de 36 bilhões de galões por ano de combustíveis renováveis para transporte até 2022. O BETO está vinculado ao *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE) do DOE.

National Bioenergy Center, no NREL

O *National Bioenergy Center* foi estabelecido em outubro de 2000 para suportar os objetivos científicos e tecnológicos do BETO, com a missão de promover a capacidade de catalisar a substituição do petróleo por combustíveis de transporte a partir da biomassa, oferecendo soluções inovadoras de biocombustíveis de baixo custo (NREL, 2014). O Centro está sediado no NREL, e é responsável por coordenar os esforços realizados em outros quatro laboratórios do DOE. Cada um dos cinco laboratórios tem um "gerente de relacionamento" para coordenar suas interações com o BETO e com os demais laboratórios. i) Biorefinery R&D: National Renewable Energy Laboratory; ii) Feedstock Development: Oak Ridge National Laboratory; iii) Biomass Harvesting Technology: Idaho National Laboratory; iv) Syngas, Catalysis, and Bioproducts: Pacific Northwest National Laboratory; e v) Reaction Engineering and Separations: Argonne National Laboratory. O NREL conduz também pesquisas com biomassa e sedia a IBRF, cuja descrição foi realizada anteriormente.

A criação de um departamento no DOE e um instituto no NREL específicos para tratar de bioenergia, representa tanto uma ação que reforça a FSI de criação de legitimidade, quanto é resultado da FSI de mobilização de recursos.

| Nome | Ano | Empr. | Localização |
|--|------|--------|---|
| NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LAB | 1910 | 1.500 | Albany, Oregon |
| PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LAB | 1965 | 4.500 | Richland, Washington |
| IDAHO NATIONAL LAB | 1949 | 3.500 | Idaho Falls, Idaho |
| LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LAB | 1931 | 4.000 | Berkeley, California |
| SLAC NATIONAL ACCELERATOR LAB | 1962 | 2.000 | Menlo Park, California |
| LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LAB | 1952 | 6.500 | Livermore, California |
| SANDIA NATIONAL LABS | 1945 | 10.000 | Livermore, California Albuquerque, New Mexico |
| NATIONAL RENEWABLE ENERGY LAB | 1977 | 2.500 | Olden, Colorado |
| LOS ALAMOS NATIONAL LAB | 1943 | 10.000 | Los Alamos, New Mexico |
| AMES LAB | 1947 | 450 | Ames, Iowa |
| FERMI NATIONAL ACCELERATOR LAB | 1967 | 1.700 | Batavia, Illinois |
| ARGONNE NATIONAL LAB | 1946 | 3.350 | Lemont, Illinois |
| NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LAB | 1910 | 1.500 | Pittsburgh, Pennsylvania Morgantown, West Virginia |
| OAK RIDGE NATIONAL LAB | 1943 | 4.400 | Oak Ridge, Tennessee |
| SAVANNAH RIVER NATIONAL LAB | 1951 | 825 | Aiken, South Carolina |
| THOMAS JEFFERSON NATIONAL ACCELERATOR FACILITY | 1987 | 800 | Newport News, Virginia |
| PRINCETON PLASMA PHYSICS LAB | 1951 | 450 | Plainsboro, New Jersey |
| BROOKHAVEN NATIONAL LAB | 1947 | 3.000 | Upton, New York |

Tabela 13 - Laboratórios Nacionais vinculados ao DOE

Fonte: (U. S. DOE, 2014c)

5.4.7 Os recursos públicos federais para PD&I

A IEA (2014) reporta que os EUA chegaram a investir mais de 1,2 bilhões de dólares em PD&I para biocombustíveis em 2009, retornando à casa dos 300 milhões de dólares em 2011. O DOE é a principal fonte de recursos públicos federais para PD&I nos EUA - **Erro! Fonte de referência não encontrada.** No USDA não foi possível determinar de forma segmentada os recursos para P&D relacionados com bioenergia, mas diversos órgãos de pesquisa do USDA estão envolvidos com o tema, como pôde ser observado pela relação de atividades anteriores. O National Institute of Food and Agriculture e o ARS são as principais instituições ligadas ao tema. Observa-se aqui intensa atividade relacionada com a mobilização de recursos

5.5 Benefícios Tributários e Financeiros para produção e inovação no setor de biocombustíveis

Além da realização do enorme conjunto de estudos, criação de laboratórios e consórcios de PD&I, diversos instrumentos tributários foram e são utilizados para incentivar a produção de biocombustíveis nos EUA. A seguir serão apresentados alguns dos instrumentos utilizados. Vários dos instrumentos já estão expirados, contudo, avaliar o grande conjunto de iniciativas é relevante para compreensão do panorama geral do setor, bem como o seu histórico. A compilação a seguir para os benefícios já expirados tem como base o relatório do serviço de pesquisas do Congresso (YACOBUCCI, 2011) e DOE (2013c) e é apresentada por órgão da administração federal que administre o benefício relatado. Os benefícios tributários concedidos são considerados como resultado da FSI de mobilização de recursos, que resulta no fortalecimento das FSIs de formação de mercado e de atividades empresariais.

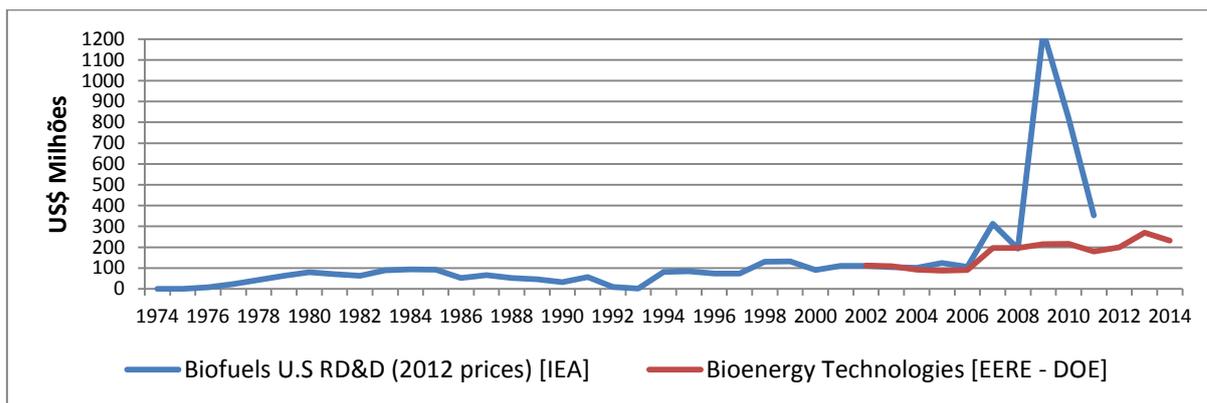


Figura 38 - Gastos de PD&I dos EUA com Biocombustíveis e Bioenergia

Fonte: Gastos de biotecnologia do DOE - (U. S. DOE, 2014e)

Gastos de PD&I em biocombustíveis - (IEA, 2014)⁴

5.5.1 Benefícios Tributários e Financeiros federais já expirados

5.5.1.1 U.S. Customs and Border Protection

- Tarifa de Importação para o etanol combustível:
 - Tarifa ad valorem de 2,5% e direito da nação mais favorecida de 0,54 dólares por galão de etanol combustível. Etanol importado do Caribe é isento.
 - Estabelecida em 1980 pelo the Omnibus Reconciliation Act of 1980.

⁴ Há um grande aumento nos gastos de P&D em 2009, devido ao aumento das despesas associadas com o American Recovery and Reinvestment Act of 2009.

5.5.1.2 Internal Revenue Service (IRS)

- Crédito volumétrico sobre o imposto do etanol (Volumetric Ethanol Excise Tax Credit - VEETC)
 - US\$ 0,45 por galão de etanol puro misturado com a gasolina (U. S. DOE, 2013d).
 - Quem pode receber: misturador de etanol registrado no IRS.
 - Expirado em 31/12/2011.
- Crédito no Imposto sobre Combustível Alternativo (Alternative Fuel Excise Tax Credit)
 - US\$ 0,50 por galão de combustíveis alternativos, incluindo gás comprimido ou liquefeito derivado de biomassa.
 - Quem pode receber: entidade que venda ou use o combustível alternativo em veículos motores.
 - Expirado em 31/12/2013.
- Crédito no Imposto para mistura de combustível alternativo (Alternative Fuel Mixture Excise Tax Credit)
 - US\$ 0,50 por galão de combustíveis alternativos utilizado para produzir uma mistura contendo ao menos 0,1% de gasolina, diesel ou querosene. Dentre os combustíveis alternativos estão inclusos o gás comprimido ou liquefeito derivado de biomassa.
 - Quem pode receber: empresa que misture o combustível alternativo.
 - Expirado em 31/12/2013.
- Crédito ao pequeno produtor de etanol (Small Ethanol Producer Credit)
 - US\$ 0,10 por galão para até 15 milhões de galões por ano.
 - Quem pode receber: pequeno produtor, definido como produtor com capacidade abaixo de 60 milhões de galões por ano.
 - Estabelecido em 1990 pelo Omnibus Budget Reconciliation Act.
 - Expirado em 31/12/2011.
- Crédito no Imposto de Renda para o biodiesel (Biodiesel Income tax credit)
 - US\$ 1,00 por galão.
 - Quem pode receber: produtores e misturadores de biodiesel, agrobiodiesel e diesel renovável.
 - Estabelecido em 2005 pelo American Jobs Creation Act of 2004.

- Expirado em 31/12/2013.
- Crédito no Imposto para mistura de Biodiesel (Biodiesel Mixture Excise Tax Credit)
 - US\$ 1,00 por galão de biodiesel, agro-biodiesel e diesel renovável misturado com diesel de petróleo para produzir uma mistura contendo no mínimo 0,1% de diesel.
 - Quem pode receber: empresa que misture o biodiesel, agro-biodiesel ou diesel renovável.
 - Expirado em 31/12/2013.
- Crédito ao pequeno produtor de agro-biodiesel (Small Agri-Biodiesel Producer Credit)
 - US\$ 0,10 por galão para até 15 milhões de galões de agro-biodiesel por ano.
 - Estabelecido em 2005 pelo the Energy Policy Act of 2005.
 - Quem pode receber: pequeno produtor, definido como produtor com capacidade abaixo de 60 milhões de galões de agro-biodiesel por ano.
 - Expirado em 31/12/2011.
- Crédito para produção de biocombustível de segunda geração (Second Generation Producer Tax Credit)
 - US\$ 1,01 por galão.
 - Quem pode receber: produtores de biocombustíveis de segunda geração.
 - Estabelecido em 2009, pelo Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
 - Expirado em 31/12/2013.
- Permissão de Depreciação Especial para Propriedade de Planta de Biocombustível de segunda geração (Second Generation Biofuel Plant Depreciation Deduction Allowance)
 - É permitida a depreciação de 50% da base ajustada de uma nova usina de biocombustível de segunda geração no ano em que ela é colocada em serviço.

- Quem pode receber: qualquer usina de biocombustível de segunda geração, colocada em serviço entre 20 de dezembro de 2006 e 31 de dezembro de 2013.
- Estabelecido em 2006 pelo Tax Relief and Health Care Act of 2006.
- Expirado em 31/12/2013.
- Crédito para infraestrutura de combustível alternativo (Alternative Fuel Infrastructure Tax Credit)
 - O contribuinte pode ter um crédito de 30% para a instalação de infraestrutura para combustível alternativo, até US\$ 30.000, incluindo E85.
 - Quem pode receber: indivíduo ou empresa que instale infraestrutura para combustível alternativo.
 - Estabelecido em 2005 pelo the Energy Policy Act of 2005.
 - Expirado em 31/12/2013.

5.5.2 Benefícios Tributários e Financeiros federais vigentes

5.5.2.1 Internal Revenue Service (IRS)

- Bonds do Tesouro para Demonstração e Pesquisa Tecnológica sobre combustíveis alternativos e veículos avançados (Alternative Fuel and Advanced Vehicle Technology Research and Demonstration Bonds) (U. S. DOE, 2013e)
 - Governos estaduais, tribais e locais qualificados podem emitir Bonds de Conservação de Energia subsidiados pelo Departamento de Tesouro dos EUA a preços competitivos para financiar despesas de capital em projetos de conservação de energia qualificados. As atividades elegíveis incluem projetos de investigação e demonstração relacionados com o etanol celulósico e outros combustíveis não fósseis.
- Isenção de Impostos para Combustíveis alternativos (Alternative Fuel Tax Exemption) (U. S. DOE, 2013f)
 - São isentos de impostos os combustíveis alternativos utilizados em veículo a motor para fins agrícolas; em certos ônibus intermunicipais e municipais; em um ônibus escolar; e uso exclusivo por organização educacional sem fins lucrativos.

5.5.2.2 DOT

- Financiamento para pesquisa de transporte usando produtos de base biológica (Biobased Transportation Research Funding) (U. S. DOE, 2013g)
 - O Surface Transportation Research, Development, and Deployment Program financia atividades que promovem a inovação em infraestrutura de transportes, serviços e operações. Uma parte do financiamento disponibilizado é reservada para financiamento de pesquisa de transporte usando produtos de base em centros de pesquisa e através do National Biodiesel Board.

5.5.2.3 DOE

- Manufatura de Veículos com Tecnologia Avançada (Advanced Technology Vehicles Manufacturing) (U. S. DOE, 2014f)
 - Empréstimos para desenvolvimento de tecnologia automotiva. Inclui os veículos flex fuel.
 - Quem pode receber: montadoras de automóveis que pretendam desenvolver ou fabricar equipamentos automotivos com tecnologia avançada nos Estados Unidos.

5.5.2.4 USDA

- Programa de Assistência à Biorefinaria, Química Renovável e manufatura de produtos de base biológica (Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program) (USDA, 2014b)
 - O programa fornece garantias de empréstimos para o desenvolvimento, construção e adaptação de instalações em escala comercial.
 - Quem pode receber: projetos que usem matérias-primas elegíveis e que tenham a maior parte da produção da biorefinaria de biocombustíveis avançados.
 - Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.

- Programa de Assistência para substituição da fonte energética (Repowering Assistance Program) (USDA, 2013b)
 - O programa realiza pagamento para biorefinarias que substituam os combustíveis fósseis usados para produzir calor ou eletricidade por biomassa renovável.
 - Quem pode receber: biorefinarias existentes antes de 18 de junho de 2008.
 - Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
- Programa de Pagamento pelo biocombustível avançado (Advanced Biofuel Payment Program) (USDA, 2013c)
 - O programa realiza pagamentos para apoiar os produtores na expansão e produção de biocombustíveis avançados de fontes que não sejam o amido de milho.
 - Quem pode receber: quem produza ou venda biocombustível avançado.
 - Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
- Programa de Flexibilidade de Matéria-prima para produtores de biocombustíveis (Feedstock Flexibility Program for Producers of Biofuels) (USDA, 2011)
 - Autoriza o uso de recursos da Commodity Credit Corporation para a compra de açúcar produzido em excesso, para ser revendido para produção de bioenergia.
 - Quem pode receber: produtores de biocombustíveis que utilizem o açúcar como matéria-prima.
 - Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
- Programa de Assistência ao Cultivo de Biomassa (Biomass Crop Assistance Program) (USDA, 2014c)
 - Pagamento de até 75% dos gastos com colheita, armazenamento e transporte de biomassa para a produção de biocombustíveis. Prazo de até dois anos. Matérias-primas para biocombustíveis celulósicos

- recebem maior valor, que vai se reduzindo para os biocombustíveis avançados e demais.
- Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
 - Quem pode receber: pessoa que entregue biomassa elegível para as plantas qualificadas.
 - Programa de Energia Rural para América (The Rural Energy for America Program) (USDA, 2014d)
 - O Programa presta assistência financeira aos produtores agrícolas e rurais para comprar, instalar e construir sistemas de energias renováveis; fazer melhorias de eficiência energética para edifícios não-residenciais e instalações; e utilizar tecnologias renováveis, que reduzam o consumo de energia.
 - Estabelecido em 2008 pelo the Food, Conservation, and Energy Act of 2008.
 - Subvenção para educação sobre biodiesel (Biodiesel Fuel Education Grants) (USDA, 2014e)
 - Objetivo de estimular o consumo e desenvolvimento de infraestrutura para o biodiesel.
 - Estabelecido pelo Farm Security Investment Act of 2002.
 - Quem pode receber: organizações sem fins lucrativos e instituições de ensino superior que demonstraram conhecimento sobre a produção de biodiesel, uso ou distribuição; e capacidade demonstrada para realizar programas de apoio educativo e técnicos.

5.6 A estruturação do Sistema de Inovação para Bioenergia no período recente

De maneira geral se observa que há um problema de criação de legitimidade para o etanol de primeira geração nos EUA, que tem resultado na dificuldade de criação de mercado. Ações de grupos contrários como as grandes empresas de petróleo, as montadoras de automóveis e a indústria de alimentos processados têm fomentado debates como comida x combustível, aumento de preços dos alimentos etc., que criam dificuldades na legitimação do uso de biocombustíveis de primeira geração. Tal situação tem sido enfrentada com intensa

mobilização de recursos, direcionados em grande parte à criação de conhecimento para o etanol celulósico e que devem responder aos questionamentos existentes.

Também se verifica que não existem somente problemas de legitimação, mas que as *advocacy coalitions* contrárias aos biocombustíveis têm imposto problemas na formação de mercado. A RFA publicou um relatório em julho de 2014, no qual afirma que as grandes empresas de petróleo têm imposto obstáculos para que os postos de combustíveis ampliem a venda de E85 e E15:

[...] oil companies themselves that are blocking the sale of greater volumes of renewable fuels by retail gas stations. Through rigid franchise and branding agreements, restrictive supply contracts, outlandish labeling requirements, punitive penalties, and other heavy-handed tactics, Big Oil prevents and discourages retail stations from selling fuels with higher renewable content, like E15 and E85. (RFA, 2014b)

O relatório da RFA traz ainda alguns dados estatísticos que, segundo a associação, comprovariam o esforço das “Big Five” empresas de petróleo trabalharem para dificultar a venda de E15 e E85:

- Cerca de 48.000 postos de combustíveis usam as marcas das “Big Five” e menos de 300 (0,6%) oferecem E85 ou E15;
- Cerca de 34.300 postos de combustíveis usam marcas de outras refinarias de petróleo e menos de 475 (1,4%) oferecem E85 ou E15;
- Dos 74.000 postos de combustíveis “bandeira branca”, entre 1.700 e 2.600 (2,3 – 3,5%) oferecem E85 ou E15.

A indústria automotiva também tem dado demonstrações bastante ambíguas quanto ao uso do etanol. Ao mesmo tempo que desenvolve modelos *flex fuel*, afirma que misturas de 15% de etanol com a gasolina podem comprometer os veículos – os mesmos que rodam no Brasil com 25% de etanol. A produção de veículos *flex fuel* nos EUA é atribuída aos créditos do CAFE. Contudo, as regras do CAFE a partir de 2017 eliminam tal crédito e poderão desencorajar a venda de veículos *flex fuel*. Apesar de haver um mandato explícito na RFS2, os fatos relatados acima, associados à queda de consumo de gasolina nos EUA e à pouca produção de E2G têm causado repetidas reduções nos mandatos para E2G pela EPA. A representação gráfica para os EUA pode ser vista na Figura 39.

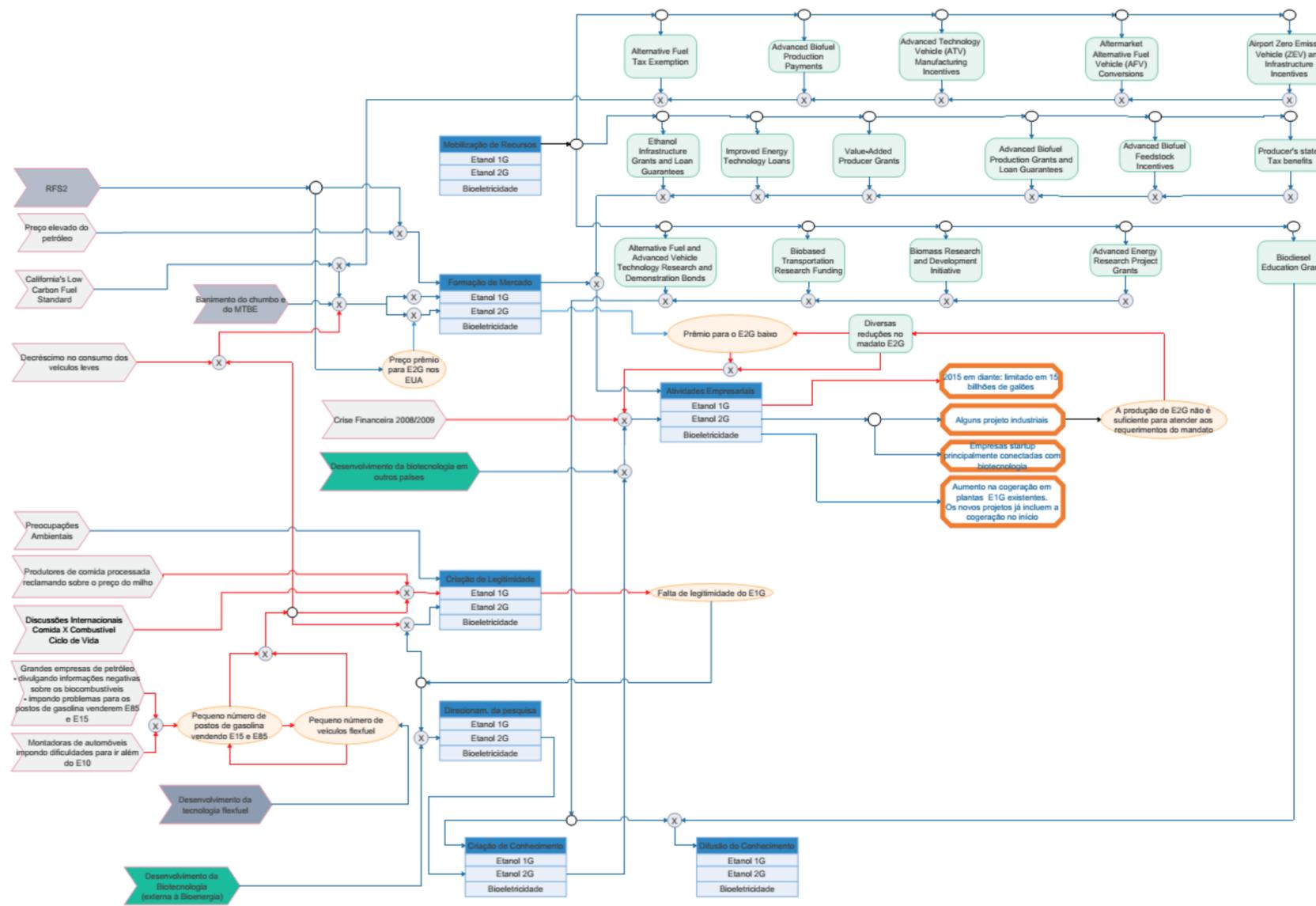


Figura 39 - Representação do Sistema de inovação nos EUA
 Fonte: elaboração própria

6 COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL E ESTADOS UNIDOS

Neste capítulo, Brasil e EUA terão os seus sistemas de inovação para etanol/bioenergia comparados a partir de uma análise considerando as funções de inovação. Quando disponíveis, os indicadores relacionados com a função de inovação serão apresentados e posteriormente será apresentada uma avaliação. Busca-se, com isso, verificar os diferentes graus de dificuldade de cada país para gerar inovação. Devido à peculiaridade da bioenergia utilizar matérias-primas de origem agrícola e/ou florestal, em algumas seções a análise será subdividida em matéria-prima e processo de conversão industrial.

6.1 Função de Inovação de Atividades Empresariais

6.1.1 Função de Inovação de Atividades Empresariais - Processo de conversão industrial

Para uma melhor avaliação sobre as atividades empresariais, optou-se por segmentar a análise entre o segmento de bens de capital e o segmento produtor de bioenergia. Tal segmentação foi considerada importante devido à diferença significativa de modo de atuação e relacionamento com a P&D e também devido à diferença verificada entre os dois países, principalmente para o segmento de bens de capital.

6.1.1.1 Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital

6.1.1.1.1 Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital - Brasil

Numa avaliação da indústria de bens de capital no Brasil, Magacho (2012) constata que as grandes variações no crescimento da economia brasileira são perniciosas para a indústria de base. Nos períodos de baixo crescimento da economia, as indústrias de bens de capital desmobilizam pessoal e reduzem significativamente suas atividades, em valor superior à média da indústria. Quando ocorrem os ciclos de desenvolvimento mais acelerados, como os observados entre 2004 e 2008, essa indústria não consegue atender toda demanda interna. Em alguns setores, o autor considera que há capacitação tecnológica e que o grande aumento de importações de BK (bens de capital) no período analisado deveu-se principalmente pela falta de capacidade produtiva para atender o rápido crescimento. Em outros setores o problema

seria mais grave, já que a indústria de BK perdeu também a capacitação tecnológica para atender aos seus clientes potenciais. No setor sucroenergético brasileiro, se observa com clareza tal fato. Quando não há instalação de novas unidades, as usinas continuam produzindo açúcar, etanol e outros produtos ainda que com margens reduzidas. As empresas especializadas em BK para o SS passam a contar somente com a receita da manutenção de equipamentos. Ou seja, a estagnação do setor é muito mais severamente sentida pela indústria de BK.

Valente et al. (2012) ao analisarem a indústria de bens de capital para o SS, relatam que nas entrevistas realizadas com fornecedores de BK, especialmente aqueles mais dependentes do SS, o nível de ociosidade em 2012 girava em torno de 50%. De maneira similar a Magacho (2012), que realizou o estudo para indústria de bens de capital em geral, Valente et al. (2012) identificam que no SS, no período de expansão acelerada recente, a indústria de BK não foi capaz de atender a demanda das usinas de forma satisfatória. As usinas, de maneira geral apresentaram reclamações quanto ao cumprimento dos prazos de entrega, um prazo excessivamente longo para atendimento dos pedidos e dificuldade para encontrar produtos dentro da especificação desejada.

Os autores também calculam que para atender parte da demanda potencial criada pelos carros *flex fuel* e cumprir as metas do Plano Decenal de Energia seriam necessárias cerca de 130 novas usinas até 2020-2021. E que, caso essa demanda se confirme, o setor de BK terá dificuldades para atender aos pedidos, principalmente no que tange aos equipamentos mais específicos para as usinas do SS e que possuem poucos fabricantes. Para a fase agrícola, os autores não identificaram problemas de atendimento a um eventual aumento de demanda. Os autores explicam tal fato devido a uma parte dos equipamentos serem comuns a outras culturas e, portanto, as empresas fornecedoras terem uma base de clientes mais diversificada. Para os equipamentos mais específicos como as plantadeiras e colheitadeiras, já há crescimento da necessidade de equipamentos e as indústrias já investiram em aumento de capacidade, além de serem majoritariamente grandes multinacionais com atuação bastante diversificada. Apesar disso, Nyko et al. (2013) consideram que as colheitadeiras e plantadeiras de cana-de-açúcar não apresentam evolução tecnológica adequada.

De maneira geral, são poucas as políticas públicas específicas para a indústria de base do SS no Brasil. A Apex executa uma ação junto às empresas de Sertãozinho e Piracicaba para apoiar a internacionalização das empresas, fato que auxiliaria na diminuição da exposição das empresas somente ao mercado brasileiro. O BNDES possui linhas de

financiamento específicas para produtoras de BK, sem, contudo, ter linhas dedicadas para bens de capital do SS.

Nos projetos de etanol celulósico em curso, as novas etapas industriais incorporadas pouco contaram com a participação das indústrias de BK do país. As empresas não possuíam tecnologia disponível para atender as usinas, com exceção da hidrólise ácida da Dedini, que foi considerada uma tecnologia pouco competitiva. A principal motivação para este despreparo da indústria de BK em atender esta demanda deve-se à baixa incorporação de novas tecnologias, principalmente as de base biotecnológica. Cabe aqui ressaltar que não se trata apenas do pouco conhecimento disponível nas empresas, parte dos entrevistados considera que nas ICT's brasileiras este conhecimento também não estaria disponível.

Em relação ao desenvolvimento de equipamentos agrícolas para outras culturas energéticas, não foram identificadas ações relevantes no país. As pesquisas e atividades empresariais para diversificação de matérias-primas têm se concentrado principalmente na cana energia, no sorgo e no milho. As duas primeiras culturas preveem a utilização dos mesmos equipamentos utilizados para cana-de-açúcar, com pequenas modificações. O milho já possui uma cultura bem desenvolvida e maquinário adequado.

6.1.1.1.2 Função de Inovação de Atividades Empresariais – Indústria de bens de capital – Estados Unidos

Em relatório no qual é analisada a evolução dos biocombustíveis avançados e a capacidade prevista de produção até 2016, Solecki, Scodel e Epstein (2013) identificaram nos EUA e Canadá, 93 empresas fornecendo insumos, catalisadores, enzimas e serviços de tecnologia para cadeia de suprimentos dos biocombustíveis avançados. Segundo os autores, entre 2007 e o primeiro semestre de 2013, houve 1,45 bilhões de dólares de investimento privado neste segmento. Os autores também relatam que os subsídios públicos (public grants) desde 2008 superaram os 600 milhões de dólares e que as garantias federais de empréstimos (federal loan guarantees) superaram 940 milhões de dólares para projetos de biorefinarias. Dentre os recursos federais e estaduais, não foi possível segmentar o montante destinado para o segmento de bens de capital, mas uma parcela significativa dos gastos para implementação de uma biorefinaria são relacionados com a aquisição dos equipamentos.

Um fato a se destacar é que nos EUA uma parte significativa do desenvolvimento tecnológico para biocombustíveis, inclusive para bens de capital, é realizado por empresas *startups*, com tecnologias frequentemente descobertas nos laboratórios de pesquisa das

universidades e fundadas com assistência financeira de *venture capital* (MANZER, 2013). A seguir são relacionadas algumas empresas destacadas pelo autor, cuja lista foi complementada com as empresas que Solecki, Scodel e Epstein (2013) identificaram que tem negócios no Brasil ou que tenham sido identificadas como receptoras de investimento de empresas brasileiras.

Gevo – fundada em 2005 com tecnologia descoberta no California Institute of Technology. Recebeu *venture capital* da Khosla Ventures e realizou o IPO em fevereiro de 2011. Em 2013 tinha um valor de mercado de US\$ 500 milhões. Desde 2009 trabalha em colaboração com a ICM – uma das líderes no fornecimento de tecnologia para produção de etanol. O modelo de negócio proposto é o desenvolvimento de um processo de fermentação que produza isobutanol e que possa ser adaptado nas plantas de etanol existentes. A empresa também desenvolveu um bioquerosene de aviação testado com sucesso pelo Exército dos EUA (NEITEC, 2014)

Amyris – fundada com tecnologia descoberta na UC Berkeley. O IPO foi realizado em setembro de 2010. Em 2013 tinha um valor de mercado de mais de um bilhão de dólares. O produto plataforma da empresa é a produção de farneseno a partir da fermentação de açúcar. A partir do farneseno é possível produzir uma série de outros produtos químicos, inclusive biocombustíveis. A primeira unidade industrial da Amyris é uma parceria com a Paraíso Bioenergia, localizada em Brotas/SP, junto a uma usina de etanol. A unidade produz squaleno – um emoliente utilizado na indústria de cosméticos. A empresa, em parceria com a usina São Martinho, está construindo sua segunda planta industrial no Brasil (AMYRIS, 2014). A empresa possui diversas parcerias para desenvolvimento de bioquímicos e de biocombustíveis.

LS9 – fundada em 2005 e vendida em 2013 para o Renewable Energy Group. A partir da modificação genética de um organismo que naturalmente produz lipídios, a empresa pode produzir uma variedade de hidrocarbonetos. Trabalha em parceria com a Fluor, para as questões de engenharia (SOLECKI; SCODEL; EPSTEIN, 2013). Possui uma planta de demonstração em Okeechobee/FL. A empresa foi uma das que investiu no Brasil, com a abertura de um laboratório em São Paulo, no Parque Tecnológico de Piracicaba, para adaptar sua tecnologia para utilização com a cana-de-açúcar. A empresa também participa do PAISS, com projeto para produção de diesel, integrado a uma usina de etanol.

Cobalt Technologies – recebeu *venture capital* da Pinnacle Ventures, Malaysian Life Sciences Capital Fund Burrill & Company, Parsons & Whittemore, LSP (Life Sciences Partners), @Ventures e Harris & Harris Group. É uma startup de Mountain View – Califórnia,

que se especializou na criação de biobutanol a partir de várias matérias-primas celulósicas. A empresa tem parceria com a Rhodia para construção de uma planta para produção de biobutanol no Brasil, utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima.

Edeniq - integra processos mecânicos e biológicos para quebrar de forma eficiente e custo-eficaz materiais vegetais em açúcares, que se transformam em combustíveis e materiais industriais sustentáveis. O portfólio de patentes da Edeniq inclui inovações em catalisadores biológicos e processos mecânicos (EDENIQ, 2014). A empresa anunciou que iniciou a engenharia e construção de uma fábrica, em escala de demonstração, de açúcares de bagaço com sua sócia, a Usina Vale - produtora brasileira de açúcar e etanol.

Ensyn - Em outubro de 2012 a Fibria – empresa brasileira, maior produtora de celulose do mundo, adquiriu 6% das ações da Ensyn. Como parte do acordo, a Fibria e a Ensyn criaram uma *joint venture* para operar no Brasil com a produção de combustíveis e químicos líquidos de origem renovável. A Ensyn já produziu mais de 30 milhões de galões de RFO - Renewable Fuel Oil (óleo combustível renovável), utilizando um processo próprio denominado RTP - Rapid Thermal Processing (Processo térmico rápido) (ENSYN, 2012).

Solazyme - Fundada em 2003, com sede em São Francisco, na Califórnia, a empresa fez a abertura de suas ações em 2011. Em 2010 a Bunge realizou investimento na Solazyme. Em 2012 as duas empresas criaram uma *joint venture* para construção e operação de uma fábrica de óleos renováveis, em uma área adjacente à usina Moema, da Bunge Brasil. A JV tem uma capacidade anual projetada de 100.000 toneladas de óleos. A planta utilizará a tecnologia de produção de óleos customizados da Solazyme a partir de microalgas, para produzir óleos triglicérides customizados, utilizados em aplicações industriais (BUNGE, 2012). A unidade de Moema entrou em operação em janeiro de 2014 e contou com empréstimos do BNDES (INVESTESP, 2014). No Brasil, a empresa está produzindo óleos para uso em cosméticos e sabonetes da Unilever e um lubrificante.

American Process, fundada em 1995 como empresa de consultoria na área de engenharia para industrial de papel e celulose, nos anos recentes se especializou em tecnologias para produzir açúcar, etanol e químicos a partir de biomassa. A tecnologia desenvolvida para conversão combina uso de químicos e enzimas. A empresa possui plantas de demonstração em Alpena, Michigan e Thomason, Georgia (LANE, 2013). Em 2013 a Granbio Investimentos adquiriu 25% da empresa. O BNDES possui 15% das ações da Granbio Investimentos (NIELSEN, 2013). Em abril de 2014 a empresa foi a primeira a gerar RINs de etanol celulósico produzido a partir da madeira na biorefinaria de Alpena (LANE, 2014).

Quanto às tecnologias de conversão industrial, observa-se que houve intensa atividade industrial para construção de plantas de etanol de 1ª geração, que pode ser constatada pelo enorme crescimento da produção estadunidense. Também se verifica que para produção de etanol de segunda geração há intenso investimento empresarial.

No segmento agrícola, também se verifica intensa atividade nos EUA. Diferente do Brasil, que tem a cana-de-açúcar como uma matéria-prima que possui um bom balanço energético e de redução de GEE, nos EUA a busca por uma matéria-prima de alto rendimento ainda está em curso. Considerando a enorme produção de milho e de etanol de milho nos EUA, várias empresas têm buscado soluções para desenvolver a logística de colheita e transporte da palha do milho de forma eficiente. Essa solução teria uma série de benefícios por se integrar à logística existente para o milho.

6.1.1.2 Função de Inovação de Atividades Empresariais – Produtoras de bioenergia

No Brasil, conforme analisado anteriormente, enquanto o mercado foi rentável e atrativo, houve resposta empresarial, que pode ser constatada pelo crescimento da produção de etanol ao longo da década de 2000. Na produção de etanol de segunda geração, a movimentação foi causada pelo PAISS, já que não há demanda específica para o etanol celulósico no Brasil. A produção de energia elétrica a partir da biomassa também recebeu investimentos empresariais, sempre que houveram leilões que permitissem essa fonte e que pagassem um preço remunerador.

Nos EUA também foi célere a resposta empresarial, com um grande número de empresas investindo na produção de bioenergia. Eram 210 empresas produzindo etanol ao final de 2013, e um grande crescimento na produção de energia elétrica a partir da biomassa. Para os biocombustíveis avançados, Solecki, Scodel e Epstein (2013) identificaram 160 plantas comerciais em construção, de 159 empresas; 13 plantas de demonstração existentes e um investimento privado superior a US\$ 4,85 bilhões desde 2007.

6.1.1.3 Função de Inovação de Atividades Empresariais – Matéria-Prima

No Brasil, houve algumas atividades históricas relacionadas com a busca por matérias-primas alternativas, contudo, pelo seu alto rendimento agrícola, excelente balanço energético e alta redução de GEE, a cana-de-açúcar se manteve como a matéria-prima quase que

exclusiva para a produção de etanol no Brasil. As pesquisas relacionadas com técnicas agrícolas e variedades foi em grande parte conduzida pela Ridesa, ICTs de São Paulo e CTC. Praticamente não há apropriação de lucro pelas instituições para desenvolver variedades, que recebem um valor suficiente apenas para cobrir parcialmente os custos das pesquisas. Chabregas (2012) relata que em 2012 cerca de 85% da soja, 70% do milho e 30% do algodão plantados no Brasil eram transgênicos. Contudo, ainda não haveria uma única variedade transgênica de cana-de-açúcar disponível comercialmente no Brasil.

Como já visto na Figura 15 a produtividade do milho cresceu 129% entre 1961 e 2011, enquanto a cana-de-açúcar teve crescimento de 40%. Somente em 2002, com a fundação da Allelyx, e em 2003, com a fundação da Canavialis, é que se verifica o início de um movimento relacionado com desenvolvimento empresarial de variedades transgênicas, técnicas biotecnológicas e fábricas de mudas comerciais para cana-de-açúcar no Brasil. Adquiridas em 2008 pela Monsanto, as empresas passaram a integrar o portfólio da multinacional como unidades destinadas à Bioenergia. Em 2011, a empresa lançou o sorgo sacarino como alternativa no Brasil e, em 2012, lançou suas primeiras variedades de cana-de-açúcar ainda desenvolvidas com tecnologias tradicionais de cruzamento. Desde 2005 são realizados testes com variedades transgênicas aprovadas pelo CTNBio (CANAVIALIS, 2014). Identificado como um segmento de alto potencial para melhoria, a transgenia da cana-de-açúcar é um dos focos do PAISS Agrícola, lançado em 2014. Espera-se que haja forte impulso para novas atividades empresariais neste segmento no Brasil.

Nos Estados Unidos, a maior parcela dos desenvolvimentos tecnológicos para o milho tem sido realizada por empresas, especialmente no lançamento de novas variedades. Há um mercado muito bem estabelecido e estas empresas se internacionalizaram, sendo também as principais fornecedoras de sementes de transgênicos no Brasil. Como a cadeia produtiva do milho já é bem estabelecida, as pesquisas têm majoritariamente sido conduzidas pelas empresas, com sucesso, conforme pode ser observado pelos enormes ganhos obtidos. Para as novas matérias-primas há uma participação maior das ICTs, com recursos do Estado, tendo em vista que ainda há grande incerteza sobre as melhores matérias-primas e seus desenvolvimentos tecnológicos. Ainda que a participação governamental seja maior, as próprias empresas que já dominam o setor de sementes nos Estados Unidos e também algumas *startups* tem trabalhado fortemente para dominar a tecnologia para produção de matéria-prima para o etanol celulósico.

6.2 Função de Inovação de Criação de Conhecimento

6.2.1 Indicadores

6.2.1.1 Publicação Científica

Yaoyang e Boeing (2013) realizaram uma avaliação bibliométrica das pesquisas realizadas na área de biocombustíveis, baseada no índice expandido de citação científica da base de dados *Web of Science* disponibilizada pela Thomson Reuters. A análise dos resultados encontrados pelos autores nos fornece um panorama de um dos indicadores associados com a inovação, que é a publicação científica.

Na Tabela 14 verifica-se que a quantidade de publicações sobre biocombustíveis cresceu significativamente a partir de 2004. Na Tabela 15, verifica-se que os Estados Unidos são o país com o maior número de publicações e também com o índice h mais elevado. O índice h^5 foi desenvolvido para avaliar as citações e a partir deste dado medir a importância de um país/instituição de pesquisa. O Brasil é o sexto país em número de publicações, mas apresenta uma relação entre a quantidade de publicações e de citações bem abaixo dos demais países (19ª colocação). O índice h do Brasil também apresenta um valor baixo (11º colocado).

Na Figura 40, verifica-se que os Estados Unidos têm um papel central quando se trata de colaboração internacional para publicações. Das vinte instituições com maior número de publicações, quinze são estadunidenses. A USP é a única universidade brasileira dentre as vinte com mais publicações sobre biocombustíveis.

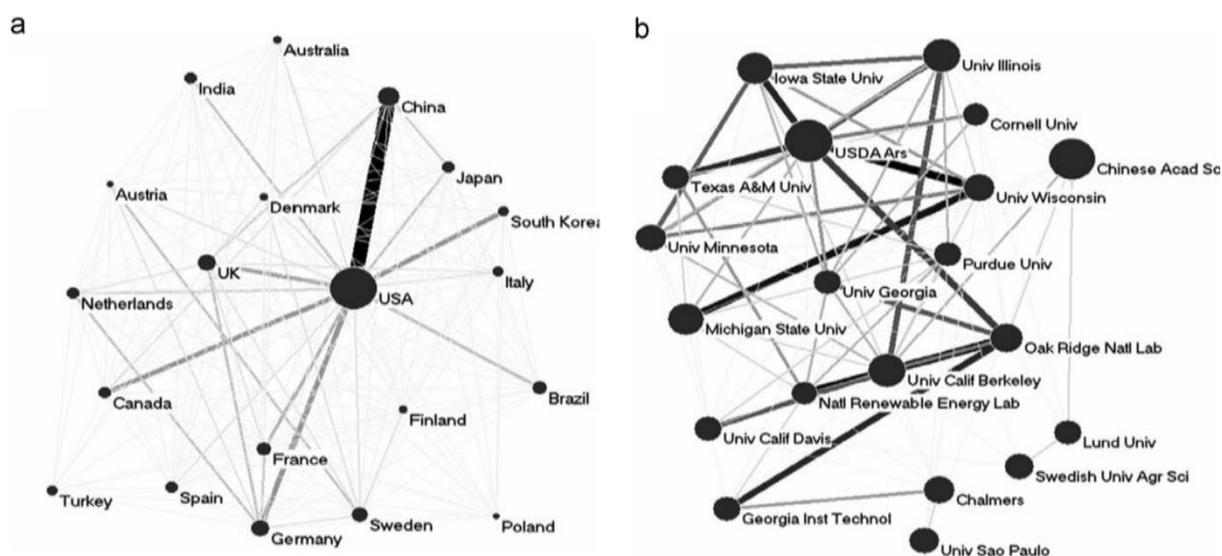


Figura 40 - Redes de Colaboração dos 20 países mais produtivos (a) e instituições (b)

Fonte: (YAOYANG; BOEING, 2013, p. 85)

⁵ Entre os artigos (N) de um país / instituição, há h artigos com pelo menos h citações por artigo, enquanto os outros artigos (N - h) tem menos de h citações de cada artigo (HIRSCH, 2005)

| Ano | TP | PG | PG/TP | TC | TC/TP | AU | AU/TP | NR | NR/TP |
|-------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1991 | 4 | 60 | 15 | 54 | 13,5 | 7 | 1,8 | 74 | 18,5 |
| 1992 | 14 | 200 | 14,3 | 148 | 10,6 | 31 | 2,2 | 386 | 27,6 |
| 1993 | 13 | 82 | 6,3 | 109 | 8,4 | 36 | 2,8 | 101 | 7,8 |
| 1994 | 12 | 139 | 11,6 | 113 | 9,4 | 42 | 3,5 | 130 | 10,8 |
| 1995 | 23 | 189 | 8,2 | 709 | 30,8 | 63 | 2,7 | 376 | 16,3 |
| 1996 | 27 | 284 | 10,5 | 782 | 29 | 85 | 3,1 | 590 | 21,9 |
| 1997 | 26 | 260 | 10 | 991 | 38,1 | 68 | 2,6 | 669 | 25,7 |
| 1998 | 45 | 458 | 10,2 | 1287 | 28,6 | 115 | 2,6 | 1.317 | 29,3 |
| 1999 | 44 | 413 | 9,4 | 1626 | 37 | 112 | 2,5 | 1.033 | 23,5 |
| 2000 | 46 | 479 | 10,4 | 1832 | 39,8 | 166 | 3,6 | 1.220 | 26,5 |
| 2001 | 39 | 424 | 10,9 | 1950 | 50 | 186 | 4,8 | 1.235 | 31,7 |
| 2002 | 69 | 613 | 8,9 | 2802 | 40,6 | 228 | 3,3 | 1.777 | 25,8 |
| 2003 | 76 | 942 | 12,4 | 4025 | 53 | 354 | 4,7 | 2.306 | 30,3 |
| 2004 | 106 | 1.036 | 9,8 | 5463 | 51,5 | 440 | 4,2 | 3.357 | 31,7 |
| 2005 | 114 | 1.070 | 9,4 | 4329 | 38 | 418 | 3,7 | 3.767 | 33 |
| 2006 | 204 | 1.637 | 8 | 7868 | 38,6 | 692 | 3,4 | 5.473 | 26,8 |
| 2007 | 361 | 3.019 | 8,4 | 9400 | 26 | 1.259 | 3,5 | 10.563 | 29,3 |
| 2008 | 632 | 5.779 | 9,1 | 16.601 | 26,3 | 2.446 | 3,9 | 21.264 | 33,6 |
| 2009 | 974 | 8.966 | 9,2 | 14.173 | 14,6 | 3.905 | 4,0 | 34.502 | 35,4 |
| 2010 | 1342 | 13.084 | 9,7 | 13.489 | 10,1 | 5.684 | 4,2 | 53.485 | 39,9 |
| 2011 | 1946 | 18.789 | 9,7 | 9.890 | 5,1 | 8.480 | 4,4 | 77.818 | 40 |
| 2012 | 2024 | 19.484 | 9,6 | 1.796 | 0,9 | 9.441 | 4,7 | 84.011 | 41,5 |
| Média | | | 10 | | 27,3 | | 3,5 | | 27,6 |

TP = número de publicações PG = número de páginas TC = número de citações AU = número de autores
NR = número de referências

Tabela 14 - Características das publicações sobre biocombustíveis entre 1991 e 2012
Fonte: (YAOYANG; BOEING, 2013, p. 83)

| País | Todos | | | | País individual | | | | Colaboração Internacional | | | |
|---------------|-------|--------|-------|----|-----------------|--------|-------|--------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | TP | TC | TP/TC | h | SP | TC | TC/SP | SP (%) | CP | TC | TC/CP | CP(%) |
| EUA | 3.009 | 45.978 | 15,3 | 89 | 2.298 | 34.117 | 14,8 | 76,4 | 711 | 11.86 | 16,7 | 23,6 |
| China | 729 | 8.742 | 12 | 41 | 463 | 4.828 | 10,4 | 63,5 | 266 | 3.914 | 14,7 | 36,5 |
| Reino Unido | 460 | 5.861 | 12,7 | 38 | 255 | 2.832 | 11,1 | 55,4 | 205 | 3.029 | 14,8 | 44,6 |
| Alemanha | 452 | 7.229 | 16 | 42 | 234 | 2.179 | 9,3 | 51,8 | 218 | 5.050 | 23,2 | 48,2 |
| Suécia | 407 | 5.380 | 13,2 | 34 | 247 | 3.043 | 12,3 | 60,7 | 160 | 2.337 | 14,6 | 39,3 |
| Brasil | 350 | 2.416 | 6,9 | 27 | 262 | 1.637 | 6,2 | 74,9 | 88 | 779 | 8,9 | 25,1 |
| França | 299 | 4.080 | 13,6 | 32 | 161 | 1.395 | 8,7 | 53,8 | 138 | 2.685 | 19,5 | 46,2 |
| Japão | 282 | 3.538 | 12,5 | 31 | 176 | 2.162 | 12,3 | 62,4 | 106 | 1.376 | 13 | 37,6 |
| Índia | 276 | 3.228 | 11,7 | 31 | 186 | 1.708 | 9,2 | 67,4 | 90 | 1.520 | 16,9 | 32,6 |
| Holanda | 273 | 4.660 | 17,1 | 35 | 153 | 2.301 | 15 | 56 | 120 | 2.359 | 19,7 | 44 |
| Canadá | 245 | 2.719 | 11,1 | 26 | 135 | 878 | 6,5 | 55,1 | 110 | 1.841 | 16,7 | 44,9 |
| Espanha | 238 | 2.471 | 10,4 | 24 | 141 | 1.223 | 8,7 | 59,2 | 97 | 1.248 | 12,9 | 40,8 |
| Turquia | 207 | 4.257 | 20,6 | 38 | 192 | 4.091 | 21,3 | 92,8 | 15 | 166 | 11,1 | 7,2 |
| Itália | 199 | 2.008 | 10,1 | 25 | 115 | 941 | 8,2 | 57,8 | 84 | 1.067 | 12,7 | 42,2 |
| Coréia do Sul | 173 | 1.909 | 11 | 22 | 92 | 1.014 | 11 | 53,2 | 81 | 895 | 11 | 46,8 |
| Finlândia | 161 | 1.769 | 11 | 21 | 92 | 738 | 8 | 57,1 | 69 | 1.031 | 14,9 | 42,9 |
| Austrália | 150 | 1.879 | 12,5 | 22 | 85 | 754 | 8,9 | 56,7 | 65 | 1.125 | 17,3 | 43,3 |
| Dinamarca | 145 | 1.235 | 8,5 | 18 | 63 | 536 | 8,5 | 43,4 | 82 | 699 | 8,5 | 56,6 |
| Áustria | 120 | 2.631 | 21,9 | 25 | 35 | 740 | 21,1 | 29,2 | 85 | 1.891 | 22,2 | 70,8 |
| Polônia | 119 | 585 | 4,9 | 14 | 85 | 228 | 2,7 | 71,4 | 34 | 357 | 10,5 | 28,6 |

TP = Total de publicações, TC = Total de citações, SP = Publicações de um único país,
CP = Publicações em colaboração internacional

Tabela 15 - Os 20 países mais produtivos em pesquisa sobre biocombustíveis
Fonte: (YAOYANG; BOEING, 2013, p. 84)

6.2.1.2 Patentes

De Freitas e Kaneko (2012) realizaram uma avaliação das patentes registradas no Brasil, no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), relacionadas com etanol. E,

Jang e Du (2013) fizeram um trabalho semelhante para os registros no United States Patent and Trademark Office (USPTO). A partir destes trabalhos será realizada a comparação das patentes nos dois países. De Freitas e Kaneko (2012) segmentaram as patentes em seis grupos, cinco dos quais foram utilizados na segmentação de Jang e Du (2013), porém, com ajustes na nomenclatura.

De Freitas e Kaneko reportam que a busca inicial na base de dados do INPI foi realizada com múltiplas palavras chave e encontrou 1.906 patentes entre 1975 e 2010. Após análise de três pesquisadores, foram identificadas 1.426 patentes relacionadas com etanol, que foram classificadas nas categorias relatadas acima.

Jang e Du realizaram a busca na base de dados do USPTO com a palavra chave “ethanol” e obtiveram 3.539 patentes aplicadas entre 1975 e 2011 e concedidas entre janeiro de 1976 e junho de 2012. Após análise dos pesquisadores, 1.090 patentes foram selecionadas, sendo que somente aquelas que foram registradas por empresa ou pesquisador dos EUA (642) foram classificadas nos grupos descritos.

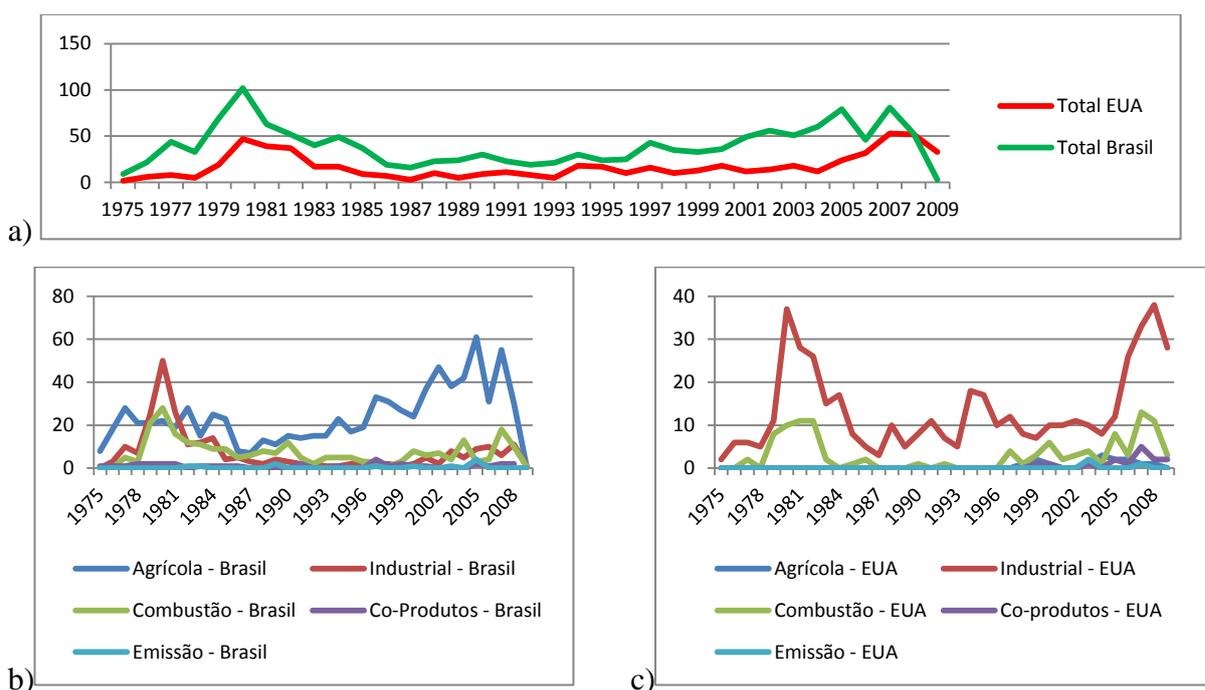


Figura 41 - Patentes relacionadas a etanol: a) Total no Brasil e EUA; b) Brasil; e c) Estados Unidos

Fonte: Brasil - (DE FREITAS; KANEKO, 2012); Estados Unidos - (JANG; DU, 2013); elaboração própria

Na Figura 41.a pode ser observado que historicamente o formato das curvas que representam os totais de patentes nos dois países é similar, com um grande movimento de depósito de patentes entre o final da década de 1970 e o início da década de 1980, com uma

redução significativa ao final da década de 1980 e um retorno paulatino, culminando com uma grande elevação ao final da década de 2000. Observa-se na Figura 41.a que o INPI, no Brasil, teria mais patentes registradas que o USPTO, nos EUA. Tal fato foi considerado como devido à metodologia de busca e de seleção utilizada por De Freitas e Kaneko (2012) e Jang e Du (2013) serem ligeiramente diferentes. No Brasil as tecnologias relacionadas com a cana-de-açúcar foram incluídas no levantamento e nos EUA as tecnologias do milho foram incluídas, somente quando havia algo específico para o etanol.

No Brasil, Freitas e Kaneko identificam três fases distintas observáveis na Figura 41.b: na fase inicial há uma grande preocupação com a produção industrial e com a adaptação dos motores para funcionar com maiores teores de etanol. Os segundo e terceiro períodos caracterizam-se por ter maiores preocupações com a etapa agrícola, sendo que no terceiro período a inserção da tecnologia *flex fuel* representa uma grande quantidade de patentes. Nos Estados Unidos – Figura 41.c, as patentes relacionadas com a produção industrial sempre se sobressaíram, seguidas das patentes de tecnologia automotiva.

6.2.1.3 Curvas de aprendizagem

Na Tabela 16 podem ser observadas as taxas de aprendizagem para a cana-de-açúcar; milho; etanol de cana e etanol de milho. Verifica-se que o milho possui uma taxa de aprendizagem muito superior à da cana-de-açúcar, como já se podia inferir pela enorme diferença no ganho de produtividade. Para o combustível final verifica-se que no período inicial (1975-2005) o etanol de cana-de-açúcar apresentou uma taxa de aprendizagem maior que o etanol de milho. No período entre 2004/2005 e 2013 não foi possível o cálculo usando a mesma metodologia de Van Den Wall Bake et al., (2009) e Hettinga et al. (2009) já que o R^2 apresentou uma baixa correlação para todas as análises. Porém, na análise da Figura 42 pode ser visto que na década de 2000 houve uma grande evolução do etanol de milho, com uma estabilização/regressão a partir de 2009.

A ausência de ganhos em período recente para o etanol tanto nos EUA quanto no Brasil indica que a tecnologia para o etanol de primeira geração já está madura. O mesmo ocorrendo com a cana-de-açúcar e com o milho. É importante ressaltar que para a cana-de-açúcar ainda se utilizam técnicas tradicionais de melhoramento genético e que o uso da transgenia ainda apresenta grandes possibilidades de ganhos. Outros fatores como preço de terra, secas etc., também são fatores de grande impacto que são aprofundados por de Van Den Wall Bake et al., (2009) e Hettinga et al. (2009).

| Sistema de Aprendizagem | LR (%) | Período | N | R ² |
|---|---------|-----------|------|----------------|
| Produção de matéria-prima | | | | |
| Cana-de-açúcar ⁽¹⁾ | 32±1 | 1975–2004 | 2,9 | 0,81 |
| Cana-de-açúcar ⁽³⁾ | 37±1 | 1975–2013 | 3,3 | 0,78 |
| Milho ⁽²⁾ | 45±1,5 | 1975–2004 | 1,6 | 0,87 |
| Milho ⁽³⁾ | 56±1,2 | 1975–2013 | 3,2 | 0,55 |
| Investimento e Custos de O&M | | | | |
| Etanol de Cana-de-açúcar ⁽¹⁾ | 19±0,5 | 1975–2005 | 4,6 | 0,80 |
| Etanol de Milho ⁽²⁾ | 13±0,15 | 1983–2004 | 6,4 | 0,88 |
| Combustível final | | | | |
| Etanol de Cana-de-açúcar ⁽¹⁾ | 20±0,5 | 1975–2005 | 4,6 | 0,84 |
| Etanol de Cana-de-açúcar ⁽³⁾ | 26±1,4 | 1975–2013 | 6,23 | 0,82 |
| Etanol de Milho ⁽²⁾ | 18±0,2 | 1983–2004 | 7,2 | 0,96 |

LR: Learning Rate, N: Número de dobros por produção acumulada.
R²: Coeficiente de correlação dos dados estatísticos.
Fontes: (1) (VAN DEN WALL BAKE et al., 2009); (2) (HETTINGA et al., 2009); (3) elaboração própria.

Tabela 16 - Taxas de aprendizagem para a cana-de-açúcar; milho; etanol de cana e etanol de milho

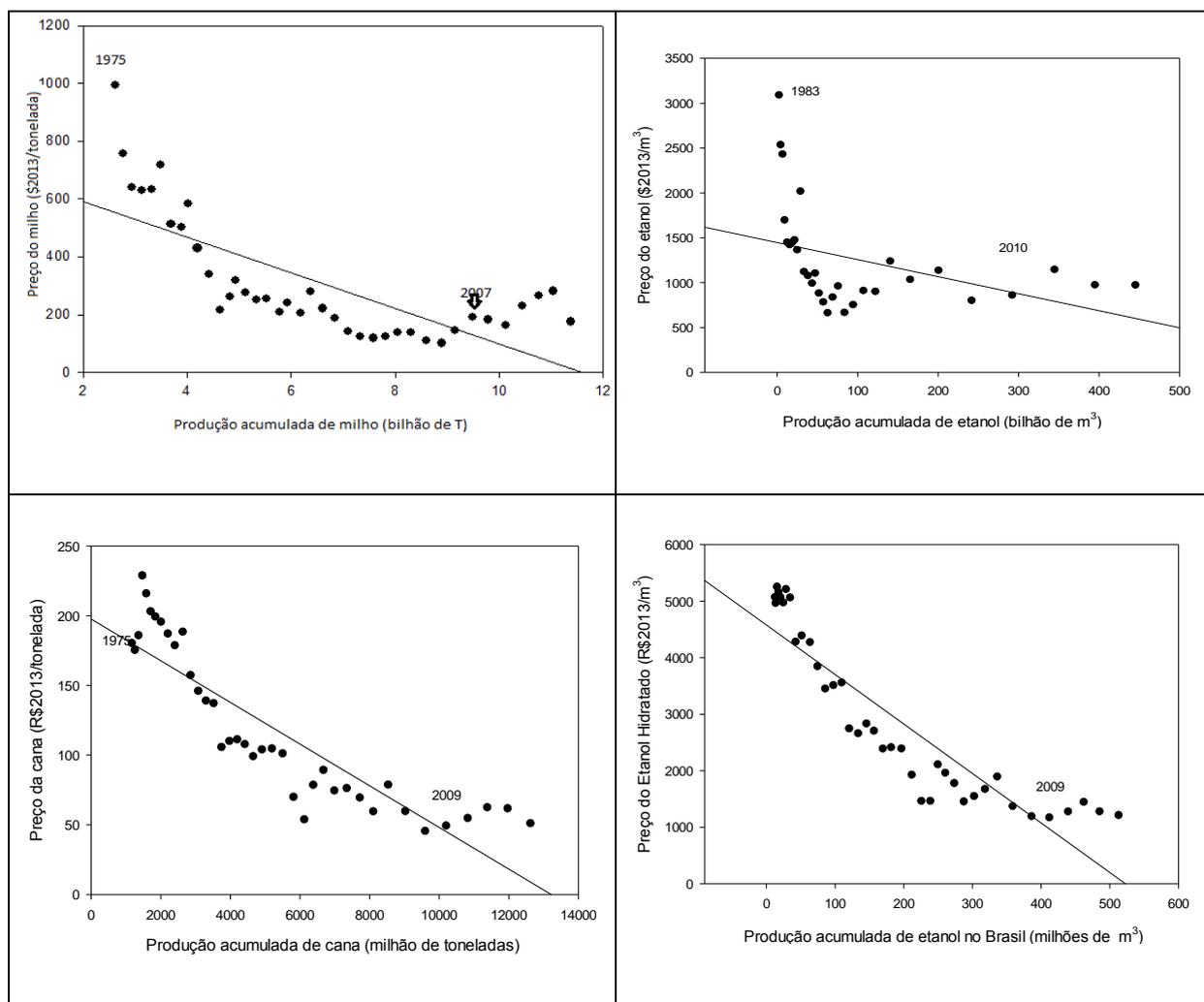


Figura 42 - Curva de Progress Ratio do milho, cana-de-açúcar, etanol de cana e etanol de milho

Fonte: Elaboração própria (Anexo VII)

6.2.2 Avaliação da FSI

6.2.2.1 Função de Inovação de Criação de Conhecimento - Processo de conversão industrial

No que tange às tecnologias para produção de biocombustíveis de primeira geração, há completo domínio tecnológico no Brasil e as empresas são as principais criadoras de conhecimento. Quanto aos biocombustíveis celulósicos, o país no momento possui pouco conhecimento sobre as tecnologias necessárias tanto na academia quanto nas empresas. O movimento atual consiste majoritariamente na importação de tecnologia, com sua adaptação para uso com bagaço ou palha de cana-de-açúcar. Entrevistas tanto no Brasil quanto nos EUA identificaram que além da falta de massa crítica sobre as novas tecnologias, existem problemas institucionais que restringem severamente o desenvolvimento, principalmente da biotecnologia.

Uma das reclamações mais relevantes é quanto ao prazo para aprovação de testes de microrganismos geneticamente modificados. O representante da Amyris entrevistado relatou que a evolução das pesquisas com microrganismos geneticamente modificados em algumas etapas é mais rápida que o processo de aprovação no CTNBio. P.ex.: a empresa pede aprovação para uma cepa de microrganismo, quando ela recebe a aprovação, já foi desenvolvida outra cepa mais evoluída. Tal fato foi um dos motivadores para a empresa manter o desenvolvimento de microrganismos nos EUA e só solicitar no Brasil a aprovação da cepa que será utilizada industrialmente. Fato similar foi reportado pelo representante da Granbio, que relatou que a empresa optou por adquirir participação acionária em empresas com tecnologias promissoras e abrir uma unidade própria nos EUA para simplificar e agilizar o processo de pesquisa.

Nos EUA, a tecnologia de primeira geração apresentou ganhos significativos de melhoria de performance no período recente. Na Figura 43 observa-se que as novas plantas de produção de etanol nos EUA que usam gás natural ou palha de milho em instalações que produzem energia e calor em ciclo combinado têm um alto ganho de eficiência na produção de energia e na redução de emissão de GEE, indicando que houve intensiva melhoria na tecnologia utilizada no processo industrial.

Tanto as empresas de bens de capital, quanto ICTs custeadas com recursos públicos, pesquisam co-geração de energia e melhoria do balanço energético das plantas, visando melhorar o saldo ambiental do etanol de milho. No desenvolvimento de tecnologias de etanol celulósico, há uma verdadeira corrida em curso. O grande número de empresas e ICTs

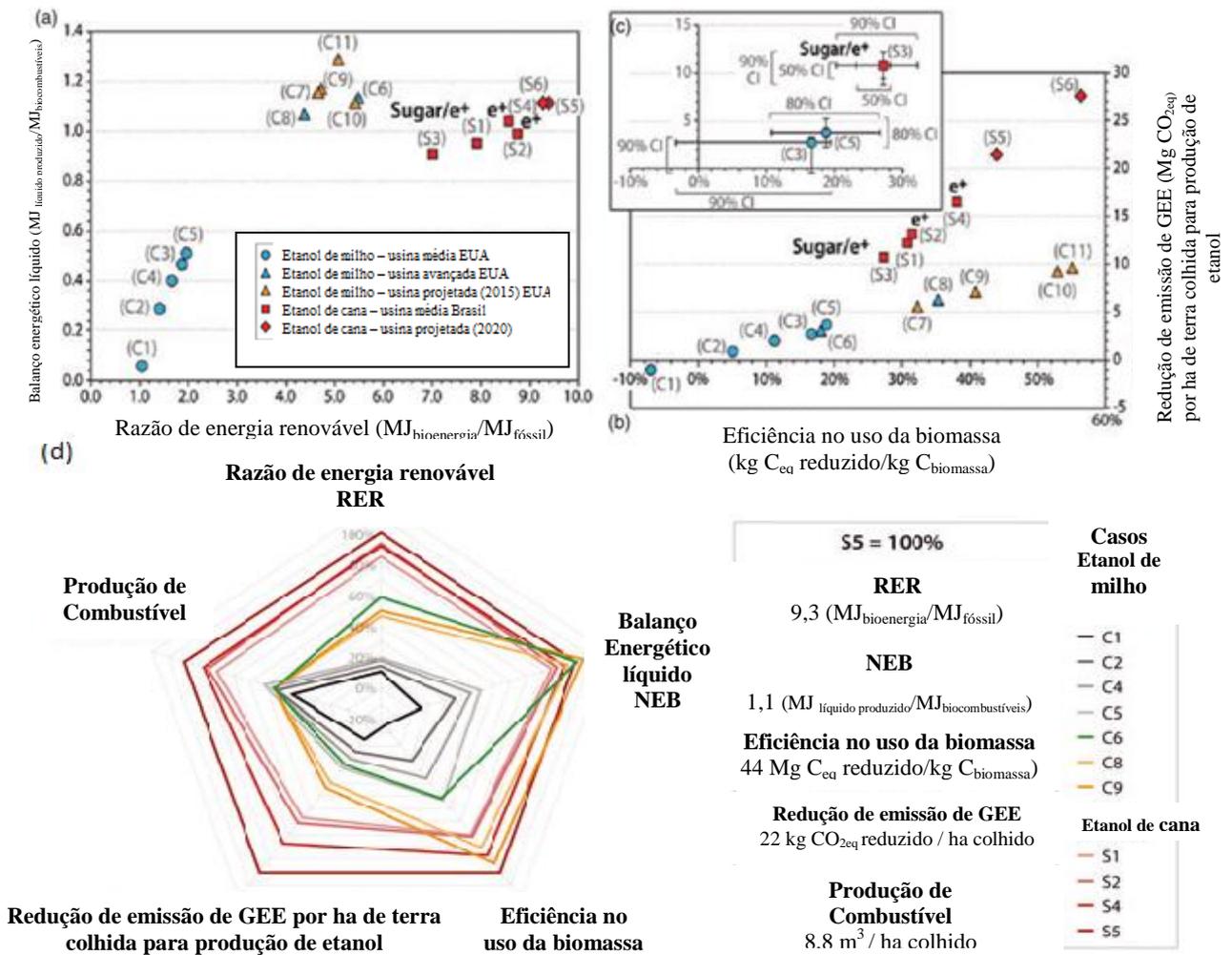


Figura 43. (a) Comparação do Ciclo de Vida NEB (Net Energy Balance) and RER (Renewable Energy Ratio) para etanol de cana-de-açúcar e milho. (b) Comparação do Ciclo de vida da eficiência do uso da biomassa e redução de emissões de GEE por hectare para etanol de cana-de-açúcar e milho. (c) Subfigura de B com respectivos intervalos de confiança. (d) Comparação da produção de energia e redução de emissão de GEE.

Fonte: (CHUM et al., 2014, p. 212)

- (C1): milho - média – 2000
- (C2): milho - média – 2005
- (C3): milho - Benchmark (18 usinas) – 2009 + produção de eletricidade de 0.25 MWh/m³
- (C4): milho - média – 2010
- (C5): milho - média – 2015 Projetado.
- (C6): milho – Gás Natural CHP (Combined Heat e Power), 0.24 MWh/ m³
- (C7): milho - Gás Natural CHP, 0.16 MWh/m³ com CCS (captura e armazenamento de carbono)
- (C8): milho – Palha de milho CHP, 0.19 MWh/m³;
- (C9): milho - Palha de milho CHP, 0.8 MWh/m³
- (C10): milho - Palha de milho BIGCC (Biomassa integrada com gaseificação em ciclo combinado), 1.5 MWh/m³
- (C11): milho - Palha de milho CHP com CCS, 0.72 MWh/m³
- (S1): Cana-de-açúcar - Benchmark (20 usinas) – 2002;
- (S2): Cana-de-açúcar - Benchmark (44 usinas) – 2005/2006, 0.11 MWh/m³
- (S3): Cana-de-açúcar - Benchmark (168 usinas) – 2008/2009, 0.13 MWh/m³
- (S4): Cana-de-açúcar - Benchmark (168 usinas) – 2008/09, 1.0 MWh/m³HPB (boiler de alta pressão)
- (S5): Cana-de-açúcar - 2020, 1.5 MWh/m³
- (S6): Cana-de-açúcar - 2020, 0.65 MWh/m³ com CCS.

pesquisando diversas soluções alternativas fornece um grande conjunto de conhecimentos a serem utilizados. Várias tecnologias já se mostraram factíveis em escala de demonstração ou em escala industrial. Há, atualmente, um esforço concentrado em reduzir os custos de produção para tornar as tecnologias competitivas.

Nos EUA há intensa criação de conhecimento para produção de bioenergia. No modelo sistêmico de inovação, se destaca o fato da inovação ocorrer imersa num conjunto de fatores que teoricamente são externos ao campo de estudo específico. Este fato pode ser observado na geração de conhecimento para produção de bioenergia. Atualmente, uma parte significativa dos processos de conversão utilizam rotas biológicas. Nas entrevistas, foi relatado que boa parte das equipes que iniciaram pesquisas com organismos geneticamente modificados, enzimas etc., eram inicialmente focadas em pesquisas para a área de saúde. Um dos entrevistados considera que a grande quantidade de recursos que foram investidos nos EUA para mapear o genoma humano criou uma grande massa crítica de pesquisadores. Quando se completou o mapeamento, havia uma grande quantidade de pesquisadores nas áreas biológicas e uma redução significativa de investimentos de P&D neste segmento. O DoE identificou tal cenário e passou a investir em P&D de base biológica para produção de bioenergia, aproveitando a mão-de-obra qualificada disponível. É interessante observar que parte significativa das novas empresas para produção de bioenergia e bioquímicos são da Califórnia, região com reconhecida capacidade em biotecnologia. Nas entrevistas se identificou que, além da alta disponibilidade de pesquisadores capacitados, há na região um intenso cluster de empresas de *venture capital* formadas no Vale do Silício e que tem atuado no ramo de biotecnologia.

6.2.2.2 Função de Inovação de Criação de Conhecimento – Matéria-Prima

Quanto à criação de conhecimento, conforme analisado anteriormente, o Brasil tem se concentrado nas tecnologias agrícolas relativas à cana-de-açúcar. Contudo, o desenvolvimento atual tem ofertado ganhos de produtividade inferiores ao aumento dos custos de produção e muito inferior ao ganho do milho, conforme visto na Figura 15. As pesquisas com transgenia para cana-de-açúcar se iniciaram com mais intensidade há pouco tempo e ainda não se pode avaliar como esta irá evoluir, sendo provável que a inclusão da transgenia como foco do PAISS Agrícola deva acelerar esse processo.

Em relação às matérias-primas alternativas à cana-de-açúcar, verifica-se que a busca pela cana energia é aquela com maior componente de conhecimento desenvolvido no Brasil,

com algumas empresas envolvidas no processo. O sorgo, outra matéria-prima que por ser complementar à cana-de-açúcar tem recebido maior atenção, tem a maior parte das novas variedades e tecnologias de cultivos desenvolvidas por empresas estadunidenses.

Nos EUA, existem inúmeras críticas ao uso do milho como matéria-prima, contudo não foi encontrada, ainda, uma cultura “vencedora” como a cana-de-açúcar no Brasil. Existem pesquisas intensas para avaliar as matérias-primas adequadas. Os esforços têm sido direcionados para que haja uma variedade de matérias-primas que tenham as melhores características para cada região do país. Busca-se ainda encontrar matérias-primas que não sejam fontes de alimento e que possam ser cultivadas em áreas marginais.

Quanto ao maquinário agrícola, as duas maiores fabricantes mundiais, a AGCO e a John Deere, são empresas estadunidenses e a terceira maior a CNH é uma multinacional ítalo-americana (JÚNIOR et al., 2010). Nos EUA há intenso investimento para aumento da produtividade agrícola, com grande utilização de maquinário. As pesquisas neste segmento são intensas, concentrando-se no caso da bioenergia, na coleta e transporte da biomassa que anteriormente era resíduo.

Nos Estados Unidos verifica-se uma grande preocupação com a redução dos custos logísticos de transporte da biomassa. Como essa matéria-prima tem uma densidade energética relativamente baixa e necessita da movimentação de grandes volumes, o custo da logística passa a ser uma das maiores preocupações. Existem várias pesquisas empresariais e custeadas com recursos públicos para desenvolver metodologias unificadas de logística que envolvam o transporte multimodal e que permitam “desconectar” as usinas produtoras das fornecedoras de matéria-prima, permitindo ganhos de escala na produção. Como não há uma biomassa claramente definida, essas pesquisas têm uma correlação importante.

No Brasil, historicamente, as usinas desenvolveram a logística para o transporte da cana queimada, sem folhas, otimizando o sistema. Atualmente, as pesquisas na área logística têm se concentrado em avaliar o melhor custo-benefício para o transporte da palha da cana. São poucas pesquisas para logística de matérias-primas diferentes, tendo em vista que boa parte das empresas têm apostado na produção consorciada do etanol de primeira e de segunda geração.

6.3 Função de Inovação de Difusão do Conhecimento

Tanto no Brasil quanto nos EUA, as tecnologias de produção de etanol de primeira geração são de amplo conhecimento e a difusão ocorre adequadamente. No entanto, em

ambos os países nas fases de expansão mais acelerada, os entrevistados reportaram que ocorreu certo lapso temporário na difusão do conhecimento. A contratação de um grande número de pessoas num curto espaço de tempo dificulta a difusão do conhecimento e temporariamente afeta a produtividade.

Em relação às novas tecnologias para produção de biocombustíveis de segunda geração, no Brasil se reporta que há pouco conhecimento disponível e, portanto, a difusão destes conhecimentos ocorrem mais lentamente.

Nos EUA, conforme analisado na seção anterior, verifica-se que a biotecnologia empregada para uso na produção de energia é um *spillover* da biotecnologia relacionada à saúde. Os próprios órgãos federais possuem ações específicas para disseminação do conhecimento e há um calendário extenso de eventos, congressos e seminários sobre o tema. Também foi avaliado anteriormente que a quantidade de publicações científicas dos Estados Unidos no tema é a maior mundialmente e vem crescendo de forma acelerada.

Cabe ressaltar que, se os avanços relacionados à ciência básica têm sido largamente difundidos, com uso de diversos instrumentos, no que tange à ciência aplicada para produção em larga escala, a situação é diferente. Como a tecnologia para produção de biocombustível celulósico ainda não está definida, com várias rotas tecnológicas competindo entre si, as empresas pouco divulgam sobre os detalhes de suas tecnologias. Geralmente as informações divulgadas são as mínimas necessárias para o entendimento básico do processo utilizado. No caso de informações para investidores, são utilizados acordos de não divulgação e há muito sigilo envolvido.

6.4 Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa

6.4.1 Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa - Processo de conversão industrial

No Brasil, desde a extinção do Proálcool na década de 1990, as pesquisas para conversão industrial do etanol foram praticamente extintas no setor público. Nas empresas de bens de capital, a pesquisa se focou principalmente no aumento da escala de produção. Contudo, houve pouco investimento público, tanto na primeira quanto na segunda geração, com pouco direcionamento relativo a rotas tecnológicas. A criação da Embrapa Agroenergia e do CTBE trazem implícitos certo grau de direcionamento de pesquisa. O PAISS passa a exercer esse direcionamento para biotecnologia e gaseificação a partir de 2012, mas atuando principalmente nas etapas mais finais de geração de conhecimento, que é a pesquisa aplicada.

Na ciência básica, os recursos dos Fundos Setoriais têm pouco ou nenhum direcionamento, com projetos de pequeno porte e sem grandes perspectivas de tecnologias disruptivas.

Nos Estados Unidos, a pressão ambiental levou a massivos investimentos para produção de etanol celulósico, com poucos recursos públicos para evolução do etanol de amido de milho. A rota biotecnológica é aquela que recebe a maior parte dos investimentos e da qual se espera maior evolução no curto e médio prazo. Também são realizados investimentos em rotas de gaseificação, principalmente quando se trata de tratamento de resíduos sólidos, como o lixo urbano.

6.4.2 Função de Inovação de Direcionamento da Pesquisa – Matéria-Prima

No Brasil, há um claro direcionamento para pesquisas com a cana-de-açúcar, que já possui um ambiente estruturado de pesquisa e difusão. Considerada uma excelente matéria-prima e com uma dinâmica inovativa já bem estabelecida no país, as pesquisas continuam a ser nesta matéria-prima. Contudo, algumas das desvantagens da cana-de-açúcar, como a impossibilidade de armazenamento e uma longa entressafra têm levado a pesquisas de matérias-primas complementares. No PAISS Agrícola é verificado este foco, bem como nas atividades empresariais recentes.

O milho é visto como uma opção para uso na entressafra da cana em algumas regiões, assim como o sorgo sacarino. O mais relevante no Brasil passa a ser a integração de culturas que complementem a cana-de-açúcar. No que tange às matérias-primas para o etanol celulósico, a cana-de-açúcar continua a ser vista como a principal opção, mas outras alternativas como a cana energia e variedades de capim de alta produtividade também são estudadas.

Nos Estados Unidos, como ainda não houve uma definição de qual a melhor matéria-prima, há uma quantidade maior de opções sendo investigadas. Como no início do processo de desenvolvimento tecnológico, as incertezas ainda são muito grandes, o país tem adotado a postura de desenvolver várias opções, como é sugerido pelos estudos em inovação. Há grande interesse pelo desenvolvimento de matérias-primas não alimentícias, ainda que existam grupos defendendo que a consorciação da produção de alimentos e energia é benéfica para os dois setores. Representante da Monsanto entrevistada afirma que há um mercado crescente por proteína no mundo e que são tecnologias que permitam a produção conjunta de alimentos e energia que serão melhor aceitas pelo mercado. No caso do milho, verifica-se que um grande componente da sustentabilidade econômica da produção de etanol, foi o

desenvolvimento do DDG (Dried Distillers Grains) que é utilizado na ração, enquanto o amido é utilizado para produção do etanol. A empresa argumenta que as variações nos mercados de energia e alimentos seriam atenuadas com os dois segmentos atuando em paralelo.

6.5 Função de Inovação de Formação de Mercado

6.5.1 Indicador - Consumo de Gasolina e Etanol

Nos Estados Unidos, em 2013, o consumo de gasolina foi mais de 14 vezes superior ao consumo no Brasil, conforme pode ser visto na Figura 44. Contudo, diferente do Brasil, onde o consumo vem crescendo de forma acelerada, nos EUA o consumo tem se reduzido. As principais causas para esta redução de consumo são: melhoria na eficiência veicular causadas pelas exigências da regulação - CAFE; e a redução das distâncias percorridas pelos veículos leves (U. S. EIA, 2014). No Annual Energy Outlook 2014, EIA (2014) prevê que o consumo de gasolina nos EUA siga diminuindo devido à incorporação de ganhos de eficiência superiores à previsão no aumento da distância percorrida pelos veículos leves. A demanda de etanol para mistura na gasolina (E10 e E15) deverá cair de 8.7 MMbbl/d em 2012 para 7.9 MMbbl/d em 2022 (U. S. EIA, 2014). Já no Brasil, o aumento do consumo de combustível tem sido ocasionado principalmente pelo aumento da renda, com o conseqüente aumento na frota automotiva. O PDE 2022 (BRASIL, 2013b) estima que a frota de veículos no Brasil irá crescer de 38 milhões de unidades em 2013 para 63 milhões de unidades em 2022. Com esse cenário, o PDE 2022 estima que o consumo de gasolina no Brasil deverá crescer 3,1% (a.a) e o de etanol 9,3% (a.a) entre 2013 e 2022. Contudo, é relevante destacar que pela quase ausência de investimentos no setor e a já alta utilização da capacidade instalada, parece pouco provável que tal crescimento na produção de etanol ocorra com as condições atuais do SPIS.

Apesar da produção de etanol nos EUA ter crescido muito rapidamente, a participação (%) do biocombustível no uso em veículos de ciclo Otto ainda é significativamente inferior à brasileira - Figura 45. Nos Estados Unidos, o uso livre do etanol (E85) ainda é muito baixo, em comparação ao consumo de combustível do país, representando apenas 0,88% do consumo de etanol no país (U. S. EIA, 2014). No Brasil, o uso do E100 representa 53% do etanol consumido no país.

As principais motivações para o baixo uso do E85 nos EUA são relacionadas com o preço usualmente superior ao da gasolina, a pequena quantidade de postos de combustível vendendo o E85 e uma quantidade relativamente reduzida de veículos *flex fuel*. Ao final de

2013 havia apenas 2.639 postos de combustíveis vendendo E85 nos EUA, de um total de 121.446 postos de combustível existentes (U. S. CENSUS BUREAU, 2014), representando 2,17% do total. O crescimento de postos vendendo E85 foi acelerado a partir de 2002, mas apresentou uma redução na taxa de crescimento em 2013.

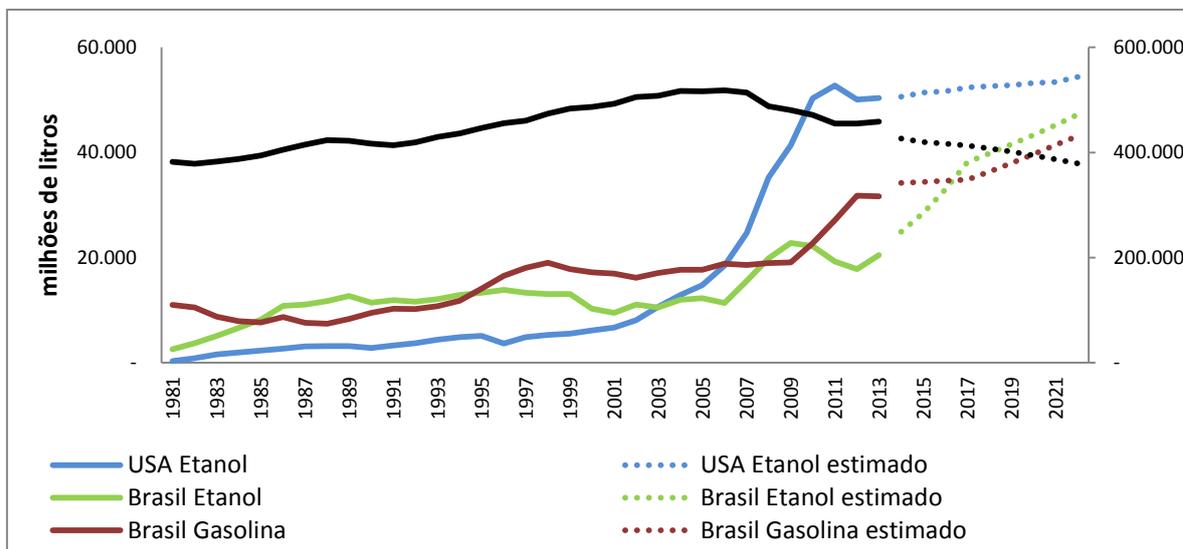


Figura 44 - Consumo de Etanol e Gasolina nos EUA e Brasil

Fonte: (U. S. EIA, 2014; U.S. EIA, 2014a) e (BRASIL, 2013c, 2014i, 2014q)

No Brasil, todos os 39.450 (BRASIL, 2013d) postos de combustíveis vendem o E100. Nos EUA, o estoque de veículos ao final de 2013 era de 122,2 milhões de unidades movidos à gasolina e 2,91 milhões de unidades de veículos *flex fuel* (U. S. EIA, 2014), que representavam 2,3% da frota total. No Brasil, o estoque de veículos ao final de 2013 era de 11,76 milhões de unidades movidos à gasolina e 20,77 milhões de unidades de veículos *flex fuel* (ANFAVEA, 2014), que representavam 61,9% da frota total.

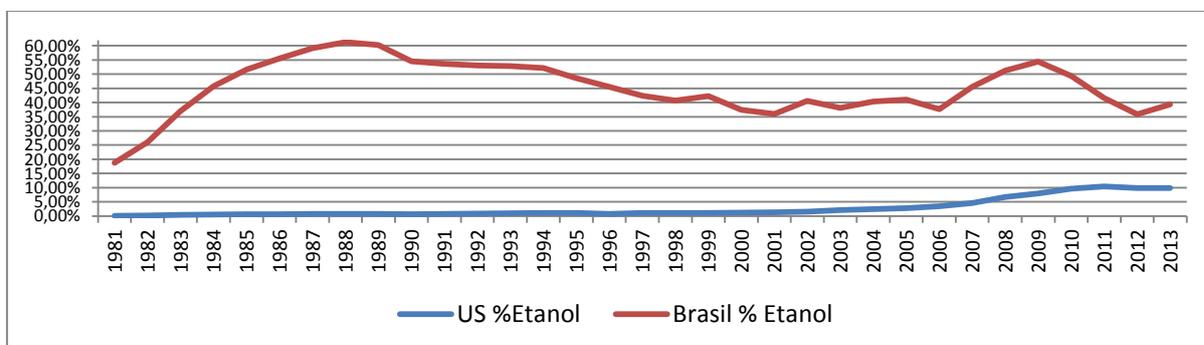


Figura 45 - Percentual de Etanol utilizado nos EUA e Brasil (em volume) na frota de veículos do ciclo Otto

Fonte: (U.S. EIA, 2014a) e (BRASIL, 2013c, 2014i, 2014q), elaboração própria

6.5.1.1 Localização Geográfica

Conforme apresentado na seção 4.4, no Brasil, os estados produtores possuem políticas específicas de apoio ao etanol. Nos EUA, EIA (2013) reporta que nos estados do Meio Oeste (Iowa, Illinois, Indiana, Kentucky, Michigan, Minnesota e Ohio) o preço do E85 tem apresentado uma relação de preço competitiva em relação à gasolina - Figura 46. Estes estados apresentam a maior parte dos postos de combustível vendendo E85, bem como a maior parte da venda.

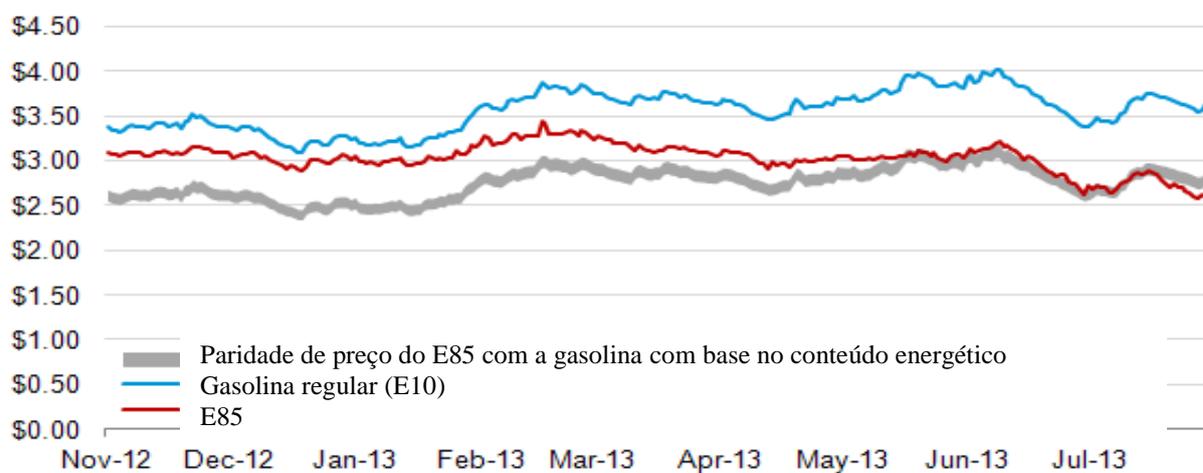


Figura 46 - Paridade de Preços entre gasolina e E85 nos estados do Meio-Oeste

Fonte: (U. S. EIA, 2013)

De maneira similar ao que ocorre no Brasil, nos EUA, benefícios nas legislações estaduais, associados com a proximidade da produção e conseqüentemente menores custos de frete, levam os estados produtores a terem um consumo médio de etanol superior ao restante do país.

6.5.2 Avaliação da FSI

Quando se trata do mercado total para o etanol, esta é a função na qual o Brasil mais conseguiu evoluir. Durante o Proálcool foi criada uma rede de distribuição e revenda em todo o país, que permite a venda do etanol hidratado com facilidade desde que este seja competitivo em termos de preço para o consumidor final. Os benefícios inicialmente para o carro a etanol e posteriormente para o carro *flex fuel* também resultaram em um grande mercado potencial para o etanol. Verifica-se que havendo uma condição de preço competitiva para o etanol hidratado, há uma expansão rápida do consumo. Além disso, o percentual de mistura de etanol na gasolina, atualmente em 25% é muito mais alto que o praticado em

outros países. Esse desenvolvimento histórico tem sido o principal trunfo para evolução do etanol no Brasil. Contudo, o atual controle de preços da gasolina, com a prática de vender o combustível a preços abaixo do preço internacional tem restringido seriamente a competitividade do etanol hidratado, que tem sido competitivo somente nos Estados produtores que tenham políticas tributárias de apoio ao setor.

No que tange ao mercado automotivo, não existem atualmente esforços governamentais para melhorar a eficiência do etanol nos carros *flex fuel*. Esse fato é apontado por alguns entrevistados como uma perda de oportunidade de reforçar a competitividade do biocombustível, tendo em vista a grande base instalada da indústria automotiva no país e os diversos incentivos ofertados pelo Inovar Auto. Diversos especialistas indicam que o etanol possui características que são altamente desejáveis para o movimento de *downsizing* dos motores e aumento da sua eficiência global.

Quanto à evolução para o etanol celulósico, esta tem sido a função mais ausente no Brasil. Não há mercado cativo para o etanol celulósico no Brasil a não ser que o mesmo possua custos competitivos com o etanol de primeira geração, fato difícil quando se trata de uma nova tecnologia competindo com outra já estabelecida. Apesar da lei já caracterizar o etanol de uma maneira que permita a sua diferenciação, não há regulamentação da ANP a respeito. Conforme discutido anteriormente, devido à regulamentação estreita dos mercados de energia, a criação de demanda é ainda mais importante que em outros segmentos para a ocorrência da inovação. Se para o etanol de primeira geração, essa é a função melhor desenvolvida no Brasil, para o etanol celulósico esta função está totalmente ausente. Corre-se o risco de haver um *lock-in* tecnológico pela ausência de políticas públicas adequadas.

Nos Estados Unidos, a função de inovação de criação de mercado é aquela que tem enfrentado maiores problemas. Desde o início da política para uso do etanol, são identificados diversas *advocacy coalition* atuando contra a expansão do uso do biocombustível.

A indústria de alimentos processados representa outra *advocacy coalition* que tem se posicionado contrária ao uso do etanol de amido de milho. Alegando que o aumento do preço do milho e de outros grãos é de plena responsabilidade do uso do milho para produção de etanol em larga escala, as empresas do setor têm constantemente reclamado do aumento de seus custos de produção. Em grande parte esta é a *advocacy coalition* que fomenta o debate *FOOD X FUEL*. Na seção 5.6 também foram apresentados problemas para formação de mercado relacionados com a atuação da indústria do petróleo e automotiva.

Apesar dos EUA apresentarem dificuldades quanto à Função de Inovação de Formação de Mercado de uma maneira geral, para os biocombustíveis avançados e

celulósicos, existe outra perspectiva. O RFS e em seguida o RFS2 estabeleceram uma demanda obrigatória para estas categorias de biocombustíveis, que é reportada por todos os entrevistados como o elemento mais forte para busca pela inovação. As empresas consideram que há um mercado garantido, desde que consigam resolver as questões técnicas próprias de suas rotas tecnológicas. Tanto as empresas produtoras de biocombustíveis, quanto às desenvolvedoras de biotecnologia e as desenvolvedoras de equipamento consideram este o elemento mais relevante.

Mas, ainda que o RFS2 estabeleça metas claras para o uso das diferentes categorias de biocombustíveis, as metas, principalmente para biocombustíveis avançados e celulósicos, vêm sendo reduzidas seguidamente pela EPA por diversas razões. Mesmo que hajam substanciais desafios técnicos a serem superados, diversos fatores de mercado e políticos têm afetado a decisão. Observa-se também que nem sempre as políticas setoriais possuem um alinhamento integral. A extinção dos benefícios para produção de carros *flex fuel* associada à redução no consumo de gasolina nos EUA impõem uma enorme dificuldade adicional para o aumento do consumo de etanol e para atendimento à RFS2. As empresas produtoras de bioenergia, fabricantes de equipamentos e desenvolvedores de tecnologia têm reiteradamente criticado a EPA pelas constantes reduções nas metas de etanol 2G e pela demora nas definições sobre as metas anuais.

6.6 Função de Inovação de Mobilização de Recursos

6.6.1 Indicador - Gastos em PD&I

Segundo dados do escritório de estatísticas da ONU (ONU, 2014), o gasto em PD&I dos EUA foi 16 vezes superior ao brasileiro em 2010 (PPP - 2000) - Figura 47. No que tange às pesquisas com biocombustíveis, entre 2003 e 2006, os investimentos dos EUA se situaram em torno de 2,3 a 3 vezes superior aos investimentos brasileiros - Figura 48. A partir de 2007 há um aumento significativo dos investimentos estadunidenses e redução dos investimentos brasileiros reportados pelo FNDCT.

É relevante destacar que os investimentos do PAISS não estão contabilizados pelo FNDCT, dentre os investimentos do PAISS constam empréstimos do BNDES, participação acionária etc. Nos dados dos EUA também não constam os investimentos em capital. Conforme observado anteriormente, o grande aumento de investimentos de 2009 foi ocasionado pelo *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

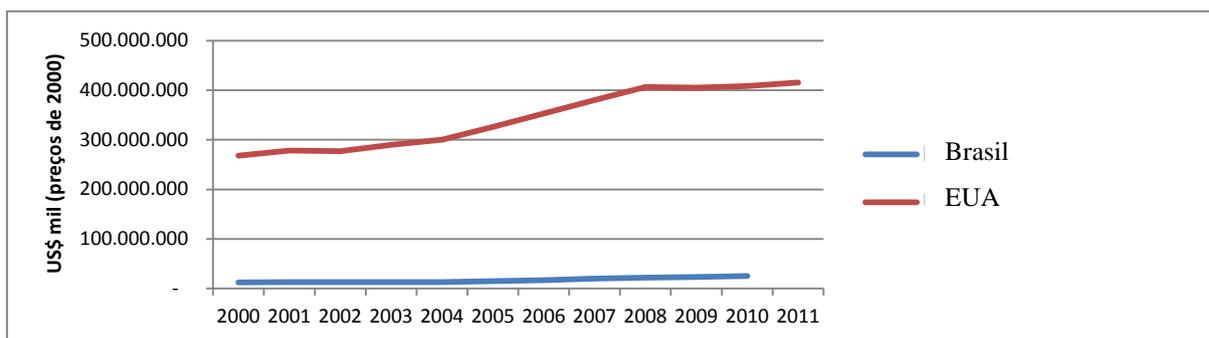


Figura 47 – Despesa interna bruta em P&D

Fonte: (ONU, 2014), elaboração própria

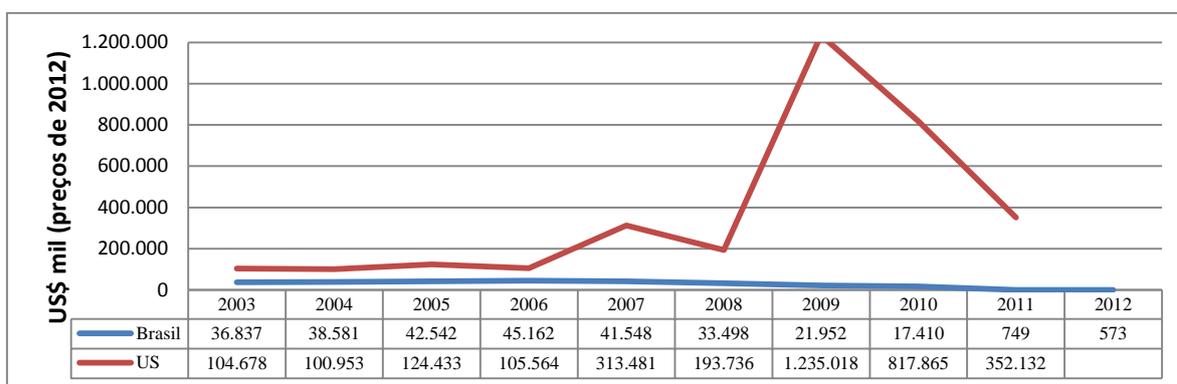


Figura 48 - Gastos em PD&I para Biocombustíveis

Fonte: US - (IEA, 2014); Brasil - (BRASIL, 2014n), ajustes para preços de 2012 realizados pelo autor, com dados do Banco Central. Elaboração própria

6.6.2 Avaliação da FSI

No Brasil, à época do Proálcool, houve intensa mobilização de recursos para viabilização do etanol, de forma concatenada, resultando no sucesso da política. A extinção do Proálcool e de algumas instituições federais de pesquisa resultaram em grande desmobilização de recursos federais para o SS. A extinção do Ministério do Desenvolvimento da Indústria e do Comércio em abril de 1990, com o conseqüente fechamento da Secretaria de Tecnologia Industrial, que conduzia diversas atividades de desenvolvimento tecnológico ligadas ao Proálcool também foi um marco na redução de alocação de recursos para o desenvolvimento tecnológico. A década de 1990 também se caracterizou por um corte generalizado nos recursos para P&D no Brasil, que voltaram a crescer paulatinamente com a implantação dos Fundos Setoriais. Contudo, somente a partir de 2003 é que se retomam parte dos investimentos federais em P&D para o setor, mesmo assim ainda de forma reduzida e sem muito foco.

Quanto à mobilização de pessoal, verifica-se que há um número reduzido de servidores públicos federais ligados ao tema e também falta de coordenação entre as atividades ligadas à inovação. A criação do CTBE e da Embrapa Agroenergia são pontos positivos na função de mobilização de recursos, que podem potencialmente auxiliar no desenvolvimento do setor. Quanto ao etanol celulósico há pouca ou nenhuma discussão a nível federal sobre o tema, que tem ficado restrito aos órgãos de pesquisa e mais recentemente obteve apoio dos órgãos de fomento à inovação, com o lançamento do PAISS e do PAISS Agrícola pelo BNDES e Finep. No âmbito regulatório, não se verificam ações relevantes para incentivo ou até mesmo reconhecimento do etanol celulósico.

Nos Estados Unidos, no período inicial, a política de apoio ao etanol obteve uma mobilização de recursos, que rapidamente foi desfeita em função da queda de preços do petróleo e da intensa oposição de várias *advocacy coalitions* no país. Numa retomada recente de interesse pelo setor, se observa uma mobilização intensa de recursos, tanto de pessoal, quanto financeiros, para alavancar o uso dos biocombustíveis. O baixo rendimento energético e ambiental do etanol de amido de milho, associado às diversas *advocacy coalitions* contrárias levou ao direcionamento para os biocombustíveis avançados e celulósicos. Essa opção tem o potencial de responder às críticas mais contundentes ao etanol de amido de milho, permitindo remover a oposição ao uso dos biocombustíveis de forma mais ampla.

Além disso, uma conjunção de fatores de desenvolvimento tecnológico levou ao desenvolvimento da biotecnologia de forma mais acelerada em período recente, resultando no casamento de interesse do desenvolvimento da bioenergia com a biotecnologia industrial. Como a biotecnologia é vista como uma indústria de grande perspectiva futura, na qual os EUA pretendem ter um papel de liderança, a conjunção de fatores reforçou a escolha pelos biocombustíveis avançados e celulósicos. A mobilização de recursos para desenvolvimento da biotecnologia que já ocorria em paralelo à mobilização de recursos para desenvolvimento da bioenergia gerou um movimento de auto-reforço entre as duas políticas.

6.7 Função de Inovação de Criação de Legitimidade

A função de criação de legitimidade foi também uma função que teve bom desenvolvimento no Brasil. Durante a implantação do etanol como combustível veicular no país, os pontos positivos do biocombustível como a sua renovabilidade e redução de impactos ambientais foram bastante divulgados. Os benefícios dados às montadoras de automóveis também foram suficientes para reduzir os óbices das empresas para os pontos negativos do

etanol, como a maior corrosividade. No setor de distribuição e revenda, a Petrobras também teve um papel fundamental, vendo o etanol como um aliado no seu esforço para atender às demandas energéticas do país. Em suma, houve relativamente pouca contestação ao etanol no Brasil. Tal fato criou mais um reforço para manutenção do *status quo* do mercado de etanol, havendo apenas a preocupação deste ser competitivo com a gasolina em termos de preço.

Esta legitimidade do etanol criou uma situação que reforça a não busca por alternativas. Há pouca discussão sobre o etanol celulósico no Brasil, contudo, não se vislumbra qualquer oposição ao mesmo, já que este aumentaria os benefícios do etanol de primeira geração que já possui ampla aceitação.

Nos EUA, esta também é uma função pouco desenvolvida. Com diversos grupos opositores divulgando informações contrárias aos biocombustíveis, há na população em geral uma mistura de desconhecimento, com informações desencontradas. A EIA reporta que ainda que haja veículos *flex fuel* disponíveis no mercado, uma grande parte dos motoristas, nem mesmo tem conhecimento sobre a possibilidade de seu veículo usar E85. Informações sobre potenciais problemas do motor com uso de etanol, também levam alguns consumidores a pensarem que o biocombustível seria prejudicial ao veículo. RFA (2014) reporta que algumas empresas de petróleo têm requisitado que os postos de combustíveis coloquem avisos que intimidam os consumidores - Figura 49.



Figura 49 - Anúncio intimidador em bomba de E85 da BP

Fonte: (RFA, 2014b, p. 8)

Esta baixa legitimidade do etanol de amido de milho reforça a busca por alternativas como os combustíveis avançados e celulósicos. Contudo, ainda assim, se verifica uma enorme dificuldade para se avançar além do chamado “blend wall”. Outro fator que deve dificultar o

aumento do uso de etanol nos EUA é a redução do consumo de gasolina. Antes, o etanol vinha sendo adicionado no mercado de expansão, reduzindo a necessidade adicional de gasolina, mas não diminuindo o seu consumo. Atualmente, para se colocar mais etanol no mercado, há a necessidade de reduzir o consumo de gasolina no país, reforçando a disposição das empresas afetadas por manter sua posição de mercado. Além disso, com os problemas de avançar além dos 10% de mistura na gasolina, existe a possibilidade dos biocombustíveis avançados e celulósicos terem de disputar mercado com o etanol de amido de milho. Neste caso, mesmo internamente ao setor de etanol, deverá haver oposição aos novos biocombustíveis.

6.8 Comparação Geral das Funções de Inovação no Brasil e EUA

Na Tabela 17 - Comparação das Funções de Inovação no Brasil e nos EUA é apresentada uma comparação entre as funções de inovação no Brasil e nos EUA. No Brasil, a função que atualmente apresenta o pior desempenho é a função de criação de conhecimento. A função de formação de mercado é aquela com melhor desempenho e que tem “puxado” o desenvolvimento do SPIS, ainda que esta função tenha sido fortemente afetada no período entre 2008 e 2014. Já nos EUA, a função de criação de legitimidade é a função com característica mais negativa e que tem afetado negativamente a função de criação de mercado. Destaca-se positivamente a função de criação de conhecimento. Verifica-se ainda que existem inúmeras ações relacionadas com a criação de conhecimento para melhorar a legitimidade. O próprio desenvolvimento do etanol 2G pode ser incluído como uma ação que responde ao debate comida X combustível.

Outra diferença bastante relevante entre os dois países é a coordenação das políticas. Nos EUA é identificada uma forte coordenação das ações, principalmente casando a geração de demanda com o investimento em tecnologia. Foram criados instrumentos de coordenação em alto nível hierárquico. No Brasil a falta de coordenação das políticas é bastante evidente, não havendo esforços relevantes de conexão entre o desenvolvimento de novas tecnologias e a geração de demanda. O Conselhos que teriam como atribuição coordenar as ações governamentais do SPIS são pouco efetivos.

| Funções dos Sistema de Inovação | | |
|----------------------------------|--|---|
| | Brasil | USA |
| Atividades Empreendedoras | E1G – Quando o preço é remunerador há resposta empresarial – Mercado potencial enorme E2G – (PAISS + preço prêmio nos EUA) estimularam alguns negócios BK para E2G: quase que somente negócios conectados aos projetos do PAISS (praticamente sem <i>venture capital</i>) | E1G – Quando o preço é remunerador há resposta empresarial – Barreira do "Blend Wall" E2G – (Mandato do RFS2 + preço prêmio + DOE e USDA Grants) estimularam diversos negócios BK to E2G: intensa criação de <i>startups</i> principalmente conectadas com a área de biotecnologia (<i>venture capital</i> tem um papel relevante) |
| Desenvolvimento de Conhecimentos | E1G – desenvolvimento tecnológico crescendo menos que o preço dos outros fatores de produção E2G – principalmente tecnologia importada Baixo desenvolvimento da biotecnologia | E1G – desenvolvimento tecnológico crescendo E2G – Alto desenvolvimento Alto desenvolvimento da biotecnologia |
| Difusão do Conhecimento | E1G – altas taxas de crescimento entre 2003 e 2009 criaram problemas | Um grande conjunto de eventos e recursos para disseminar a tecnologia |
| Direcionamento da Pesquisa | P&D básico focado no E1G O PAISS estimulou o E2G | Foco governamental no E2G Muito P&D privado para melhorar o rendimento do etanol de milho |
| Formação de Mercado | Venda de veículos Flex-Fuel crescendo rapidamente Todos postos de combustível têm bombas para bender etanol hidratado Consumo dos veículos leves crescendo rapidamente Controle de preço da gasolina NÃO há mercado específico para E2G | Poucos veículos Flex-fuel Poucos postos de combustível vendendo E85 Consumo dos veículos leves decrescendo Mandato para o E2G Reduções contínuas do mandato E2G |
| Mobilização de Recursos | Do lado governamental a equipe trabalhando com o tema é reduzida Menos recursos que as energia tradicionais PAISS PAISS Agrícola | Enorme mobilização de recursos pessoais e financeiros |
| Criação de Legitimidade | Praticamente sem oposição | Enorme oposição das grandes empresas de petróleo Oposição das montadoras de carros Debate Food X Fuel Debate sobre a redução de GEE |

Tabela 17 - Comparação das Funções de Inovação no Brasil e nos EUA

Fonte: elaboração própria

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Brasil, verifica-se, num contexto histórico, que o SPIS para o etanol de 1ª geração tem as funções de inovação bem desenvolvidas e um funcionamento adequado. A crise desde 2008/2009, tanto para o etanol quanto para energia a partir do bagaço de cana, é advinda de problemas macroeconômicos relacionados com o controle da inflação, que tem afetado severamente a Função de Inovação de Formação de Mercado, associada à um aumento significativo dos custos de produção. Já para o etanol celulósico, a Função de Inovação de Formação de Mercado é totalmente ausente, e a função de geração de conhecimento também apresenta um desenvolvimento extremamente baixo.

Pesquisadores que vêm estudando a inovação no setor de energia (HEKKERT; NEGRO, 2009; NEGRO; ALKEMADE; HEKKERT, 2012; NEGRO; HEKKERT; SMITS, 2008; NEGRO, 2007; WEISS; BONVILLIAN, 2009) têm constantemente ressaltado que mais do que em outros setores, a formação de mercado é essencial para geração da inovação no setor de energia e, portanto, o governo teria papel fundamental. Nas entrevistas, tanto nos EUA, quanto no Brasil, tal fato foi reiteradamente ressaltado, basicamente se concentrando em seis argumentos:

a) Grande parte dos equipamentos para produção de energia tem um valor elevado e uma vida útil longa, de até 30 anos em alguns casos. Isso faz com que ao se optar por uma determinada tecnologia, você tenha que utilizá-la por um prazo longo. Em geral há pouca flexibilidade. São possíveis ajustes incrementais, mas nada que altere significativamente o processo.

b) A planta de demonstração e a primeira unidade industrial para uma determinada tecnologia ou para um conjunto de tecnologias têm custo muito elevado. As plantas de etanol celulósico em construção no Brasil são orçadas em centenas de milhões de reais. Ou seja, para efetivamente se comprovar a tecnologia na etapa industrial o custo é muito alto.

c) O produto a ser vendido não possui diferenciação, o etanol ou a energia elétrica devem seguir os padrões técnicos estipulados pelos órgãos regulamentadores. Isso faz com que não seja possível buscar o prêmio pago por um produto melhor, direcionando a busca para tecnologia mais barata e que atenda aos padrões técnicos vigentes. Esse fato reduz enormemente a busca por tecnologias disruptivas. Associado com o alto custo dos primeiros testes industriais e com o fato dos equipamentos durarem décadas, algumas tecnologias podem ter atraso de dezenas de anos para terem acesso ao mercado.

d) No que tange ao desenvolvimento de novos equipamentos e tecnologias, processo de alta incerteza, a existência de mercado cativo funciona como um redutor dos riscos. O desenvolvedor precisa se preocupar em desenvolver seu produto ou conhecimento, contando com o mercado existente. Elimina-se assim o risco associado a criar ou encontrar um mercado para o produto/tecnologia. Nos EUA, a RFS2 foi reiteradamente citada como a motivação para as empresas de biotecnologia e de equipamentos investirem em desenvolvimentos tecnológicos para o etanol celulósico e atualmente as reiteradas diminuições no mandato são citadas como motivação para a redução dos investimentos.

e) A regulação necessita ser ágil para possibilitar testes e consumo inicial. Nassar e Moreira (2014) relatam que durante a Copa do Mundo de 2014 eram previstos 200 voos utilizando bioquerosene de aviação partindo do Rio de Janeiro, mas, o biocombustível teve que ser importado porque a regulamentação brasileira não estava pronta à época. Os autores destacam que há capacidade de produção do bioquerosene no país. Além disso, relatam que, por não haver uma regra tributária para o caso, o bioquerosene cairia na regra geral e teria uma tributação superior à do querosene de aviação derivado de petróleo. Nos EUA há uma reclamação generalizada das empresas de desenvolvimento de tecnologia quanto à demora da EPA para aprovar os *pathways* para novos biocombustíveis que possibilitassem o recebimento de RINs. Este fato tem atrasado os projetos, em diversos casos, em mais de dois anos.

f) Problema do “efeito de rede”. Um combustível tem o seu mercado determinado pelos veículos que possam utilizá-lo e pela rede de distribuição implantada. Cria-se aqui o problema do “ovo e da galinha”: não existem veículos a etanol, porque não tem postos de combustível; não tem postos de combustível, porque poucos clientes compram etanol; não se fabrica etanol, porque não existem postos e nem carros para consumir. Na implantação de qualquer padrão ou conjunto de padrões esse problema ocorre. A solução que vencer o momento inicial passa a se auto-reforçar, tornando-se cada vez mais difícil de ser substituída. Após um momento inicial no desenvolvimento dos veículos, no qual havia várias soluções para diversos combustíveis, os derivados de petróleo venceram a disputa. No ramo automotivo, o diesel e a gasolina passaram a ser o padrão. Os carros passaram a ser desenvolvidos para estes combustíveis. Criou-se uma rede de venda no varejo, normas internacionais de qualidade, sistemas de distribuição internacional, tributação adequada, sistemas de financiamento, legislação etc. Para suplantare este paradigma, é necessário um conjunto de ações bem concatenadas. A dificuldade para suplantare o *blend wall* nos EUA demonstra bem esta questão. O único país no mundo que conseguiu superar esta barreira em larga escala foi o Brasil.

O papel dos órgãos reguladores e de planejamento energético é essencial para geração de inovação no SS e não se identifica que estes órgãos tenham como prioridade esta faceta do setor no Brasil. Foi constatado que cada ente da Administração Pública Federal tem procurado atender aos seus mandatos. P. ex.: de forma simplificada, o MME está preocupado com a garantia de abastecimento e com preços módicos; a ANP está preocupada com o atendimento às especificações técnicas e com a ausência de fraudes; o MCTI e a Finep estão preocupados com o desenvolvimento tecnológico etc. O CIMA, órgão colegiado, que tem entre suas atribuições deliberar sobre as políticas relacionadas com o desenvolvimento científico e tecnológico, não tem conseguido exercer o seu papel adequadamente e coordenar as atividades dos órgãos governamentais (SOUSA; CARVALHO, 2013). E o CNPE, como órgão máximo da política energética, pouco ou nada se envolve com biocombustíveis. As ações do MCTI, BNDES e Finep podem vir a gerar inovação no setor, contudo, pelos motivos já tratados anteriormente, há uma redução enorme da efetividade das ações de criação de conhecimento e de direcionamento de pesquisa, sem a função correspondente função de criação de mercado. A seguir, serão feitas algumas considerações sobre política industrial, sua necessidade ou não, para no capítulo seguinte serem apresentadas proposições de ações no Brasil e proposições de ações conjuntas com os EUA.

7.1 Política Industrial

Na argumentação sobre competitividade sistêmica (ALTENBURG; HILLEBRAND; MEYER-STAMER, 1998; ESSER; HILLEBRAND; MESSNER, 1996; ESSER, 1994), os autores consideram que os fatores que estimulam ou dificultam o desenvolvimento industrial dinâmico não são somente os da empresa num nível micro ou da política econômica nacional num nível macro. Existem dois outros níveis de importância fundamental: no nível meta é tratada a capacidade de integração social e de formular e implementar estratégias; e no nível meso constam as estruturas de apoio, as políticas setoriais específicas que incentivam, complementam e aumentam os esforços no nível da empresa.

A corrente econômica neoclássica considera que as políticas industriais são necessárias apenas para corrigir falhas de mercado. Contudo, os autores neoschumpeterianos e evolucionários descartam o pressuposto do equilíbrio e, considerando a racionalidade limitada e que o conhecimento é predominantemente tácito e idiosincrático, admitem que tecnologias, estruturas industriais, formas de organização das empresas e instituições co-evoluem, tendo a inovação como força motora, e por isso as políticas industriais são relevantes e necessárias

(SUZIGAN; FURTADO, 2010). Para estes autores, os países que têm avançado economicamente reconhecem “que o lugar de cada país no futuro depende da construção de trajetórias capazes de promover objetivos para além dos horizontes e capacidades de cada protagonista” (p. 13), e citam os Estados Unidos, Japão, França e Coreia do Sul como exemplos de países que são ativos na condução de políticas industriais. Outro ponto importante levantado pelos autores é que nas políticas industriais dos países avaliados há em comum, a busca pelas novas tecnologias e a integração ágil e consistente da ciência e do conhecimento. Tais considerações levam ao fato da política industrial, tecnológica e de inovação necessariamente ter de fazer escolhas baseadas nas competências existentes e passíveis de construção, e nas perspectivas do futuro para o mercado econômico.

Pesquisadores que defendem o uso de políticas industriais e pesquisadores que tratam sobre competitividade sistêmica convergem para necessidade do Estado ter capacidade de formular e implementar estratégias na forma de políticas setoriais específicas que incentivam, complementam e aumentam os esforços no nível da empresa.

Nesse trabalho, se considera que a política industrial é um instrumento relevante para o desenvolvimento do país, e que no segmento de energia, esta é ainda mais necessária devido às características já destacadas. A partir deste pressuposto, serão apresentadas justificativas para importância do SS e que justificariam a adoção de uma política industrial para o mesmo e em seguida serão apresentadas proposições de ações específicas para geração de inovação.

7.1.1 Por que o Setor Sucroenergético deveria ser incluído numa política industrial?

Devido às restrições de recursos financeiros, naturais e humanos, nenhum país tem condições de desenvolver todos os segmentos econômicos num nível competitivo internacionalmente. Então, a primeira questão a ser tratada numa Política Industrial é: quais são os setores que devem ser priorizados? Esta questão suscita várias outras para ser adequadamente respondida. Dentre os questionamentos considerados mais importantes constam: i) este setor possui mercado futuro que justifique o investimento necessário? e ii) o país possui capacidade financeira, natural e de pessoal para ser competitivo internacionalmente? Serão brevemente apresentados argumentos para responder estas duas questões e justificar que o SS está entre os setores em que o Brasil apresenta maior possibilidade de ser competitivo internacionalmente.

7.1.1.1 O SS possui mercado futuro que justifique uma política industrial?

O principal produto do SS relacionado com o segmento de energia é o etanol. Majoritariamente utilizado como combustível em veículos que utilizam motores de combustão interna, a principal análise a ser realizada é se o mercado de veículos evoluirá de maneira a ter o etanol como um de seus combustíveis no futuro.

Contestabile et al. (2011) realizaram uma extensa revisão de vários estudos publicados que comparam os cenários futuros para diferentes modelos de carros: elétricos à bateria, motor de combustão interna a biocombustíveis, células de hidrogênio e híbridos de diversos tipos. A seguir, serão resumidos os principais pontos comuns dos estudos revisados, a evolução realizada por Contestabile et al. (2011) e os pontos que os autores identificaram ainda necessitam evoluir nos estudos futuros.

Contestabile et al. (2011), bem como os diversos estudos de previsão para o cenário automotivo partem do pressuposto que haverá um esforço para desenvolver veículos e combustíveis alternativos que permitam reduzir os GEE em 80% até 2050, como considerado necessário pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Um ponto comum identificado é que as forças de mercado sozinhas não serão suficientes para realizar esta transição no tempo requerido, sendo necessária uma intervenção política visando à redução de emissão de poluentes pelos veículos. O estudo de Contestabile et al. (2011) apresenta resultados para o ano de 2030, no qual os autores consideram que todas as tecnologias comparadas estarão plenamente desenvolvidas e terão produção em massa. Para os autores, é necessário que isso ocorra para que as metas de descarbonização em 2050 sejam atingidas.

Para selecionar os estudos que seriam comparados, os autores utilizaram como critérios: a) os estudos comparam a maioria ou todas as opções de veículos e combustíveis alternativos; b) eles são de alto nível e conseqüentemente têm potencial de influenciar os *policy makers*; e c) eles são o resultados do trabalho de um grupo de *experts* e foram revisados por pares ou validados pela indústria. Os estudos resultantes da seleção foram:

- Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context (JRC, 2007).
- A portfolio of power-trains for Europe: A fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles (MCKINSEY; EU POWERTRAIN COALITION, 2010).
- Transport, Energy and CO2 - Moving Towards Sustainability (IEA, 2009).

- The Energy Evolution: An Analysis of Alternative Vehicles and Fuels to 2100 (NHA, 2009).
- On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions (BANDIVADEKAR et al., 2008).
- GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study (GENERAL MOTORS; LBST, 2002).
- Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems—A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions (BRINKMAN et al., 2005).

Dentre os pontos comuns identificados nos estudos por Contestabile et al. (2011), verifica-se que melhorias incrementais nos veículos com motores de combustão interna (internal combustion engine vehicles – ICE) são muito importantes, mas não serão suficientes para atingir as metas de redução de GEE. Todas as tecnologias de veículos serão importantes para redução de GEE, mas não se sabe exatamente o papel de cada uma. No longo prazo se considera que haverá restrição para os veículos híbridos à combustão interna devido à falta de disponibilidade de biocombustíveis sustentáveis, que terão que ser usados também na aviação e nos navios e que o mercado poderá ser dominado por veículos elétricos à bateria (battery electric vehicles - BEV) ou a células de hidrogênio (hydrogen fuel cell vehicles – FCV). Analisando como principal limitação dos estudos revisados a dificuldade de realizar a comparação entre as diferentes medidas utilizadas, Contestabile et al. (2011) realizam o cálculo do Custo Total de Propriedade (Total Cost of Ownership – TCO) para cada uma das tecnologias avaliadas - Figura 50. Na legenda do gráfico, o primeiro número representa a potência nominal em kW (80ICE representa um motor ICE com potência de 80kW) e o segundo número é a extensão em que o veículo pode rodar somente à eletricidade (all-electric range - AER), em milhas. Para os modelos híbridos S ou P indica se a configuração é em série ou paralela. Os veículos FCV são sempre em série e Bio indica o uso de etanol ao invés de derivados de petróleo.

Na Figura 50 pode ser observado que o TCO de todas as configurações de veículos e combustíveis são relativamente similares, exceto para os BEV, nos quais o custo da bateria sobe muito com o aumento do tamanho. Este resultado confirma a conclusão dos estudos analisados de que provavelmente haverá várias tecnologias sendo utilizadas simultaneamente pelos veículos.

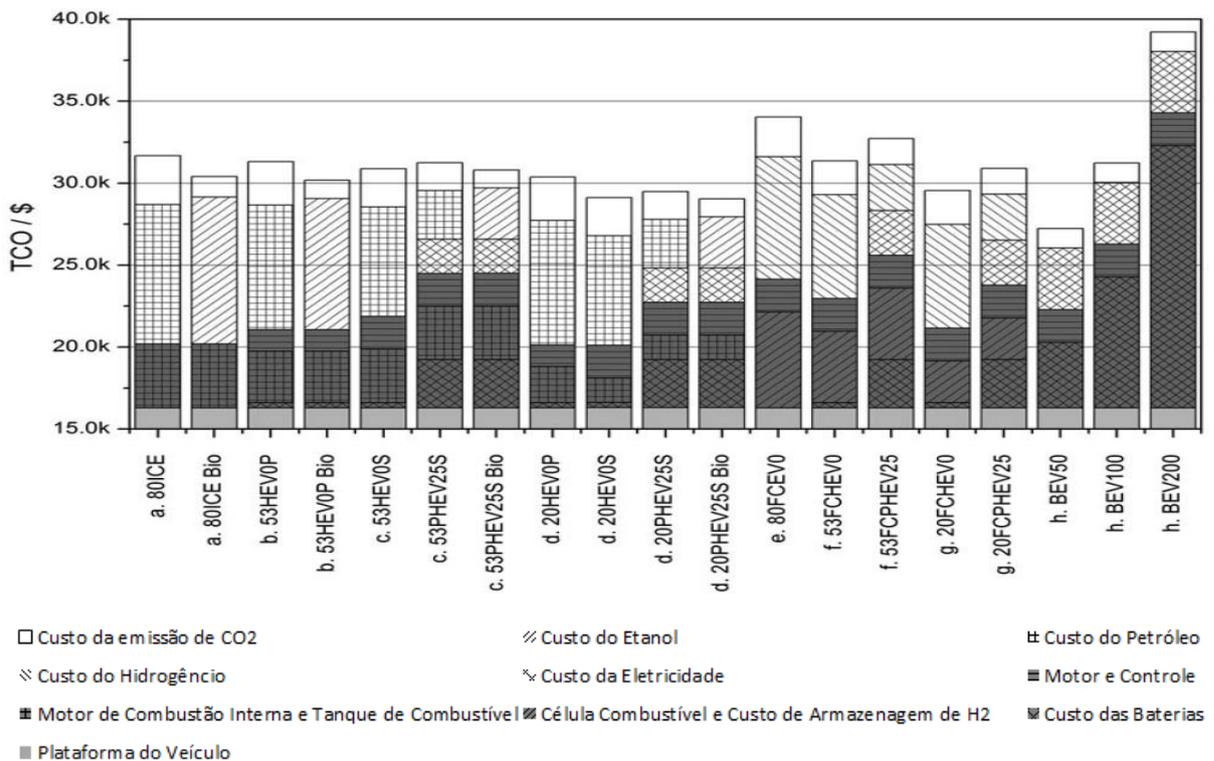


Figura 50 - Análise do TCO (Custo Total de Propriedade) utilizando um modelo típico de veículo com 19 possibilidades de motorização

Fonte: (CONTESTABILE et al., 2011, p. 3768)

Segmentando a análise pelo tamanho dos carros, Contestabile et al. (2011) consideram que para os carros grandes o TCO dos FCVs deverá ser menor que dos PHEVs (Plug-In Hybrid Electric Vehicles) e BEVs em 2030, e em 2050, também deverá ser menor que os ICEVs. Para os carros médios, o TCO de todas as tecnologias converge em 2050. E para os carros pequenos, os BEVs deverão ter o menor TCO em 2050. Unindo estas informações com levantamentos estatísticos que indicam que carros menores são utilizados predominantemente nas cidades e em trajetos curtos e que carros grandes são usados predominantemente em trajetos maiores, os autores consideram que haverá um aumento na especialização do mercado de automóveis. BEVs deverão ser mais utilizados em áreas urbanas e FCVs serão utilizados em veículos médios e grandes para viagens maiores. Os híbridos utilizando biocombustíveis são adequados tanto para distâncias curtas quanto longas, desde que haja disponibilidades de biocombustíveis avançados.

Como pôde ser observado na revisão dos estudos sobre o mercado automotivo mundial, o etanol compõe parte do cenário futuro de longo termo, como uma solução para mitigar as emissões de GEE nos veículos leves, ainda que não seja visto como a principal

opção. Especificamente no Brasil, como visto anteriormente, há um enorme crescimento do consumo de combustível para veículos leves. Como a Petrobras planejou suas novas refinarias num período em que o SS vinha crescendo significativamente, todas as novas unidades foram planejadas para produzir o máximo de diesel. Se não haverá aumento de capacidade de refino de gasolina no país para atender à demanda já existente e crescente, as opções estão entre produzir etanol e importar gasolina.

Nos caminhões, há um conjunto de estudos indicando que a eletrificação pura com bateria traz enormes dificuldades e o uso de biocombustíveis deverá prevalecer, em associação com modelos híbridos (LASER; LYND, 2014; LEE et al., 2013; SAFARIANOVA et al., 2008; SUH et al., 2011). Como atualmente a produção de biodiesel é muito menos eficiente que a produção de etanol, várias pesquisas são realizadas para utilização do etanol em conjunto ou em substituição ao diesel, em várias configurações técnicas diferentes.

Em 2008, a aviação comercial foi responsável por cerca de 2% do CO₂ emitido por atividades humanas, porém, enquanto os setores de transporte rodoviário e naval e de geração de energia elétrica possuem alternativas viáveis para mitigação das emissões, para a aviação civil, a mitigação depende de melhoria da eficiência dos motores e do uso de biocombustíveis (ATAG, 2009). O uso de células a hidrogênio é possível tecnicamente, mas foi considerado que os desenvolvimentos tecnológicos ainda demandarão um longo prazo. Mate e Lu (2013) relatam um grande conjunto de rotas tecnológicas para produção de bioquerosene de aviação, dentre elas constam três rotas já com testes realizados que se integram ao SS, seja por utilizarem direto o etanol como matéria-prima, seja por utilizarem o caldo de cana:

- DSHC (Direct Sugar to Hydrocarbon) - É um processo desenvolvido em parceria pela Amyris e pela Total. O açúcar é transformado em farneseno, utilizando tecnologia de biologia sintética proprietária da Amyris e posteriormente passa por uma fase de hidrotreamento que resulta no bioquerosene de aviação. O produto pode ser misturado em proporções de até 10% com o bioquerosene de origem fóssil, já foi testado em diversos voos e possui certificação da ASTM.
- Algas – É um processo desenvolvido em parceria pela Solazyme e pela UOP. As algas são modificadas geneticamente com tecnologia da Solazyme para produzir um óleo que posteriormente é transformado em bioquerosene de aviação. Os açúcares são utilizados no processo como fonte de “alimento” para as algas.

- Alcohol Jet - A empresa Byogy desenvolveu uma plataforma catalítica que converte qualquer tipo de álcool em um bioquerosene de aviação que pode substituir completamente o derivado de petróleo. O produto está em fase de aprovação pela ASTM.

Diferente dos outros setores, onde o uso dos biocombustíveis tem sido uma ação governamental, na aviação civil as próprias empresas se associaram para promover o uso dos biocombustíveis, possivelmente tentando reduzir o risco de sofrerem algo como uma taxa de carbono ou alguma medida de mitigação que seja de custo mais alto.

Em conclusão a esta seção, verifica-se que há mercado futuro de alto potencial para os biocombustíveis, que deverão ser utilizados em todos os meios de transporte em maior ou menor medida. O consumo global de etanol calculado pela World Energy Outlook of 2012 é projetado para crescer por um fator de 3,5 em 2035 no IEA New Policies Scenario (IEA, 2012).

7.1.1.2 Demanda futura para bioeletricidade

Com uma matriz de produção de energia elétrica prioritariamente hídrica e com um grande potencial eólico que vem sendo crescentemente utilizado, o Brasil, a princípio, não necessitaria pensar em opções para mitigar a emissão de GEE no setor elétrico. Contudo, a geração hídrica possui forte variação ao longo do ano e a geração eólica possui forte variação ao longo do dia. Para compensar estas variações é necessário haver outra fonte de geração que tenha possibilidade de despacho no momento em que as fontes hídricas e eólica não sejam capazes de atender à demanda.

As termoelétricas em geral atendem a esta característica. Podem armazenar o combustível, seja petróleo, carvão ou biomassa e produzir a energia quando necessária. No caso das térmicas movidas a bagaço de cana-de-açúcar, elas possuem a vantagem de ter mais combustível (bagaço) justamente no período da seca, quando é feita a colheita e há menor geração hídrica. Esta complementariedade traz maior estabilidade para o sistema energético como um todo. Atualmente, os leilões para produção de energia elétrica têm se concentrado fortemente no custo de produção como principal quesito para competição, o que tem feito que a energia de bagaço tenha ganho poucos empreendimentos em comparação com a energia eólica. Considera-se que este modelo de competição tem aumentado os riscos do sistema em casos de seca, ou até mesmo aumentado os custos, quando se faz necessário o uso de térmicas a petróleo, com custos de produção superiores à biomassa.

Outro argumento que se faz necessário avaliar é a complementariedade da produção de energia elétrica a partir do bagaço com a produção de etanol. Atualmente os negócios têm sido analisados em separado pelos órgãos regulamentadores e de planejamento. Quando uma usina produz etanol, ela produz uma grande quantidade de bagaço, que se não for usado para produção de energia, ou de alguma outra maneira, terá que ser queimado de forma ineficiente, com emissões de GEE desnecessárias. Quando é utilizado para produzir energia elétrica, o bagaço traz os benefícios elencados anteriormente, mas também passa a compor uma fonte estável de receita para a usina, permitindo assim se reduzir os custos de produção do etanol.

7.1.2 O Brasil possui capacidade financeira, natural e de pessoal para que o SS seja competitivo internacionalmente?

Ao longo deste estudo foi visto que o Brasil conseguiu ser mundialmente o país a ter o maior uso percentual de biocombustíveis em sua matriz de transporte. Tal fato, aliado aos investimentos históricos, construiu um grande cabedal de competências no SS. Contudo, pelos diversos fatores também já avaliados, há uma demanda mundial por combustíveis celulósicos e o país não possui todas as competências científicas necessárias bem desenvolvidas.

Essa lacuna é considerada passível de solução, agregando tanto desenvolvimento tecnológico próprio, quanto com a realização de parcerias internacionais. O mercado brasileiro é um forte ativo para acelerar este desenvolvimento tecnológico. Quanto à capacidade natural, o país possui clima adequado e terras em quantidade suficiente para evoluir muito no segmento, já que utiliza apenas cerca de 0,5% de suas terras para produzir etanol.

A capacidade financeira para apoio à inovação depende principalmente de priorização. Nenhum país irá conseguir avançar tecnologicamente em todos os campos. Havendo uma decisão política sobre a conveniência de se apoiar o setor, os recursos existentes poderiam ser melhor alocados, com possibilidade de trazerem grandes benefícios para o SS.

Quanto ao posicionamento em comparação com outros países, o Brasil está certamente entre os líderes tecnológicos para cultura de cana-de-açúcar, que tem até o momento se mostrado uma das melhores matérias-primas disponíveis para produção de biocombustíveis. Diversas outras etapas para produção de biocombustíveis, como a logística, fermentação, destilação, geração de vapor, geração de energia elétrica a partir do bagaço dentre outras são de amplo domínio brasileiro e necessitariam de um esforço menor que o de outros países para evoluírem.

7.2 O Nordeste?

Desde o início do século XX, a Região Nordeste vem perdendo competitividade e reduzindo sua participação na produção total de cana-de-açúcar no Brasil. Contudo, o setor ainda é altamente relevante para a economia de alguns Estados. Em Alagoas representa 15% do PIB do Estado e em Pernambuco, representa 8% (MARANHÃO, 2014). Devido às características topográficas da Região Nordeste, onde a cana-de-açúcar é produzida, região de relevo acidentado, ainda não existem equipamentos adequados para mecanização. Isso faz com que o setor seja também o maior gerador de empregos na região, além de contar com mais de 25.000 fornecedores de cana-de-açúcar, a maioria em pequenas propriedades.

Além da importância do etanol na matriz energética e do açúcar na pauta de exportações, a importância do setor sucroenergético na Região Nordeste é principalmente de natureza social e econômica. O colapso do setor traria severos impactos à região. Para substituir a cana-de-açúcar, seria necessário desenvolver alternativas para geração de emprego e renda na região. Até o presente momento, a maioria das alternativas buscadas, como a fruticultura ou a plantação de mandioca não foram bem sucedidas. A fruticultura não apresentou bons resultados na região, e a produção de mandioca foi em algumas épocas muito grande, sem investimento correspondente em indústrias processadoras, depreciando o preço e inviabilizando a continuidade do crescimento da produção.

Nos últimos anos, houve equalização de preço da cana-de-açúcar para produção de etanol com recursos federais, para complementar a renda do agricultor. Medida adequada para sanar os problemas de curto-prazo. Contudo, não deve ser uma solução perene, mas sim, com uma data final definida, ou critérios que permitam mensurar a necessidade e conveniência de tal medida.

Em 17/02/14, o BNDES em conjunto com a FINEP lançaram o PAISS agrícola, cujos objetivos concentram-se na criação e disponibilidade de variedades transgênicas de cana-de-açúcar e de maquinário agrícola para o setor. Devido ao baixo grau de participação do Nordeste na produção brasileira total e ao alto grau de insolvência do setor na região, estima-se que a região terá baixa ou nenhuma participação no PAISS agrícola. Tal fato poderá reduzir ainda mais a competitividade do setor frente à região Centro-Sul e chegar a inviabilizar totalmente a produção de cana-de-açúcar no Nordeste, com graves implicações de ordem econômica e social, principalmente para os Estados de Alagoas e Pernambuco.

O Nordeste é o principal local onde são necessárias ações governamentais para apoio à geração de inovação, com finalidade de ampliar a competitividade. Ações desenhadas para a

região e que levem em consideração suas peculiaridades. Contudo, frente às características relatadas, é necessário avaliar anteriormente se estes investimentos possibilitariam que o setor se torne competitivo frente aos grupos empresariais do Centro-Sul.

7.3 Proposição de Ações

A seguir, serão propostas ações consideradas necessárias para aumentar a taxa de inovação no SS. Será considerado que o setor é um dos selecionados para fazer parte da política industrial e que o mesmo receberá prioridade nas ações do Governo Federal. As justificativas para cada proposta serão associadas com as funções de inovação e com os dados relatados ao longo do trabalho.

7.3.1 Ajuste na política macroeconômica

O crescimento sustentado da economia necessita de estabilidade macroeconômica e de taxas de inflação baixas e estáveis. Não se encontram argumentos razoáveis contra tais assertivas. Contudo, é necessário que os instrumentos macroeconômicos levem em consideração a política industrial. Katz (2005) considera que a análise neoclássica dos economistas sobre as políticas industriais de substituição de importações (ISI) na América Latina é depreciativa e insuficiente para capturar a complexa dinâmica de aprendizado que ocorreu, principalmente nos maiores países da região: Argentina, Brasil e México. Para o autor o processo de ISI permitiu que estes países expandissem suas bases industriais e desenvolvessem uma cultura fabril associada que culminaram com um grande volume de “capital social”. Diversas empresas nestes países conseguiram acumular um estoque de habilidades tecnológicas, aumentar significativamente sua produtividade e competitividade, “superando seus desníveis em relação à fronteira tecnológica internacional” (p. 414). O autor considera que a contração e o retrocesso estrutural ocorridos na década de 80 na Argentina, Brasil e México não são fruto de uma concepção errônea de estratégia de industrialização, mas sim, de políticas macroeconômicas que não levaram em consideração as diferenças setoriais e as políticas industriais em curso e destruíram em grande parte o esforço feito anteriormente.

Situação similar parecesse estar em curso, sendo necessário buscar ferramentas macroeconômicas de controle da inflação que não cancelem todos os resultados da política industrial, científica e tecnológica. Ou, caso isto não seja possível, é necessário compensar o

setor afetado, objeto da política industrial, com alguma medida que elimine os efeitos negativos do controle macroeconômico. No caso do SS, o crescimento do mercado é essencial para que ocorra a inovação, que é majoritariamente introduzida quando da construção de novas plantas produtoras.

7.3.2 Formação de mercado para novos produtos

Considerando que a formação de mercado é essencial para geração de inovação no SS, é necessário, ou que o MME, como gestor estratégico do sistema, tenha dentre suas atribuições a geração de inovação, e/ou que um órgão superior integre as atividades relacionadas com a inovação. Nos EUA, o DoE é reconhecidamente um dos maiores financiadores de PD&I, ao mesmo tempo que trabalha com regulações para criação de mercado, em conjunto com a EPA. Ainda assim, devido às dificuldades de coordenação, num tópico que é multidisciplinar por natureza, foi criado o BR&D, ligado ao Escritório Executivo do Presidente.

Ações de fomento à inovação pelo MCTI, BNDES e Finep, sem a correspondente função de formação de mercado perdem muito de sua efetividade e utilizam de recursos públicos valiosos com resultados muito aquém dos possíveis caso haja uma concatenação das atividades.

7.3.2.1 Ajuste no Inovar-Auto

O mercado do EH está diretamente relacionado com sua competitividade de preço em relação à gasolina C. Atualmente utiliza-se o fator de 70% devido ao rendimento médio dos motores utilizando os diferentes combustíveis.

Como já relatado, é possível alterar essa relação em favor do EH com ajustes nos motores. Para isso é necessário fazer ajustes nos incentivos do Inova-Auto que melhorem o rendimento dos veículos usando EH, sem diminuir o seu rendimento usando gasolina C. Uma maneira de realizar esta alteração, seria condicionar a redução de IPI para carros *flex fuel* para os modelos que apresentassem uma relação de consumo melhor que os 70%. Como incentivo à inovação constante, o desconto poderia ser progressivo, com a melhoria na relação.

7.3.3 Mobilização de Recursos

O *carbon lockin* em si já é difícil de suplantar pelas razões expostas anteriormente. No Brasil, esta situação é proeminente na alocação dos recursos financeiros de P&D, nas quais os biocombustíveis e a geração de energia elétrica pela biomassa recebem menos recursos que as opções já estabelecidas como o petróleo e as hidroelétricas. Para suplantar este *lockin* é necessário buscar fontes de recursos que invertam a situação. Também foi identificado em grupo exíguo de técnicos trabalhando com o tema, fato que dificulta a construção de opções futuras, já que as atividades rotineiras demandam o esforço integral das equipes.

7.3.4 Ajuste na Governança Federal sobre o Setor

A geração de inovação ocorre imersa num sistema em que vários elementos necessitam ser concatenados para seu sucesso. Investir em apenas um aspecto, como o direcionamento da pesquisa ou a geração de conhecimento sem as outras funções presentes, como a formação de mercado reduz significativamente a efetividade das ações.

Tanto o CIMA, quanto o CNPE são pouco efetivos na coordenação das ações federais para o SS. Numa das entrevistas, um importante funcionário do MCTI, responsável pelas ações do ministério para o SS, afirmou desconhecer o CIMA e nunca ter recebido qualquer tipo de informação tanto do CIMA, quanto do CNPE quanto às prioridades para o setor.

Para que os diversos órgãos da APF possam realizar ações coordenadas, é necessário que sejam definidas as principais metas a serem cumpridas e quais as prioridades de ação, e que isto seja de conhecimento dos envolvidos. Atualmente, o CIMA não possui corpo técnico próprio ou alguma estrutura que o permita atender ao seu mandato legal. É necessário repensar esta estrutura de governança, de maneira a criar condições para o estabelecimento das ações prioritárias, comunicação aos órgãos necessários e acompanhamento das atividades.

7.3.5 Parceria com os EUA

7.3.5.1 RIN para biocombustíveis avançados emitidos no Brasil

A política de alguns estados e a política federal dos EUA criaram mercado para os biocombustíveis avançados, dentre os quais o etanol de cana-de-açúcar, que faz com que este biocombustível receba um valor superior ao etanol de amido de milho. Tal situação tem

gerado a exportação de etanol de cana-de-açúcar do Brasil para os EUA e a importação de etanol de milho dos EUA para o Brasil - Figura 51.

Para os EUA, esta importação, além de atender a determinantes ambientais, cria uma pressão para que os produtores locais busquem alternativas para produção de etanol avançado e celulósico para competir com o etanol brasileiro. Para o Brasil, esta situação cria uma renda adicional para os produtores. O lado negativo desta situação são os custos logísticos adicionais criados por esta exportação entre os dois países. Relatórios do Congresso dos EUA e da EIA (CBO, 2014; U. S. EIA, 2012) já demonstram preocupação com esta situação. Caso não haja alterações substanciais na política, se prevê que as exportações entre os dois países devam crescer, tendo em vista que o etanol brasileiro possui um preço inferior às outras opções de biocombustíveis avançados ou celulósicos.

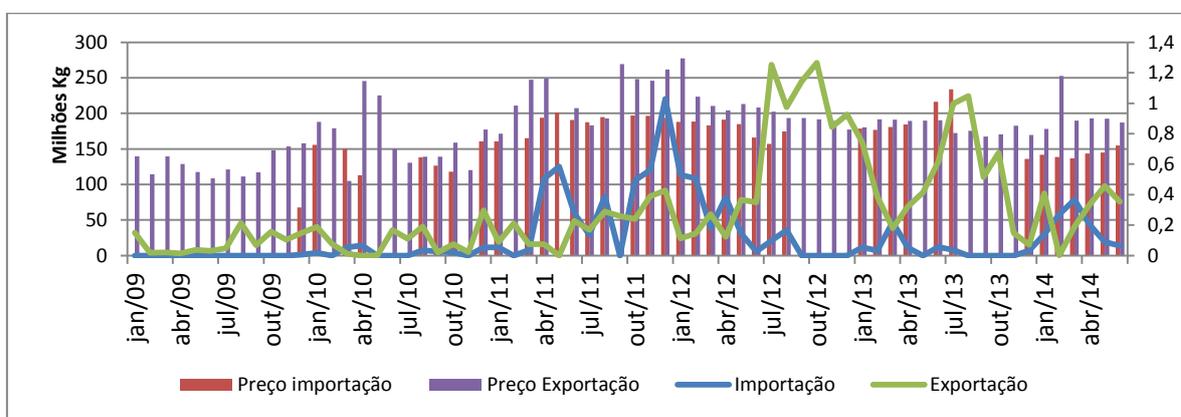


Figura 51 - Balança Comercial do Etanol - Brasil e EUA

Fonte: elaboração própria, dados (BRASIL, 2014d)

Observação: Preços no eixo vertical direito, calculados em US\$/Kg FOB

O crescimento do valor pago pelos contribuintes norte-americanos para importar o etanol brasileiro, associado com as pressões das *advocacy coalitions* principalmente de fazendeiros dos EUA podem impor dificuldades à continuação desta política, seja se eliminando a possibilidade do etanol brasileiro receber o prêmio pago, ou seja pela criação de uma tarifa de importação, como já houve no passado recente, por longos anos.

Uma forma de mitigar este problema seria os dois governos reconhecerem a dificuldade de se manter o *status quo* atual ao longo dos anos, bem como as vantagens existentes. O pagamento do prêmio para o etanol brasileiro é menor que as outras opções disponíveis e, portanto, reduz o gasto total do RFS2 para os EUA. E a renda extra permite melhorar a rentabilidade do setor no Brasil. Para potencializar estes ganhos, poderia ser estudada uma forma de se emitir os RINs no Brasil, para consumo de etanol localmente e estes RINs serem utilizados nos EUA para atender as metas da RFS2 e dos programas

estaduais. Haveria assim uma significativa redução dos custos logísticos entre os dois países, e também uma melhoria dos resultados ambientais em função da redução deste deslocamento desnecessário.

7.3.5.2 Editais conjuntos de PD&I para biocombustíveis celulósicos

Por condições de mercado diversas, já tem ocorrido uma interação entre as pesquisas nos EUA e no Brasil, bem como aquisições e formações de *joint ventures* de produtores e desenvolvedores de tecnologia. Existem ganhos diversos identificados para os dois países nesta interação, que tem potencial para acelerar o desenvolvimento tecnológico e a criação de valor. Apesar desta situação ocorrer de forma relativamente natural, há como aumentar esta interação, com a indução por meio de editais conjuntos.

Propõem-se aqui que parte dos recursos para PD&I voltados para bioenergia sejam realizados com recursos conjuntos dos dois países e que tenham como pré-requisito a formação de parceria entre empresas e/ou ICTs dos dois países.

7.4 Funções Setoriais de Inovação

O *framework* de Funções Setoriais de Inovação mostrou-se capaz de possibilitar tanto um panorama histórico que forneça uma visão do desenvolvimento de um setor ou de uma determinada tecnologia, quanto permite uma análise da situação atual. Esta característica foi considerada muito útil no desenvolvimento deste trabalho. A revisão histórica, feita com base em trabalhos já publicados, possibilitou um entendimento das motivações que levaram à situação atual do SS. A análise atual, em conjunto com a análise histórica, permitiu identificar as principais falhas num contexto macro, possibilitando assim se focalizar nos problemas mais graves a serem enfrentados.

Nos diversos trabalhos revisados, há certa variação quanto à quantidade e denominação das FSIs necessárias. Concluída a pesquisa, o uso das sete funções propostas por Hekkert et al. (2007) foi considerado adequado e suficiente para os propósitos da pesquisa. A adição de FSIs propostas por parte dos pesquisadores utilizando o mesmo referencial teórico foi considerada desnecessária por aumentar a complexidade da análise, com poucos ganhos no resultado. Além disso, foi percebida uma tendência dos pesquisadores a avançar nestas proposições como um avanço da teoria. Essa criação de várias FSI em contextos específicos aumenta a dificuldade de comparação entre os trabalhos.

7.4.1 Interação entre Funções Setoriais de Inovação e *Advocacy Coalition Framework*

Dentre as sete FSIs, foi identificado que em quatro delas - Direcionamento da Pesquisa, Formação de Mercado, Mobilização de Recursos e Criação de Legitimidade – ocorre uma intensa disputa entre grupos com interesses diversos – *Advocacy Coalitions*. P.ex.: Na função de Direcionamento de Pesquisa, os grupos de pesquisa que têm especialização em algas, buscam ressaltar as qualidades positivas das algas e assim direcionar recursos para as pesquisas sendo conduzidas pelo grupo. As empresas que apostaram seus recursos no desenvolvimento tecnológico das algas irão adotar a mesma postura. Já os agricultores de culturas tradicionais como o milho e a cana-de-açúcar, defenderão que eles já possuem um mercado formado e eficiente e que basta aumentar os recursos de P&D para eles se tornarem mais eficientes.

Na formação de mercado, cenário similar se desenha. Quem trabalha com o etanol, defende que esta já é uma solução bem testada e que já há um mercado que apenas necessita ser melhor desenvolvido. Quem desenvolve o butanol, defende que este combustível possui maior densidade energética e, portanto, seria mais eficiente, sendo necessário apenas criar o mercado. Considerando a racionalidade limitada (JONES, 1999) dos *policy makers*, é difícil mensurar todas estas variáveis para tomar as decisões.

Para compreensão mais aprofundada destas disputas ocorrendo no interior do Sistema de Inovação, a *Advocacy Coalition Framework* – ACF (SABATIER; WEIBLE, 2007), modelo do processo político formulado para lidar com problemas que envolvem conflitos acerca dos objetivos, disputas técnicas e múltiplos atores, foi considerada como uma teoria que tem potencial para aprofundar o entendimento destas disputas. Verifica-se que para tratar de algumas falhas do sistema, como a dificuldade de suplantar as barreiras para criação de mercado, a ACF pode vir a ser utilizada com sucesso para identificar as principais *Advocacy Coalitions* e seu modo de operação, permitindo tomar ações para remover a oposição.

8 CONCLUSÃO

A inovação no setor de energia traz desafios adicionais aos enfrentados na maior parte dos setores econômicos. Diferente do observado habitualmente, onde a diferenciação agrega valor e pode gerar renda adicional para o empresário inovador. No setor de energia, a rigidez imposta pela padronização⁶ dificulta a inovação por não permitir a renda adicional da diferenciação. Tal fato, aliado a este mercado ser fortemente regulado e ter grandes oligopólios, reforça intensamente a necessidade de políticas ativas para geração de inovação.

Pesquisadores que avaliam a diferença de performance entre os diferentes Sistemas Nacionais de Inovação já destacam a natureza sistêmica da inovação e a importância das políticas para a competitividade em nível nacional. Para o setor de energia, essa ação do Estado passa a ser ainda mais relevante. Não foram identificados casos de países que se tornaram fornecedores de tecnologia e de bens de capital para o setor energético em larga escala somente pela ação empresarial. Estados Unidos, Alemanha, Holanda e França, dentre outros países que possuem empresas vendendo tecnologia e bens de capital para o setor, contam e/ou contaram com intenso apoio do Estado, principalmente com políticas de PD&I.

A necessidade de alterar o atual paradigma de carros movidos a combustíveis fósseis é premente para combater o aquecimento global. Contudo, conforme analisado ao longo deste trabalho, existem enormes barreiras a esta mudança, comumente chamadas de *carbon lockin*. Os biocombustíveis foram considerados como uma opção adequada de desenvolvimento para o Brasil, não apenas por comporem a solução para os graves problemas enfrentados pela humanidade quanto ao aquecimento global, mas, principalmente, por possibilitarem desenvolvimento econômico e social de forma sustentada e distribuída. É um setor que gera empregos de qualidade no interior do país, distribuído em várias regiões, e utiliza o potencial natural do país, aliado ao desenvolvimento tecnológico.

O Brasil conseguiu vencer o principal obstáculo identificado para formação de um Sistema de Inovação Tecnológica bem estruturado para o etanol, que é a formação de mercado. Isto dá ao país condições de avançar mais rapidamente no desenvolvimento da inovação, caso sejam removidas as principais barreiras atuais identificadas, que são o controle da inflação via controle de preço da gasolina e a baixa mobilização de recursos para o setor.

Considerando o objetivo de identificar falhas e propor correções para geração de inovação no Setor Sucroenergético, a teoria sobre Funções Setoriais de Inovação foi

⁶ A padronização é extremamente importante para possibilitar ganhos de escala e o estabelecimento de um mercado comum. A rigidez aqui se refere à dificuldade de se evoluir esses padrões.

considerada útil por permitir análise conjuntural do cenário em curso, bem como suas causas históricas. A teoria sobre *Advocacy Coalition Framework* não foi aprofundada no trabalho, mas pode ser uma ferramenta adicional para tratar de barreiras impostas por um ou mais grupos de interesse específico que estejam bloqueando o desenvolvimento sistêmico.

A função de criação de conhecimento, que foi identificada como falha para o etanol celulósico, necessita ser ajustada, em consonância com a priorização de investimento que já tem ocorrido pelo direcionamento existente no PAISS e no PAISS Agrícola pelo BNDES e pela Finep. A natureza sistêmica da inovação, destacada em diversos momentos do trabalho, necessita de algum tipo de coordenação, que se sugere aqui que seja realizada ao menos entre os órgãos federais envolvidos com o setor.

Com um peso relevante na tributação do setor de combustíveis, os Estados necessitam ser envolvidos na formulação das políticas, fato que é pouco observado atualmente. Ainda que cada Estado tenha autonomia para atuar dentro de suas competências, a busca de alinhamento dos objetivos para geração de inovação no setor sucroenergético traz enormes ganhos para todos os envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARCA, C. D. G. **Inovações Tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar** Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP). **Anais...**Rio de Janeiro: 1999

ABENGOA. **Abengoa Bioenergy :: New technologies :: Technological Development :: Biochemical Route :: 2G enzymes ::** Disponível em: <http://www.abengoabioenergy.com/web/en/nuevas_tecnologias/tecnologias/ruta_bioquimica/enzimas/index.html>. Acesso em: 6 ago. 2014.

ALKEMADE, F.; SUURS, R. A. A. Patterns of expectations for emerging sustainable technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 3, p. 448–456, mar. 2012.

ALTENBURG, T.; HILLEBRAND, W.; MEYER-STAMER, J. **uilding systemic competitiveness Concept and case studies from Mexico, Brazil, Paraguay, Korea and Thailand**Concept and Case Studies from Mexico, Brazil, Berlin: [s.n.].

AMYRIS. **Amyris - BUSINESS STRATEGY**. Disponível em: <<http://www.amyris.com/company/151/businessstrategy>>. Acesso em: 3 jul. 2014.

ANDERSEN, E.; LUNDVALL, B. A. Small national systems of innovation facing technological revolution: an analytical framework. In: LUNDVALL, B.-Å.; FREEMAN, C. (Eds.). **Small Countries Facing the Technological Revolution**. London: Pinter Publishers, 1987.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira - 2014**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>.

ARPA-E. **U.S. Advanced Research Projects Agency–Energy . About | ARPA-E**. Disponível em: <<http://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-site-page/about>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

ARROW, K. Economic welfare and the allocation of resources for invention. In: NELSON, R. (Ed.). **The rate and direction of inventive activity**. New Haven: Princeton University Press, 1962.

ATAG. **Air Transport Action Group. Beginner ' s Guide to Aviation Biofuels**, 2009. Disponível em: <<http://www.atag.org/component/downloads/downloads/60.html>>

BABCOCK, B. A. Ethanol without Subsidies: An Oxymoron or the New Reality? **American Journal of Agricultural Economics**, v. 95, n. 5, p. 1317–1324, 21 jun. 2013.

BACCARIN, J. G.; GEBARA, J. J.; FACTORE, C. O. Concentração e integração vertical do Setor Sucroalcooleiro no Centro-Sul do Brasil. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 3, p. 17–28, 2009.

BANDIVADEKAR, A. et al. **On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions**. Boston: [s.n.]. Disponível em: <<http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/otr2035/>>. Acesso em: 25 jul. 2014.

BERGEK, A. et al. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, v. 37, n. 3, pp. 407–429, abr. 2008.

BERGEK, A.; JACOBSSON, S.; SANDÉN, B. A. “Legitimation” and “development of positive externalities”: two key processes in the formation phase of technological innovation systems. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 20, n. 5, pp. 575–592, set. 2008.

BERGER, E. M. **Dynamics of innovation of biofuel ethanol. Three decades of experience in the U.S. and in Brazil**. [s.l.] Georgia Institute of Technology, 2010.

BORUP, M. et al. **Indicators of energy innovation systems and their dynamics. A review of current practice and research in the field**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.eis-all.dk>.

BOYCE, A. **Investindo no Setor Sucroenergético: Caminhos e Perspectivas** Ethanol Summit. **Anais...São Paulo: 2013.** Disponível em: <<http://www.ethanolsummit.com.br/arquivos/apresentacoes-dia-28/11h-sala-mercados-investimentos/alan-boyce.pdf>>

BRAGA JR., R. L. C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, A. J. A evolução da áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **Revista STAB**, v. 30, n. 1 set-out, 2011.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cnepae.embrapa.br/a_unidade/plano-nacional-de-agroenergia/PNA.pdf>.

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: [s.n.].

BRASIL. BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar - Energia para o Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Edição, ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. pp. 1–316

BRASIL. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Brasil em desenvolvimento : Estado, planejamento e políticas públicas**. [s.l.: s.n.]. p. 489

BRASIL. MRE - Ministério das Relações Exteriores. **Compromisso brasileiro no United Nations Framework Convention on Climate Change** Berlin, 2010a. Disponível em: <https://unfccc.int/files/meetings/cop_15/copenhagen_accord/application/pdf/brazilcphaccord_app2.pdf>

BRASIL. MCTI. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Relatório de Gestão do FNDCT / Fundos Setoriais 2007-2009**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0211/211799.pdf>. Acesso em: 14 maio. 2014b.

BRASIL. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação - Principais resultados e avanços 2007-2010. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/inte-PACATI_110207.pdf>.

BRASIL. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015 Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0218/218981.pdf>

BRASIL. MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais 2012. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/rais/>>.

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Brasília: [s.n.].

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2013. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2013. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=69132&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1403796656261>>.

BRASIL. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Portal - Indicadores. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/2051/_b__i_Producao_cientifica_b__i_.html>. Acesso em: 13 abr. 2014a.

BRASIL. MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Plano Brasil Maior. Disponível em: <<http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/conteudo/154>>. Acesso em: 13 abr. 2014b.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 24 jan. 2014c.

BRASIL. MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Aliceweb, 2014d. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 31 maio. 2013

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2014. [s.l: s.n.].

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/An%C3%A1lise de Conjuntura dos Biocombust%C3%ADveis - boletins peri%C3%B3dicos/An%C3%A1lise de Conjuntura - Ano 2013.pdf](http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura%20dos%20Biocombust%C3%ADveis%20-%20boletins%20peri%C3%B3dicos/An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura%20-%20Ano%202013.pdf)>.

BRASIL. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>.

BRASIL. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries Históricas Relativas às Safras. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>.

BRASIL. ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados estatísticos mensais. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=64555&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1399283467531>>.

BRASIL. BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. Prorenewa. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/prorenewa.html>. Acesso em: 5 maio. 2014j.

BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. Boletim mensal dos combustíveis renováveis jan/2014. Brasília: [s.n.].

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Institucional. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/acessoainformacao/Paginas/institucional.aspx>>. Acesso em: 29 maio. 2014l.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 30 maio. 2014m.

BRASIL. MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Gerador de Relatórios - FNDCT. Disponível em: <http://sigcti.mct.gov.br/fundos/rel/ctl/ctl.php?act=projeto.gerador_form>. Acesso em: 14 maio. 2014n.

BRASIL. ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Recursos financeiros da cláusula de investimentos em P&D. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=70156&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1400100674546>>. Acesso em: 14 maio. 2014o.

BRASIL. BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. PAISS Agrícola. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao/Inovacao/paissagricola.html>. Acesso em: 12 maio. 2014p.

BRASIL. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2014 - Relatório Síntese. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf>.

BRESCHI, S.; MALERBA, F. Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries. In: EDQUIST, C. (Ed.). **System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**. London: Routledge, 1997. pp. 130–156.

BRINKMAN, N. et al. **Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems—A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/well_to_wheels_analysis.pdf>.

BUNGE. **Solazyme e Bunge formam Joint Venture para produção de óleo renovável em escala comercial no Brasil.** Disponível em: <<http://www.bunge.com.br/Imprensa/solazyme-e-bunge-formam-joint-venture-para-producao-de-oleo-renovavel-em-escala-comercial-no-brasil>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

BURNQUIST, W. **O Sorgo Sacarino como cultura complementar à cana-de-açúcar** Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino. **Anais...**Piracicaba: 2012

BUSH, V. **Science: the endless frontier: a report to the president on a program for postwar scientific research.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945>.

CAAFI. **Commercial Air Alternative Fuel Initiative. Fuel Readiness Tools.** Disponível em: <<http://caafi.org/information/fuelreadinesstools.html>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

CALMANOVICI, C. E. **Programa de desenvolvimento de tecnologias de 2ª geração no PAISS** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/s_paiss_eth.pdf>

CANAVIALIS. **Linha do tempo - CanaVialis.** Disponível em: <<http://www.canavialis.com.br/quem-somos/linha-do-tempo/index.aspx>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

CARLSSON, B. et al. Innovation systems: analytical and methodological issues. **Research Policy**, v. 31, p. 233–245, 2002.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, pp. 34–45, mar. 2005.

CASTRO, R. A. O. **Nova regulação do mercado de etanol e da indústria de biocombustíveis** I Congresso Internacional de Direito, Democracia e Inclusão. **Anais...**Curitiba: 2012 Disponível em: <<http://www.pucpr.br/>>

CAVALCANTE, L. R. **Innovation policies and structural change: a look on the ways to increase business enterprise research and development expenditures in Brazil** The global network for the economics of learning, innovation, and competence building systems (GLOBELICS) international conference. **Anais...**Hangzhou (China): 2012

CAVALCANTE, L. R. **Consenso difuso, dissenso confuso: paradoxos das políticas de inovação no Brasil** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 1 ago. 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2129>>. Acesso em: 11 abr. 2014

CAVALCANTE, L. R.; DE NEGRI, F. **Trajatória recente dos indicadores de inovação no Brasil:** Texto para discussão. Rio de Janeiro: [s.n.].

CAVALCANTE, L. R. M. T.; FAGUNDES, M. E. M. Formulação de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação em Nível Subnacional: Isomorfismo e Aderência às Realidades Regionais. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 2, pp. 136–147, 15 jun. 2007.

CBO. U.S. Congressional Budget Office. The Renewable Fuel Standard: Issues for 2014 and Beyond. 2014.

CCEE. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Resultado Consolidado dos leilões - Abril/2014.** São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_menu_header/biblioteca_virtual?tipo=Resultado+Consolidado&assunto=Leil%C3%A3o&_adf.ctrl-state=uk67srgb4_80&_afLoop=506805246155694#%40%3F_afLoop%3D506805246155694%26tipo%3DResultado%2BConsolidado%26assunto%3DLeil%25C3%25A3o%26_adf.ctrl-state%3Dxs6laahq_4>.

CE. **Comissão Europeia. Economic Reform and Competitiveness: Key Messages from the European Competitiveness Report 2006.** Brussels: [s.n.]. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fenterprise%2Fnewsroom%2Fcf%2F_getdocument.cfm%3Fdoc_id%3D4059&ei=6yDBU6yVBcKayASfvYLQAg&usg=AFQjCNGsWSyWOYC_8o1Z1S_-1Tu5j-DP0A&sig2=1-9yimZDTmoBnA5npgYUOg>.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/ESALQ/USP. Indicadores de Preços.** Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/acucar/#>>. Acesso em: 2 maio. 2014.

CHABREGAS, S. M. Variedades transgênicas de cana-de-açúcar. **Revista Opiniões**, p. 68, 2012.

CHUM, H. L. et al. A comparison of commercial ethanol production systems from Brazilian sugarcane and US corn. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 8, n. 2, pp. 205–223, 2014.

CONTESTABILE, M. et al. Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner? **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 10, p. 3754, 27 set. 2011.

CTBE. **Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol.** Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/index.php>>. Acesso em: 6 maio. 2014.

CTC. **Centro de Tecnologia Canavieira. Censo Varietal e de Produtividade em 2011.** Piracicaba: [s.n.]. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf>.

CTC. **Centro de Tecnologia Canavieira.** Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/nossahistoria.html>>. Acesso em: 7 fev. 2013.

DAGNINO, R. P. **Ciência e Tecnologia no Brasil: O processo decisório e a comunidade de pesquisa.** Campinas: Editora Unicamp, 2007. pp. 1–215

DAHLMAN, C. J.; FRISCHTAK, C. R. National systems supporting technical advance in industry: the Brazilian experience. In: NELSON, R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University, 1993. pp. 76–114.

DAVIS, G. W.; HOFF, C. J.; RATCLIFF, M. A. **Legacy Vehicle Fuel System Testing with Intermediate Ethanol Blends**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53606.pdf>>.

DE FREITAS, L. C.; KANEKO, S. Is there a causal relation between ethanol innovation and the market characteristics of fuels in Brazil? **Ecological Economics**, v. 74, pp. 161–168, fev. 2012.

DE NEGRI, F. et al. **Perfil das empresas integradas ao sistema federal de CT&I no Brasil e aos fundos setoriais: uma análise exploratória. (Projeto Metodologia de Avaliação dos Resultados de Conjuntos de Projetos Apoiados por Fundos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I))**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0221/221093.pdf>.

DE NEGRI, F. Elementos para a análise da baixa inovatividade brasileira e o papel das políticas públicas. **Revista USP**, v. 93, pp. 81–100, 2012.

DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. Sistemas de inovação e infraestrutura de pesquisa: considerações sobre o caso brasileiro. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, v. 24, pp. 7–18, 2013.

DEL RÍO, P.; BLEDA, M. Comparing the innovation effects of support schemes for renewable electricity technologies: A function of innovation approach. **Energy Policy**, v. 50, pp. 272–282, nov. 2012.

DEMATTE, J. L. I. Variedades de cana estão devendo. **Idea News - Cana & Indústria**, n. 41, pp. 16–24, 2012.

DIETZEN, M. **Commercialization of Cellulosic Biofuels From Waste** FEW Conference. **Anais...St. Louis: 2013** Disponível em: <http://www.fueethanolworkshop.com/files/docs/2013/Dietzen_Mark.pdf>

DUDDY, B. **E85 Fuel Economy Study**, 2011. Disponível em: <[http://www.ffv-awareness.org/research/PDFs/BrianDuddy\(RIT\)1-11-11.pdf](http://www.ffv-awareness.org/research/PDFs/BrianDuddy(RIT)1-11-11.pdf)>

DUNHAM, F. B. **Co-evolução da mudança tecnológica e institucional em sistemas de inovação: análise histórica da indústria de álcool combustível no Brasil**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

DYKSTRA, D.; HARTSOUGH, B.; STOKES, B. **Updating FRCS , the Fuel Reduction Cost Simulator, for National Biomass Assessments** 32nd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering. **Anais...Davis, California: University of California, 2009** Disponível em: <http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2009_dykstra001.pdf>

EDENIQ. **Edeniq - ABOUT > Finalidade**. Disponível em: <<http://br.edeniq.com/page/purpose>>. Acesso em: 3 jul. 2014.

EDQUIST, C. Systems of Innovation Approaches - Their Emergence and Characteristics. In: EDQUIST, C. (Ed.). **System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**. New York: Routledge, 1997. p. 1–35.

EDQUIST, C.; JOHNSON, B. Institutions and Organizations in Systems of Innovation. In: EDQUIST, C. (Ed.). **System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**. London: Routledge, 1997. pp. 41–63.

ELDER, T.; GROOM, L. H. Pilot-scale gasification of woody biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 8, pp. 3522–3528, ago. 2011.

ENSYN. **Ensyn and Fibria establish strategic alliance: Fibria to invest US\$ 20 MM in Ensyn Corporation**. Disponível em: <<http://www.ensyn.com/2012/10/02/ensyn-and-fibria-establish-strategic-alliance-fibria-to-invest-us-20-mm-in-ensyn-corporation/>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

ESSER, K. Competitividade internacional de las empresas y políticas requeridas I Competitividade internacional : nuevos requerimientos. 1994.

ESSER, K.; HILLEBRAND, W.; MESSNER, D. Competitividade sistêmica : Nuevo desafío a las empresas y a la política. **Revista de la Cepal**, v. 59, n. 59, pp. 1–22, 1996.

ETZKOWITZ H. Academic-industry relations: A sociological paradigm for economic development. In: LEYDESDORFF, L.; VAN DEN BESSLAAR, P. (Eds.). **Evolutionary economics and chaos theory: New directions in technology studies**. London: Pinter Publishers, 1994. pp. 139–151.

ETZKOWITZ, H. et al. The future of the university and the university of the future: evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. **Research Policy**, v. 29, n. 2, pp. 313 – 330, 2000.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations. **Research Policy**, v. 29, n. 2, pp. 109 – 123, 2000.

FAPESP. **BIOEN-FAPESP**. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/programas/bioen/>>. Acesso em: 19 maio. 2014.

FARINA, E. **Perspectivas atuais para o setor sucroalcooleiro** Brasília, 2013.

FARINA, E. **Como avançar com a bioeletricidade** 1º de Abril: Dia da Verdade sobre a Bioeletricidade. **Anais...**Brasília: 2014

FIGLIOLINO, A. E. **Panorama do Setor de Açúcar e Alcool** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Acucar_e_alcool/21RO/App_Itau_A%C3%A7%C3%BAcar.pdf>

FOODY, B. Entrevista. **Revista Raizen**, pp. 20, 2013.

FRAIDL, G. **Market & Technology Trends – Passenger Car Powertrain** AVL Fuel efficiency Seminar. **Anais...**2013

FREELAND, P. **Technologies for the Next Generation of Downsized SI Engines** Technologies for the Next Generation of Downsized SI Engines. **Anais...**2013

FREEMAN, C. **Technology Policy and Economic Performance: lessons from Japan**. London: Pinter Publishers, 1987.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, pp. 156–166, jan. 2011.

GENERAL MOTORS; LBST. **GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study**. [s.l: s.n.].

GODOY, A. **Tecnologias de Fermentação para Sorgo Sacarino** Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino. **Anais...**Piracicaba: 2012

GOMES, F. **Finlandesa Metso mira no etanol de 2a geração no Brasil**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php/index.php?item=noticias&cod=1105122#nc>>. Acesso em: 13 maio. 2014.

GRANBIO. **Website**. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/>>. Acesso em: 13 maio. 2014.

GUIMARÃES, R. Bases para uma política nacional de ciência, tecnologia e inovação em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 2, pp. 375–387, jun. 2004.

GURGEL, M. DO A. **Corte, Carregamento e Transporte do Sorgo Sacarino** Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino. **Anais...**Piracicaba: 2012

HEKKERT, M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 4, pp. 413–432, 2007.

HEKKERT, M. P.; HARMSSEN, R.; DE JONG, A. Explaining the rapid diffusion of Dutch cogeneration by innovation system functioning. **Energy Policy**, v. 35, n. 9, pp. 4677–4687, set. 2007.

HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 4, pp. 584–594, 2009.

HESS, J. R. et al. **Commodity-Scale Production of an Infrastructure-Compatible Bulk Solid from Herbaceous Lignocellulosic Biomass**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <file:///C:/Users/Luciano/Downloads/EXT-09-17527_Complete_Report.pdf>.

HETTINGA, W. G. **Technological learning in U.S. ethanol production**. [s.l.] ETA-Renewable Energies, 7 maio 2007.

HETTINGA, W. G. et al. Understanding the reductions in US corn ethanol production costs: An experience curve approach. **Energy Policy**, v. 37, n. 1, pp. 190–203, jan. 2009.

HILL, K. **DuPont Cellulosic Ethanol : Sustainable, Economic, Farm-to-Fuel Solutions** Fuel Ethanol Workshop. Anais...St. Louis: 2013Disponível em: <http://www.fuelethanolworkshop.com/files/docs/2013/Hill_Ken.pdf>

HILLMAN, K. M. et al. Cumulative causation in biofuels development: a critical comparison of the Netherlands and Sweden. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 20, n. 5, pp. 593 – 612, 2008.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 46, pp. 16569–72, 15 nov. 2005.

IEA. **International Energy Agency. Transport, Energy and CO2 - Moving Towards Sustainability.** Paris: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>.

IEA. **International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook (WEO) 2012.** [s.l: s.n.].

IEA. **International Energy Agency - World Energy Outlook.** [s.l: s.n.].

IEA. **International Energy Agency. RD&D Online Data Service.** Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/RDDonlinedataservice/>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

INBICON. **Odebrecht Agroindustrial in Brazil.** Disponível em: <http://www.inbicon.com/global_solutions/pages/odebrecht_agroindustrial_in_brazil.aspx>. Acesso em: 13 maio. 2014.

INCE, P. J.; BILEK, E. M.; DIETENBERGER, M. A. **Modeling Integrated Biomass Gasification Business Concepts.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl_rp660.pdf?>.

INEE. **Instituto Nacional de Eficiência Energética. Uso Eficiente do Etanol Hidratado.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Proposta_Efic_Etanol_5_fev_14.pdf>.

INEOS. **INEOS Bio Produces Cellulosic Ethanol at Commercial Scale.** Disponível em: <<http://www.ineos.com/businesses/ineos-bio/news/ineos-bio-produces-cellulosic-ethanol/>>. Acesso em: 6 ago. 2014.

INL. **Idaho National Laboratory. Workshop highlights new resource, goals for developing biomass into tradable commodity.** Disponível em: <https://inlportal.inl.gov/portal/server.pt?open=514&objID=1269&mode=2&featurestory=D_A_582285>. Acesso em: 9 jun. 2014.

INVESTESP. **Planta de Bioprodutos Renováveis da Solazyme Bunge inicia produção comercial no Brasil.** Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/noticia/planta-de-bioprodutos-renovaveis-da-solazyme-bunge-inicia-producao-comercial-no-brasil/>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

JACOBSSON, S. The emergence and troubled growth of a “biopower” innovation system in Sweden. **Energy Policy**, v. 36, n. 4, pp. 1491–1508, abr. 2008.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Energy Technology. In: JACOB, K.; BINDER, M.; WIECZOREK, A. (Eds.). **Governance for Industrial Transformation**. [s.l: s.n.]. pp. 208–236.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, pp. 41–57, jun. 2011.

JANG, H.; DU, X. Price- and Policy-Induced Innovations: The Case of U.S. Biofuel. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 38, n. 3, pp. 299–311, 2013.

JONES, B. D. Bounded Rationality. **Annual Review of Political Science**, v. 2, n. 1, p. 297–321, jun. 1999.

JONES, G. et al. Forest treatment residues for thermal energy compared with disposal by onsite burning: Emissions and energy return. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, pp. 737–746, maio 2010.

JRC. **European Commission Joint Research Centre. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT_Report_010307.pdf>.

JÚNIOR, A. M. A. et al. **Análise da evolução das principais empresas transnacionais de máquinas e implementos agrícolas: Estudos de casos e Tendências** Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais...2010** Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/15/1083.pdf>>

KATZ, J. A dinâmica do aprendizado tecnológico no período de substituição das importações e as recentes mudanças estruturais no setor industrial da Argentina, do Brasil e do México. In: KIM, L.; NELSON, R. (Eds.). **Tecnologia, aprendizado e inovação**. Campinas: Unicamp, 2005.

KESAN, J. P.; SLATING, T. A.; YANG, H.-S. The Effects of the Renewable Fuel Standard (RFS) on the Production of Fuel Ethanol in the U.S. **SSRN Electronic Journal**, 17 set. 2013.

KLINE, S. J.; ROSEMBERG, N. An overview on innovation. In: LANDAU, R.; ROSEMBERG, N. (Eds.). **The Positive Sum Strategy**. Washington: National Academy of Press, 1986.

KNOLL, K. et al. **Effects of Intermediate Ethanol Blends on Legacy Vehicles and Small Non-Road Engines**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/43543.pdf>>.

KOELLER, P.; CASSIOLATO, J. E. Achievements and Shortcomings of Brazil’s Innovation Policies. In: CASSIOLATO, J. E.; VITORINO, V. (Eds.). **BRICS and Development**

Alternatives - Innovation Systems and Policies. 1. ed. London: Anthem Press, 2011. pp. 35–71.

KUBOTA, L. C.; NOGUEIRA, M. O.; MILANI, D. N. **Avaliação dos fundos setoriais: CT-Info.** Brasília: [s.n.].

KUHLMANN, S. Lógicas e evolução de políticas públicas de pesquisa e inovação no contexto da avaliação. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Ed.). **Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: Diálogo entre experiências internacionais e brasileiras.** Brasília: [s.n.]. pp. 45–73.

LANE, J. **Brazil's GranBio to expand to US, invests in American Process : Biofuels Digest.** Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/04/16/brazils-granbio-to-expand-to-us-invests-in-american-process/>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

LANE, J. **American Process sells the first woody biomass cellulosic ethanol RINS.** Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/04/21/american-process-sells-the-first-woody-biomass-cellulosic-ethanol-rins/>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

LASER, M.; LYND, L. R. Comparative efficiency and driving range of light- and heavy-duty vehicles powered with biomass energy stored in liquid fuels or batteries. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 9, pp. 3360–4, 4 mar. 2014.

LBL. **Lawrence Berkeley National Laboratory. Advanced Biofuels Process Demonstration Unit.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://abpdu.lbl.gov/assets/docs/ABPDU_Brochure.pdf>.

LEE, T.-K. et al. Battery power management in heavy-duty HEVs based on the estimated critical surface charge. **International Journal of Vehicle Design**, v. 61, n. 1, pp. 108–127, 2013.

LESSA, V. Indústrias de MT devem produzir 30 milhões de litros de etanol de milho. **G1 Agrodebate**, 11 mar. 2014.

LORENTZEN, J. Resource Based Industries Lateral Migration in Resource-Intensive Economies Technological Learning and Industrial Policy. **Human Science Research Council**, 2006.

LORENTZEN, J. Knowledge intensification in resource-based economies. In: LORENTZEN, J. (Ed.). **Resource intensity knowledge and development: insights from Africa and South America.** Cape Town: HSRC Press, 2008. pp. 1–48.

LUNDVALL, B. A. **National Systems of Innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning.** London: Pinter Publishers, 1992.

LUNDVALL, B. A.; JOHNSON, B. The learning economy. **Journal of Industry Studies**, pp. 23–42, 1994.

MACULAN, A.-M. A importância das interações para a inovação e a busca por indicadores. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Ed.). **Bases conceituais em pesquisa, desenvolvimento e inovação: Implicações para políticas no Brasil**. Brasília: [s.n.]. pp. 165–186.

MAGACHO, G. R. **A indústria de bens de capital no Brasil: restrição externa e dependência tecnológica no ciclo de crescimento recente**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2012.

MAHONEY, J.; THELEN, K. A Theory of Gradual Institutional Change. In: MAHONEY, J.; THELEN, K. (Eds.). **Explaining Institutional Change: Ambiguity, Agency, and Power**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. pp. 1–37.

MALERBA, F. **Sectoral systems of innovation and production** TSER ESSY Project (sectoral systems in Europe: innovation, competitiveness and growth) - DRUID Conference. **Anais...**1999

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, pp. 247–264, 2002.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation: basic concepts. In: MALERBA, F. (Ed.). **Sectoral Systems of Innovation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. pp. 9–41.

MANZER, L. E. The role of startup companies in the conversion of biomass to renewable fuels and chemicals. In: BEHRENS, M.; DATYE, A. K. (Eds.). **Catalysis for the Conversion of Biomass and Its Derivatives**. [s.l: s.n.]. p. 43–.

MARANHÃO, M. G. **Pauta sugestiva para o desenvolvimento de proposta técnica visando a formação de programa de recuperação do setor sucroenergético do Nordeste** COMITÊ TÉCNICO INTERINSTITUCIONAL PARA RECUPERAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO DO NORDESTE. **Anais...**Recife: 2014

MARINI, C.; MARTINS, H. **Um governo matricial: estruturas em rede para geração de resultados de desenvolvimento** CLAD. (IX Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la administración Pública). **Anais...**2004

MATE, J.; LU, M. **The Brazilian Biojetfuel Platform**. [s.l: s.n.].

MCKINSEY; EU POWERTRAIN COALITION. **A portfolio of power-trains for Europe: A fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/documents/Power_trains_for_Europe.pdf>.

METCALFE, S. The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives. In: STONEMAN, P. (Ed.). **Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change**. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.

MIZUTANI, P. I. **Etanol 2G** Seminário de etanol 2G - Valor Econômico. **Anais...**2013 Disponível em: <http://www.valor.com.br/sites/default/files/pedro_mizutani.pdf>

MOORE, P. H. **Sugarcane Biology, Yield and Potential for Improvement** Workshop BIOEN sobre melhoramento de cana-de-açúcar. **Anais...**São Paulo: 2009 Disponível em: <http://www.fapesp.br/pdf/bioen1803/Bioen_Moore.pdf>

MOORE, W.; FOSTER, M.; HOYER, K. Engine Efficiency Improvements Enabled by Ethanol Fuel Blends in a GDi VVA Flex Fuel Engine. **SAE**, abr. 2011.

NASSAR, M.; MOREIRA, M. Burocracia faz bioquerosene testado no Brasil ter de ser importado. **O Estado de São Paulo**, pp. 1–3, 2 jul. 2014.

NASTARI, P. **Viabilizando o crescimento: medidas de longo prazo para o setor sucroenergético** Ethanol Summit. **Anais...**São Paulo: 2013 Disponível em: <<http://www.ethanolsummit.com.br/arquivos/apresentacoes-dia-27/politicas-publicas/plinio-nastari.pdf>>

NEGRO, S. O. **Dynamics of Technological Innovation Systems : The case of biomass energy** **Netherlands Geographical Studies** Utrecht University, , 16 fev. 2007. Disponível em: <<http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/19778>>. Acesso em: 7 jul. 2014

NEGRO, S. O.; ALKEMADE, F.; HEKKERT, M. P. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, pp. 3836–3846, ago. 2012.

NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P.; SMITS, R. E. H. M. Stimulating renewable energy technologies by innovation policy. **Science and Public Policy**, v. 35, n. 6, pp. 403–416, 1 jul. 2008.

NEITEC. **Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos - UFRJ. Gevo divulga resultados do 4T13**. Disponível em: <<http://neitec.com/energias-renovaveis/gevo-divulga-resultados-do-4t13/>>. Acesso em: 7 abr. 2014.

NELSON, R. R. The simple economics of basic scientific research. **Journal of Political Economy**, v. 67, n. 3, pp. 297–306, 1959.

NELSON, R. R. **National Innovation Systems: A Comparative Analysis**. New York: Oxford University Press, USA, 1993.

NELSON, R. R. What enables rapid economic progress: What are the needed institutions? **Research Policy**, v. 37, n. 1, pp. 1–11, fev. 2008.

NELSON, R. R.; ROSENBERG, N. Technical innovation and national systems. In: NELSON, R. R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University Press, USA, 1993.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. Mapeamento da Cadeia Sucroenergética. In: SOUSA, E. L.; MACEDO, I. DE C. (Eds.). **Etanol e Bioeletricidade - A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: [s.n.].

NHA. **National Hydrogen Association. The Energy Evolution: An Analysis of Alternative Vehicles and Fuels to 2100**. Washington: [s.n.].

NIELSEN, S. **GranBio Buys Into American Process, Plans Brazil Chemical Plant**. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/2013-04-16/granbio-buys-into-american-process-plans-brazil-chemical-plant.html>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

NIGRO, F. E. B. **Cenários 2020 : A Evolução da Tecnologia Flex Ethanol Summit**. Novas fronteiras do etanol - os desafios da energia no século 21. **Anais...**São Paulo: 2013a

NIGRO, F. E. B. **Flex Otimizado para Etanol** Uso Eficiente do Etanol Veicular no Brasil. **Anais...**São Paulo: Instituto Nacional de Eficiência Energética, 2013b Disponível em: <http://www.inee.org.br/etanolveicular/downloads/Francisco_Nigro_USP.pdf>

NISSAN. **Variable Compression Ratio Piston-Crank System**. Disponível em: <<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vcr.html>>. Acesso em: 20 maio. 2014.

NOVA CANA. **Raízen já ergue usina de etanol de 2ª geração**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/raizen-usina-etanol-geracao-070113/>>. Acesso em: 15 maio. 2014.

NREL. **National Renewable Energy Laboratory. Biofuels for Advancing America**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.nabcprojects.org/pdfs/47515.pdf>>.

NREL. **National Renewable Energy Laboratory. Biomass Research - Integrated Biorefinery Research Facility**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/biomass/integrated_biorefinery_research_facility.html>. Acesso em: 11 jun. 2014.

NREL. **National Renewable Energy Laboratory. Biomass Research - National Bioenergy Center**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/biomass/national_bioenergy.html>. Acesso em: 17 jun. 2014.

NUNES, M. **Odebrecht Agroindustrial 1st IDB/BNDES Workshop on Financing Biofuels Investments in Latin America and Caribbean**. **Anais...**Washington: 2014. Disponível em: <<http://events.iadb.org/calendar/eventDetail.aspx?lang=en&id=4547&SP=Y>>

NYKO, D. et al. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. **BNDES Setorial**, v. 32, pp. 5–48, 2010.

NYKO, D. et al. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético : estagnação passageira ou crise estrutural ? **BNDES Setorial**, n. 37, pp. 399–442, 2013a.

NYKO, D. et al. Planos de fomento estruturado podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial ? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados. **BNDES Setorial**, v. 38, p. 55–78, 2013b.

OECD. **Managing National Innovation Systems**. Paris: [s.n.].

OECD. **Innovation in the knowledge-based economy**, 2004. Disponível em: <www.oecd.org>

ONU. **Organização das Nações Unidas. UNdata.** Disponível em: <<http://data.un.org/Default.aspx>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

PACHECO, C. A. **Políticas públicas, intereses y articulación política: cómo se gestaron las recientes reformas al sistema de ciencia y tecnología en Brasil.** Santiago do Chile: [s.n.]. Disponível em: <www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/20848/sps103_lcl2251>.

PASIN, R. M.; NEVES, M. F. Fusões, aquisições e internacionalização da agroindústria sucro-alcooleira. **FEA - Ribeirão Preto**, pp. 1–9, 2002.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, pp. 343–373, 1984.

PERACELI, C. O. **Desenvolvimento do uso do sorgo sacarino como complemento à cultura canvieira.** Workshop Internacional Agro-industrial sobre Sorgo Sacarino. **Anais...**Piracicaba: 2012

PEREIRA, M. C. et al. **A expansão da cadeia sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul.** Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais...**Londrina: 2007. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/6/965.pdf>>

PETERS, M. et al. The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change – Does the locus of policies matter? **Research Policy**, v. 41, n. 8, pp. 1296–1308, out. 2012.

PETROBRAS. **Etanol: um salto para o futuro.** Disponível em: <<http://www.petrobras.com/pt/magazine/post/detalhe-18.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

PINHEIRO NETO, L. F.; BRAGA JÚNIOR, S. A. DE M. A CIDE combustíveis como instrumento de intervenção na ordem econômica e de proteção do Meio Ambiente. **Publica Direito**, 2013.

POET; DSM. **Project Liberty - POET-DSM Advanced Biofuels.** Disponível em: <<http://poet-dsm.com/liberty>>. Acesso em: 6 ago. 2014.

PRAETORIUS, B. et al. Technological innovation systems for microgeneration in the UK and Germany – a functional analysis. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 22, n. 6, pp. 745–764, ago. 2010.

PROCANA BRASIL. **Anuário.** [s.l: s.n.].

RAPINI, M. S. Interação universidade-empresa no Brasil: evidências do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 37, n. 1, pp. 211–233, mar. 2007.

RFA. **Renewable Fuel Association. Ethanol Industry Outlook 2014.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.ethanolrfa.org/page/-/rfa-association-site/Resource Center/2014 Ethanol Industry Outlook.pdf?nocdn=1](http://www.ethanolrfa.org/page/-/rfa-association-site/Resource%20Center/2014%20Ethanol%20Industry%20Outlook.pdf?nocdn=1)>.

RFA. **Renewable Fuels Association. Protecting the Monopoly - How Big Oil Covertly Blocks the Sale of Renewable Fuels.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.ethanolrfa.org/page/-/Protecting the Monopoly.pdf?nocdn=1](http://www.ethanolrfa.org/page/-/Protecting%20the%20Monopoly.pdf?nocdn=1)>.

RIDESA. **Histórico.** Disponível em: <<http://www.ridesa.agro.ufg.br/pages/38059-historico>>. Acesso em: 28 maio. 2014.

ROSENBERG, N. Learning by using. In: **Inside the Black Box.** [s.l.] Cambridge University Press, 1982. pp. 120–140.

SABATIER, P. A.; WEIBLE, C. M. The Advocacy Coalition Framework: Innovations and Clarifications. In: SABATIER, P. A. (Ed.). **Theories of the Policy Process.** 2. ed. Boulder: Westview Press, 2007. pp. 189–220.

SAFARIANOVA, S. et al. **Techno-Economic Analysis of Low-GHG Emission Light, Medium and Heavy Duty Vehicles.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201204/20120406_000322_59665_TOSCA_WP1_Truck.pdf>.

SANTOS, M. T. B. **Condicionantes para inserção de gestão do conhecimento nos processos de controle interno: caso de uma agência de fomento à ciência, tecnologia e inovação.** [s.l.] Universidade Católica de Brasília, 2012.

SCHILL, S. R. **Western Biomass up for sale; Blue Sugars files bankruptcy.** Disponível em: <<http://ethanolproducer.com/articles/9872/western-biomass-up-for-sale-blue-sugars-files-bankruptcypdf>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico. Uma Investigação sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro e o Ciclo Econômico.** São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997.

SCHWARTZMAN, S. Pesquisa universitária e inovação no Brasil. In: CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Ed.). **Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: Diálogo entre experiências internacionais e brasileiras.** Brasília: [s.n.]. pp. 19–43.

SEARCY, E. M.; HESS, J. R. Uniform-Format Feedstock Supply System : A Commodity-Scale Design to Produce an Infrastructure-Compatible Biocrude from Lignocellulosic Biomass. n. September, 2010.

SIQUEIRA, P. H. L.; CASTRO JUNIOR, L. G. Fusões e aquisições das unidades produtivas e da agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil e nas distribuidoras de álcool hidratado etílico. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 709–735, 2010.

SMITH, K. **Innovation indicators and the knowledge economy: concepts, results and policy challenges.** Oslo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www3.istat.it/istat/eventi/conferenze/quintaconf/smith.pdf>>.

SOLECKI, M.; SCODEL, A.; EPSTEIN, B. **Advanced Biofuel Market Report 2013 - Capacity through 2016**. San Francisco: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.e2.org/ext/doc/E2AdvancedBiofuelMarketReport2013.pdf>>.

SOUSA, L. C.; CARVALHO, E. B. DE. Biocombustíveis no Brasil: mudanças institucionais, competitividade e governança federal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 4, n. 1, p. 69, 14 ago. 2013.

STREECK, W.; THELEN, K. Introduction: Institutional Change in Advanced Political Economies. In: STREECK, W.; THELEN, K. (Eds.). **Beyond Continuity: Institutional Change in Advanced Political Economies**. Oxford: Oxford University Press, 2005. pp. 1–39.

SUH, B. et al. Powertrain system optimization for a heavy-duty hybrid electric bus. **International Journal of Automotive Technology**, v. 12, n. 1, pp. 131–139, 5 fev. 2011.

SUN GRANT. **Sun Grant Initiative**. Disponível em: <<http://www.sungrant.org/About/>>. Acesso em: 5 jun. 2014.

SUURS, R. A. A.; HEKKERT, M. P. Competition between first and second generation technologies: Lessons from the formation of a biofuels innovation system in the Netherlands. **Energy**, v. 34, n. 5, pp. 669–679, 2009.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Instituições e políticas industriais e tecnológicas: reflexões a partir da experiência brasileira. **Estudos Avançados**, v. 40, n. 1, pp. 7–41, mar. 2010.

SWCS. **Soil and Water Conservation Society. Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions**. Sustainable Feedstocks for Advanced Biofuels. **Anais...2010**. Disponível em: <http://www.swcs.org/documents/resources/1_All_Chapters__Sustainable_Feedsto_8A410A56233E6.pdf>

THE DAILY CLIMATE. **Ethanol's next generation powers up amid resistance**. Disponível em: <<http://www.dailyclimate.org/tdc-newsroom/2014/09/cellulosic-biofuel>>. Acesso em: 15 set. 2014.

THELEN, K. Historical institutionalism in comparative politics. **Annual Review of Political Science**, v. 2, n. 1, pp. 369–404, 1 jun. 1999.

TOMANIK, E. **Ethanol as future fuel for optimized combustion engines** 1st Brazilian BioEnergy Science and Technology Conference - BBEST. **Anais...Campos de Jordão: 2011**

TYNER, W. E. The US Ethanol and Biofuels Boom: Its Origins, Current Status, and Future Prospects. **BioScience**, v. 58, n. 7, p. 646, 1 jul. 2008.

TYNER, W. E.; QUEAR, J. Comparison of a Fixed and Variable Corn Ethanol Subsidy. **Choices**, v. 21, n. 3, pp. 199–202, 2006.

U. S. CENSUS BUREAU. **Industry Statistics Portal: NAICS**. Disponível em: <<http://www.census.gov/econ/isp/sampler.php?naicscode=4471&naicslevel=4>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. DOE Selects Biofuels Projects to Receive up to \$21 Million in Funding**. Disponível em: <<http://energy.gov/articles/doe-selects-biofuels-projects-receive-21-million-funding>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. National Algal Biofuels Technology Roadmap**. National Algal Biofuels Workshop. **Anais...2010a** Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/algal_biofuels_roadmap.pdf>

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Report to Congress - Dedicated Ethanol Pipeline Feasibility Study**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/report_to_congress_ethanol_pipeline.pdf>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Report on the First Quadrennial Technology Review**. Washington: [s.n.].

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. 2011. U.S. Billion-Ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry**. Oak Ridge: [s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/billion_ton_update.pdf>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Transforming the future of energy and the environment - Energy Frontier Research Centers**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://science.energy.gov/~media/bes/efrc/pdf/EFRC_Brochure_05132011.pdf>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Biomass Multi-Year Program Plan**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/mypp_nov_2011_cover_exec.pdf>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Project LIBERTY**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/ibr_commercial_poet.pdf>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Bioenergy Technologies Office. Algal Biofuels FactSheet**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/algal_biofuels_factsheet.pdf>.

U. S. DOE. **U. S. Department of Energy. KNOWLEDGE DISCOVERY FRAMEWORK - KDF Factsheet**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/kdf_fact_sheet.pdf>.

U. S. DOE. **Expired, Repealed, and Archived Federal Incentives and Laws**. Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/law/US/399>>. Acesso em: 13 jun. 2014c.

U. S. DOE. **Alternative Fuels Data Center: Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC)**. Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/law/US/399>>. Acesso em: 12 jun. 2014d.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center: Alternative Fuel and Advanced Vehicle Technology Research and Demonstration Bonds.** Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/law/US/399>>. Acesso em: 13 jun. 2014e.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center: Alternative Fuel Tax Exemption.** Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/law/US/397>>. Acesso em: 13 jun. 2014f.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center: Biobased Transportation Research Funding.** Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/law/US/382>>. Acesso em: 13 jun. 2014g.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Bioenergy Research Centers, DOE/SC-0162.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.genomicscience.energy.gov/centers/BRCs2014LR.pdf>>.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Biofuel Infrastructure, Logistics, and Transportation (BILT) Model.** Disponível em: <<https://bioenergykdf.net/models/bilt-model>>. Acesso em: 12 jun. 2014b.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. National Laboratories.** Disponível em: <<http://energy.gov/maps/doe-national-laboratories>>. Acesso em: 16 jun. 2014c.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. About the Bioenergy Technologies Office.** Disponível em: <http://www.nrel.gov/biomass/national_bioenergy.html>. Acesso em: 17 jun. 2014d.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. Office of EERE: EERE Budget Formulation.** Disponível em: <http://www4.eere.energy.gov/office_eere/program_budget_formulation.php>. Acesso em: 17 jun. 2014e.

U. S. DOE. **U.S. Department of Energy. ATVM Loan Program.** Disponível em: <<http://energy.gov/lpo/services/atvm-loan-program>>. Acesso em: 13 jun. 2014f.

U. S. EIA. **U. S. Energy Information Administration. Biofuels Issues and Trends.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.eia.gov/biofuels/issuestrends/pdf/bit.pdf>>.

U. S. EIA. **U. S. Energy Information Administration. E85 motor fuel is increasingly price-competitive with gasoline in parts of the Midwest - Today in Energy.** Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=13031>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

U. S. EIA. **U. S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2014.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2014).pdf)>.

U. S. EPA. **U. S. Environmental Protection Agency. Biofuels and the Environment: the First Triennial Report to Congress.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <[file:///C:/Users/Luciano/Downloads/BIOFUELS REPORT TO CONGRESS FINAL DEC 2011.PDF](file:///C:/Users/Luciano/Downloads/BIOFUELS%20REPORT%20TO%20CONGRESS%20FINAL%20DEC%202011.PDF)>.

U. S. EPA. **U. S. Environmental Protection Agency. Renewable Fuel Standard (RFS)**, 15 nov. 2013. Disponível em: <<http://www.epa.gov/OTAQ/fuels/renewablefuels/>>. Acesso em: 3 jun. 2014

U. S. ERS. **USDA Economic Research Service - Home**. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/>>. Acesso em: 24 set. 2014.

U. S. NAVY; U. S. DOE; U. S. USDA. **Memorandum of Understanding between the Department of the Navy and the Department of Energy and the Department of Agriculture**, 2011. Disponível em: <<http://www.rurdev.usda.gov/SupportDocuments/DPASignedMOUEnergyNavyUSDA.pdf>>

U. S. USPTO. **U.S. Patent and Trademark Office. Extended Year Set - Utility Patents By Country, State, and Year (December 2013)**. Disponível em: <http://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/cst_utlh.htm>. Acesso em: 13 abr. 2014.

U.S. BR&D. **U. S. Biomass Research & Development. Increasing Feedstock Production for Biofuels Economic Drivers, Environmental Implications, and the Role of Research**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://biomassboard.gov/pdfs/increasing_feedstock_revised.pdf>.

U.S. BR&D. **U. S. Biomass Research & Development. Biomass Research and Development Initiative**. Washington: [s.n.]. Disponível em: <http://www.usda.gov/documents/USDA_Biofuels_Report_6232010.pdf>.

U.S. BR&D. **U. S. Biomass Research & Development. National Biofuels Action Plan 2012**. Washington: [s.n.].

U.S. BR&D. **U. S. Biomass Research & Development. Biomass Research and Development Initiative**. Disponível em: <<http://www.biomassboard.gov/initiative/initiative.html>>. Acesso em: 6 jun. 2014b.

U.S. DOT. **U.S. Department of Transportation. Transportation's Role in Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://ntl.bts.gov/lib/32000/32700/32779/DOT_Climate_Change_Report_-_April_2010_-_Volume_1_and_2.pdf>.

U.S. EIA. **U.S. Energy Information Administration. Monthly Energy Review - May 2014**. Washington: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/#renewable>>. Acesso em: 4 jun. 2014a.

U.S. EIA. **U.S. Energy Information Administration. Biofuels production drives growth in overall biomass energy use over past decade - Today in Energy**. Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15451>>. Acesso em: 4 jun. 2014b.

U.S. USDA; U.S. DOT. **U.S. Department of Agriculture; U. S. Department of Transportation. Biofuels Transportation**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5084088>>.

U.S. WHITE HOUSE. **Growing America's Fuel** Washington, 2010. Disponível em: <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/growing_americas_fuels.PDF>

UDOP. **Cana-de-açúcar: Linha do tempo.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?cod=75181&item=noticias#nc>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

UNRUH, G. C. Understanding carbon lock-in. **Energy Policy**, v. 28, n. 12, pp. 817–830, out. 2000.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. BIOMASS RESEARCH CENTERS - ARS BACKGROUND.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Program/213/5 USDA Center Brief External\[1\].pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Program/213/5%20USDA%20Center%20Brief%20External[1].pdf)>.

USDA. **USDA Announces Partnerships in Hawaii to Help Navy Achieve its Biofuel and Other Renewable Energy Goals | USDA Newsroom.** Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?contentid=2010/04/0174.xml&contentidonly=true>>. Acesso em: 11 jun. 2014b.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. Feedstock Flexibility Program for Bioenergy Producers.** Disponível em: <<http://www.fsa.usda.gov/FSA/webapp?area=home&subject=ener&topic=ffpb>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

USDA. **U. S. Department of Agriculture. BCAP - Biomass Crop Assistance Program. Energy Feedstocks from farmers and foresters.** Washington: [s.n.]. Disponível em: <http://fsa.usda.gov/Internet/FSA_File/bcap_documentation.pdf>.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. Repowering Assistance Program.** Disponível em: <http://www.rurdev.usda.gov/BCP_RepoweringAssistance.html>. Acesso em: 13 jun. 2014b.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. Advanced Biofuel Payment Program.** Disponível em: <http://www.rurdev.usda.gov/BCP_Biofuels.html>. Acesso em: 13 jun. 2014c.

USDA. **U. S. Department of Agriculture Annual Report on Technology Transfer.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/01090000/FY13_TT Ann Rpt .pdf](https://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/01090000/FY13_TT%20Ann%20Rpt.pdf)>.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program.** Disponível em: <http://www.rurdev.usda.gov/BCP_Biorefinery.html>. Acesso em: 13 jun. 2014b.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. Biomass Crop Assistance Program.** Disponível em: <<http://www.fsa.usda.gov/FSA/webapp?area=home&subject=ener&topic=bcap>>. Acesso em: 13 jun. 2014c.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. The Rural Energy for America Program.** Disponível em: <http://www.rurdev.usda.gov/BCP_Reap.html>. Acesso em: 13 jun. 2014d.

USDA. **U.S. Department of Agriculture. NIFA Grant Biodiesel Fuel Education.** Disponível em: <<http://www.nifa.usda.gov/fo/biodieselfueleducation.cfm>>. Acesso em: 13 jun. 2014e.

USDA; A4A; BOEING. **Agriculture and Aviation: Partners in Prosperity.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.usda.gov/documents/usda-farm-to-fly-report-jan-2012.pdf>>.

USDA; DOE. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy. **Sustainability of Biofuels: Research Opportunities.** 2009.

USDA; DOE. **U.S. Department of Agriculture and U.S. Departmente of Energy. Plant Feedstock Genomics for Bioenergy Plant.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.genomicscience.energy.gov/research/DOEUSDA/usda_doe_handout.pdf>.

VALENTE, M. S. et al. Bens de capital para o setor sucroenergético: a indústria está preparada para atender adequadamente a novo ciclo de investimentos em usinas de cana-de-açúcar? **BNDES Setorial**, v. 36, pp. 119–178, 2012.

VALOR ECONÔMICO. **Raízen busca produzir etanol celulósico com custo do convencional.** Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/3356978/raizen-busca-produzir-etanol-celulosico-com-custo-do-convencional>>. Acesso em: 15 maio. 2014.

VAN DEN WALL BAKE, J. D. **Cane as key in Brazilian ethanol industry.** [s.l.] Utrecht University, 2006.

VAN DEN WALL BAKE, J. D. et al. Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 4, pp. 644–658, abr. 2009.

VARRICHIO, P. C. **Uma análise dos condicionantes e oportunidades em cadeias produtivas baseadas em recursos naturais: o caso do setor sucroalcooleiro no Brasil.** [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2012.

VERGES, P. H. **Transição do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2013.

VERMULM, R.; PAULA, T. B. **A política tecnológica no Brasil e a experiência internacional.** São Paulo: [s.n.].

VETTORATO, J. L. **Lei de Inovação Tecnológica: Os aspectos legais da inovação no Brasil Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, 2008. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/revistadireito/article/view/7016>>. Acesso em: 11 abr. 2014

VIOTTI, E. B. Fundamentos e evolução dos indicadores de CT&I. In: VIOTTI, E. .; MACEDO, M. M. (Eds.). **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no Brasil.** Campinas: Unicamp, 2003.

VIOTTI, E. B. Brasil: de política de C&T para política de inovação? Evolução e desafios das políticas brasileiras de ciência, tecnologia e inovação. In: CENTRO DE GESTÃO E

ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Ed.). **Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: Diálogo entre experiências internacionais e brasileiras**. Brasília: [s.n.]. pp. 137–173.

WACLAWOVSKY, A. J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant biotechnology journal**, v. 8, n. 3, pp. 263–76, abr. 2010.

WEISS, C.; BONVILLIAN, W. B. **Structuring an Energy Technology Revolution**. [s.l.] The MIT Press, 2009.

WYMAN, C. E. Twenty years of trials, tribulations, and research progress in bioethanol technology: selected key events along the way. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 91-93, pp. 5–21, jan. 2001.

YACOBUCCI, B. D. **Biofuels Incentives: A Summary of Federal Programs**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.eoearth.org/files/169001_169100/169062/r40110.pdf>.

YAOYANG, X.; BOEING, W. J. Mapping biofuel field: A bibliometric evaluation of research output. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, pp. 82–91, dez. 2013.

YE, F.; PAULSON, N.; KHANNA, M. **Technology uncertainty and learning by doing in the cellulosic biofuel investment** Agricultural & Applied Economics Association's 2014 AAEA Annual Meeting. **Anais...**Minneapolis, MN: 2014

YILMAZ, H. et al. **Optimally Controlled Flexible Fuel Powertrain System**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1030647>>.

ANEXO I - HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS

1 BRASIL

Esta seção é um sumário do trabalho de Dunham (2009), principalmente dos capítulos Processo de estruturação do sistema de produção e inovação em etanol combustível e Análise indutiva e discussão da co-evolução entre a mudança institucional e a mudança tecnológica no Sistema de Produção e Inovação em Álcool Combustível - SPIAC. Neste capítulo, SPIAC e SPIS serão entendidos como sinônimos, bem como sucroalcooleira e sucroenergética. A análise realizada de forma separada por Dunham será mesclada por motivos de simplificação e adequação ao propósito deste trabalho.

A cana-de-açúcar, principal insumo do etanol, foi introduzida no Brasil a partir de uma determinação do rei de Portugal D. Manuel em 1516 (UDOP, 2007), no início da colonização do país e sempre teve papel relevante na economia brasileira. Dunham inicia sua análise no período de 1870, por entender que essa é a época em que se iniciam transformações técnicas ou institucionais mais significativas no setor.

1.1 Processo de modernização da indústria açucareira e a instalação dos engenhos centrais (1875 a 1900)

Devido a problemas de competitividade do açúcar brasileiro, um pequeno grupo de empresários pernambucanos iniciou o processo de modernização de suas atividades por meio da aquisição de novas máquinas e equipamentos na década de 1870. O decreto nº. 2.687/1875 determinou que empresários que quisessem estabelecer engenhos centrais de açúcar dedicados exclusivamente às atividades industriais de beneficiamento do açúcar teriam juros de 7% aa. e prazos de 5 a 30 anos. Dunham caracteriza esse fato como uma FSI de mobilização de recursos.

É destacado pelo autor que houve pouco sucesso nesse esforço de modernização, com poucas empresas efetivamente estabelecendo engenhos centrais. A FSI de atividades empreendedoras teria falhado. Contudo, a legislação estabelece a separação das atividades agrícola e industrial, fato que marcou profundamente o setor, com reflexos até o presente. Boa

parte dos senhores de engenho teriam optado por manterem-se como fornecedores de cana. O autor relata ainda que a FSI de criação de legitimidade também não se desenvolveu naquele momento. O poder político dos senhores de engenho, transformados em fornecedores de cana, foi um importante elemento contrário às possíveis mudanças tecnológicas.

Em 1889, a FSI de direcionamento da pesquisa é incorporada pelo Decreto nº. 10.393, que incentivou a adoção do método de difusão na instalação dos engenhos centrais, por meio da preferência na concessão dos recursos. O autor relata que esta inovação para o setor não obteve sucesso e que logo em 1990 o Decreto nº. 819 faculta que as firmas adotassem o sistema de difusão ou de moendas.

1.2 Superação da crise do mosaico (1922 a 1932)

Entre os anos de 1922 e 1925 o mosaico atacou os canaviais no Brasil, tendo afetado principalmente o estado de São Paulo, que teve sua produção reduzida a menos de um quarto. A urgência leva a Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Piracicaba - EECF a escolher a seleção de variedades como opção para solução do problema. Já a Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Campos - EECC opta pelo desenvolvimento de novas variedades. Devido ao longo prazo necessário para o desenvolvimento varietal a EECC não conseguiu auxiliar durante a crise. A FSI de criação de conhecimentos se caracterizou pela seleção de variedades.

A FSI de difusão de conhecimentos foi uma atividade desempenhada por oito usinas, que complementavam o esforço de seleção de variedades da EECF com campos de experimentação próprios.

1.3 Formação do mercado de etanol combustível (1931 a 1942)

No final do século XIX e início do século XX havia uma superprodução mundial de açúcar. No Brasil, o setor se articula para buscar um mercado alternativo e passa a ver o etanol como uma alternativa para enxugar o mercado de açúcar. Em 1903 ocorreu a Exposição Internacional de Aparelhos de Álcool, acompanhado do Congresso Internacional do Álcool. Os eventos apresentavam propostas para ampliar o uso do etanol como fonte de calor, iluminação pública e como força motriz em geral. Até o final da década de 1920 são vários os eventos com proposições empresariais para o uso do etanol, com

resultados limitados. Ainda assim, a atividade pode ser caracterizada como uma FSI de Criação de Legitimidade.

A partir de 1927, algumas empresas do setor passam a comercializar o álcool-motor, que caracterizava-se por uma mistura de etanol com derivados de petróleo para uso diretamente em carros com motores do ciclo Otto. Azulina, Motorina e Cruzeiro do Sul eram produtos do tipo álcool-motor com características diversas, comercializados por usinas diretamente ao consumidor, caracterizando uma FSI de atividades empreendedoras.

Durante o governo de Vargas, o Decreto nº. 19.717/31 inicia o uso oficial obrigatório de etanol combustível no Brasil. Os importadores de gasolina deveriam misturar etanol anidro à gasolina na proporção de 5%. Em seguida, esse percentual foi escalonado por insuficiência de produção. Também foi criada a obrigatoriedade de uso de etanol nos automóveis de propriedade ou a serviço da União, dos Estados e Municípios ou, na falta de etanol, gasolina com um mínimo de 10% de etanol. Também havia a previsão legal que possibilitava às distribuidoras vender o álcool-motor, com um mínimo de 50% de etanol hidratado. Várias isenções fiscais foram estabelecidas para incentivar a produção de etanol. O esforço governamental é caracterizado como uma FSI de formação de mercado.

A Estação Experimental de Combustíveis e Minérios - EECM já desenvolvia estudos sobre o uso do álcool em motores desde a década de 1920, de maneira que já havia no governo conhecimento acumulado sobre o assunto. Foi da EECM a proposta do decreto publicado, bem como a criação da Comissão de Estudos do Álcool-Motor efetivada em 04/08/1931. A EECM trabalhou para adaptar o combustível aos motores existentes na época, mesmo considerando que a adaptação dos motores seria a opção mais eficiente. Tal fato deve-se à inexistência da indústria automobilística no Brasil àquela época. Os trabalhos da EECM caracterizam a FSI de Criação de Conhecimento.

Já em 1940, o Brasil dispunha de 38 destilarias de etanol anidro, sendo 85% da produção de responsabilidade da iniciativa privada, administrando 36 destilarias. A FSI de atividades empreendedoras é bem caracterizada.

1.4 O desenvolvimento de variedades de cana após a crise do mosaico (1930 a 1975)

Após a superação da crise do mosaico, se percebe que o desenvolvimento e seleção de variedades de cana apresentava grande potencial de ganhos para o setor. O Instituto Agrônomo de Campinas - IAC sucedeu a EECM e continuou o esforço de seleção,

ampliando a participação das usinas no processo. A EECC reforçou seus esforços de criação de novas variedades, tendo adotado protocolos de cruzamento e seleção rigorosos, capazes de identificar as plantas de melhor qualidade. Tanto a FSI de direcionamento da pesquisa quanto a de criação de conhecimentos são identificadas.

Em São Paulo, a FSI de difusão de conhecimentos estava bem caracterizada, já que em 1946 as usinas parceiras do IAC respondiam por 73% da produção. Essa interação também obrigou as usinas paulistas a melhor se capacitarem contratando agrônomos, técnicos agrícolas e formando campos de experimentos. Tal fato não se repetiu no nordeste do Brasil e no norte fluminense.

O Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar - PLANALSUCAR, criado em 1969, pelo IAA, sucedeu as estações experimentais vinculadas à União e manteve o processo, porém com significativo aumento na capacidade de gerar variedades e de aumentar a produtividade. Contudo, as variedades melhor aproveitadas em São Paulo, devido a uma melhor combinação de variedades e técnicas de cultivo. Esse processo é reforçado pela criação do CTC (então Centro de Tecnologia Coopersucar, atualmente Centro de Tecnologia Canavieira) em 1970, com foco na assistência técnica, pesquisa sobre variedades de cana e desenvolvimento de tecnologias industriais próprias.

Esse diferencial criado inicialmente com a difusão, e posteriormente com a criação de conhecimento em São Paulo, fez com que o estado aumentasse significativamente sua produção e passasse a ser o maior produtor de etanol no Brasil, ultrapassando largamente a produção nordestina.

1.5 A expansão produtiva da agroindústria sucroalcooleira em São Paulo (décadas de 1940 a 1970)

Além da questão abordada no tópico anterior, a Segunda Guerra Mundial teve impactos profundos para o setor em São Paulo. Naquela época o consumo de açúcar no Brasil era majoritariamente abastecido pelo Nordeste, com centros de distribuição em São Paulo. Com vários episódios de afundamentos de navios no Brasil por submarinos alemães, o fornecimento de açúcar a partir do Nordeste foi seriamente afetado. O Governo Federal flexibilizou a autorização para instalação de engenhos de até 400 sacos, bastando comunicação à prefeitura local.

Os empresários paulistas passaram a agregar várias autorizações, reunindo quotas mínimas de 3.000 sacos que permitiam instalar uma usina que atendia às normas do Estatuto

da Lavoura Canavieira. A FSI de formação de mercado em São Paulo surgiu a partir de uma proteção de mercado frente à concorrência nordestina, causada pela guerra. A disponibilidade de recursos financeiros pelos cafeicultores paulistas também foi essencial, apesar de Dunham não avaliar mais profundamente este aspecto, foi identificado nas entrevistas uma migração da atividade de cafeicultura para a produção de açúcar e etanol.

Dunham também relata que no Nordeste e Norte Fluminense a tensão entre as usinas e os fornecedores de cana era um problema. A pouca qualificação da produção agrícola pelos fornecedores de cana afetava seriamente o desempenho das usinas. Em São Paulo, esses problemas foram minimizados de várias maneiras. O sistema de colonato já era bem difundido no estado de São Paulo e favoreceu que as usinas possuíssem grandes extensões de terra e utilizassem trabalho assalariado. O limite de 60% de cana própria também era ultrapassado, utilizando-se de artifícios como a transferência real das propriedades sem a efetiva transferência legal no cartório de registro de imóveis. O domínio da prática agrícola foi considerado essencial para expansão sustentada das usinas em São Paulo.

Na safra de 1930/31, Pernambuco respondia por 37,7% da produção brasileira de açúcar e São Paulo por 13,4%. Na safra de 1951/52, a produção se equivalia e em 1970/71 Pernambuco produziu 18,4% do total do país e São Paulo 47,5%. A ampliação da escala de produção também ocorreu com muito mais intensidade em São Paulo.

1.6 O relacionamento da agroindústria sucroalcooleira com a indústria de equipamentos (décadas de 1950 a 1970)

A co-evolução da agroindústria sucroalcooleira com a indústria de equipamentos, reforçada pela política de substituição de importações, foi outro fator que reforçou o movimento de crescimento do setor em São Paulo. No início do século XX as empresas europeias eram as principais fornecedoras de equipamentos para o setor. O crescimento acelerado do setor sucroalcooleiro paulista não permitia às empresas europeias atenderem ao setor em tempo adequado. O fornecimento de serviços de reparo e novos equipamentos de menor porte passou a ser efetuado por empresas da região, caracterizando as FSI de criação de mercado e de atividades empreendedoras. Dunham cita, sem especificar o período exato, que 20 empresas produziam e comercializavam equipamentos para as diversas etapas da produção do açúcar e do etanol, das quais 17 estavam localizadas no estado de São Paulo, sendo 13 em Piracicaba.

O autor destaca a importância do Grupo Dedini, que iniciou suas atividades com a utilização de tecnologias de domínio público, passou a elaborar projetos com uma equipe de engenheiros próprios e, finalmente, desenvolveu tecnologias proprietárias. Em 30 anos as destilarias fornecidas pelo grupo passaram para uma escala de 12 mil para 220 mil litros de etanol/dia.

O estreito relacionamento entre os fornecedores de equipamentos e a agroindústria sucroalcooleira, especialmente no estado de São Paulo são considerados por Dunham como o evento mais significativo na transformação do SPIAC. O Grupo Dedini se destaca com uma política comercial agressiva, aceitando parte do pagamento dos equipamentos novos na forma de integralização de capital ou com equipamentos usados, que eram modernizados e vendidos para usinas de menor porte. Isso gerava aumento de produtividade tanto nas usinas grandes, quanto nas menores. Em 1975 a Dedini tinha 54,5% de participação no setor e o Grupo Zanini, o segundo maior do setor, tinha 14%. A estreita ligação entre as usinas e a indústria de equipamentos se caracteriza como uma FSI de difusão de conhecimentos.

Dunham destaca que no segmento industrial, neste período avaliado, não houve participação significativa das ICTs, que eram majoritariamente voltadas para a fase agrícola de produção.

1.7 A expansão do mercado de etanol combustível com o Proálcool (1975 a 1990)

A crise de preços do petróleo foi a motivação oficial para a criação do Proálcool. O preço do petróleo passou de US\$ 3,40, em 1972, para US\$ 15,50, em 1974. Como este produto respondia por 40% do consumo de energia no Brasil, e 80% do produto era importado, a balança comercial saiu de uma posição de equilíbrio em 1973 e passou a apresentar déficits em 1974 e 1975. O aumento na inflação também foi apontado como um problema grave, associado aos custos de importação do petróleo.

Inicialmente, o Proálcool visava aumentar a adição de etanol anidro na gasolina, num segundo momento incentivou-se o uso de etanol hidratado em carros movidos exclusivamente a etanol. Cinco meses antes do início oficial do Proálcool, o Decreto nº. 75.966/75 estabeleceu um preço de paridade entre o etanol e o açúcar - 44 litros de etanol anidro correspondiam a 60 kg de açúcar cristal standard. O IAA recebeu a competência de adquirir etanol usando o preço de paridade e revender o mesmo produto para Petrobras a um preço

mais baixo, equivalente ao preço da gasolina. Tal evento caracteriza uma FSI de formação de mercado.

A política de subsídios foi mantida com o estabelecimento oficial do Proálcool pelo Decreto nº. 76.593/75, que também introduziu mecanismos de financiamento tanto para a instalação de destilarias, quanto para financiamento da safra de cana-de-açúcar, caracterizando-se uma FSI de mobilização de recursos. Dos 661 projetos enquadrados pelo Conselho Nacional do Álcool (CNAL) no período de 1975 a 1987, 60,4% tiveram recursos públicos. Foram 299 projetos de expansão e instalação de novas unidades, correspondendo a uma adição de 7.790,7 milhões litros/safra de capacidade instalada apresentados durante o Proálcool, caracterizando a FSI de atividades empreendedoras.

Dunham considera que ainda que existissem atividades de P&D com financiamento governamental, foi o crescimento do mercado que puxou o desenvolvimento de tecnologias. Na parte agrícola, uma das principais evoluções foi no planejamento varietal. O Período Útil de Industrialização - PUI passou a ser uma preocupação, visando aumentar a duração da safra e otimizar o uso das instalações industriais. As usinas passaram a compor suas plantações com variedades de maturação precoce, média e tardia, de forma a ter mais dias úteis de produção. O CTC, IAC e PLANALSUCAR intensificaram as pesquisas e lançamentos de novas variedades, caracteriza-se aqui a FSI de geração de conhecimentos.

A formação de uma estrutura de distribuição foi essencial para o sucesso do uso do etanol hidratado. A Petrobras desempenhou um papel relevante na estruturação de uma rede de distribuição, tendo inicialmente adaptado tanques de derivados claros para receber o etanol, e viabilizado o transporte por cabotagem. Dunham considera que “análise do processo de transformação traz indícios para identificar uma nova FSI: a de difusão de tecnologias através da facilitação do uso” (p. 122).

Para Dunham, faltou o componente de sustentabilidade. Com o fim dos subsídios, o etanol perdeu sua atratividade frente à gasolina, com profundos impactos negativos para a agroindústria sucroalcooleira, que serão avaliados no tópico 1.11 A estagnação do etanol combustível (1991 a 2002).

1.8 As tentativas de utilizar a mandioca como matéria-prima alternativa à cana-de-açúcar (décadas de 1930 à 1970)

Diferente da cana-de-açúcar, em que o processamento do caldo dá acesso direto a açúcares fermentáveis, o uso da mandioca, matéria-prima rica em amido, requeria um

conjunto novo de tecnologias. É necessária a hidrólise do amido e o processamento tem etapas bastante distintas do processamento da cana-de-açúcar. A partir da etapa de destilação do mosto o processo é similar.

A primeira iniciativa de produção industrial de etanol de mandioca no Brasil se deu com a fundação da Usina de Álcool de Mandioca de Divinópolis - MG, empresa do governo estadual. A produção de etanol combustível teve início em 1932, com escoamento por meio de uma rede de bombas próprias e de terceiros. Após a segunda guerra mundial a usina encerrou suas atividades.

O Proálcool teve como meta oficial a busca de novas matérias-primas, tendo o Instituto Nacional de Tecnologia - INT e a Petrobras trabalhado no projeto de uma unidade piloto para processamento de mandioca. Dunham considera que houve pouco esforço de P&D neste segmento e nenhuma atividade empresarial de destaque.

1.9 O desenvolvimento do carro a etanol hidratado (década de 1980)

Neste período o Brasil já contava com uma indústria automobilística estabelecida e o Governo Federal passou a pressionar este segmento para desenvolver soluções tecnológicas para uso do etanol hidratado nos motores. Foi assinado um protocolo de compromisso, no qual se estabeleceram metas de produção de veículos movidos a etanol hidratado: 250 mil em 1980, 300 mil em 1981 e 350 mil em 1982. A FSI de criação de legitimidade foi essencial nesse processo. Outra ação executada pelo governo foi a criação da Rede Nacional de Centros de Apoio Tecnológico, coordenada pela STI/MDIC, com a finalidade de converter veículos à gasolina para o etanol hidratado. A FSI de atividade empreendedora é caracterizada pela venda de veículos a etanol pela indústria automotiva, que cresceu significativamente entre 1980 e 1988. Em 1985, 92,2% dos veículos vendidos no Brasil eram movidos a etanol.

O desenvolvimento dos carros movidos a etanol hidratado necessitou de desenvolvimento tecnológico por parte das montadoras, que iniciaram o processo de incorporar inovações como o sistema de injeção eletrônica, a utilização de carburadores protegidos com níquel e os sistemas de partida a frio. Caracterizou-se neste período a FSI de criação de conhecimentos. Durante o Proálcool, o preço do etanol era definido de forma que seu uso fosse financeiramente mais vantajoso que a gasolina, caracterizando a FSI de formação de mercado.

1.10 Uso do etanol no diesel durante o Proálcool (1975-1985)

A primeira iniciativa de pesquisar o etanol como substituto do diesel no Brasil foi realizada pelo PMO/CTA - Laboratório de Motores do Centro Técnico Aeroespacial, em 1951, com uma proposta de uso simultâneo dos dois combustíveis, sem mistura prévia, 80% de etanol e 20% de diesel.

Durante o Proálcool, a STI/MDIC encomendou um novo estudo para avaliar o uso do etanol nos motores diesel estacionários. O PMO/CTA realizou o estudo e propôs alguns ajustes nos motores que permitiriam o uso dos dois combustíveis. Já a Mercedes-Benz do Brasil propôs adição de uma substância que reduziria a resistência do etanol à auto-ignição. A MWM desenvolveu um motor híbrido que consistia num sistema convencional para a injeção do combustível principal, o etanol, e um sistema auxiliar para o início da combustão, com óleo diesel. Apesar das divergências quanto à melhor solução técnica, o desenvolvimento da FSI de geração de conhecimento é caracterizado. Dunham considera que a principal motivação para não adoção do etanol em substituição ou complementação ao diesel foi a indisponibilidade de recursos para o governo suportar os subsídios necessários.

1.11 A estagnação do etanol combustível (1991 a 2002)

A queda de preço do petróleo e a deterioração da situação fiscal brasileira impediu a continuidade da política de subsídios. Em 1981 o custo de produção do etanol era 22% maior do que o preço da gasolina, tendo em 1986 essa diferença aumentado para 190%. Com a retirada dos subsídios, a competitividade do etanol hidratado diminuiu e se iniciou a redução da venda de carros a etanol.

Sem margem de lucro para produzir o etanol hidratado, começou a faltar o produto, tendo havido uma crise de abastecimento em 1989/1990. A venda de carros a etanol foi praticamente descontinuada entre 1996 e 2000, permanecendo abaixo de 1% ao ano. De 1990 a 1998 a política de fixação de preços manteve o preço do etanol hidratado entre 85% e 75% do preço da gasolina, que não atende ao critério de economicidade do etanol - 70% do preço da gasolina. O preço passou a ser elemento de desconstrução de mercado.

A globalização se intensifica e as montadoras passam a investir em plataformas globais de desenvolvimento. O carro a etanol só era vendido no Brasil e naquele momento apresentava baixa demanda. Foi firmado acordo entre a indústria automotiva e o governo para

redução do Imposto Sobre Produtos Industrializados - IPI incidente sobre os carros populares, sem que houvesse qualquer prioridade para os veículos a etanol.

Com a redução do mercado para o etanol hidratado, há uma queda de produção de cerca de 50% entre as safras 1991/92 e 2001/02. Como continuava a ser misturado à gasolina, houve aumento na produção de etanol anidro e um redirecionamento da indústria para o segmento de açúcar. O Brasil precisou importar etanol entre 1992 e 1997, com volumes que chegaram a representar 19% da produção nacional. O parque agroindustrial brasileiro foi reduzido em 22% (88 unidades), tendo o número de destilarias autônomas reduzido de 196 em 1990/91 para 101 em 2001/02. A produção total do setor (açúcar e etanol) cresceu 47,8% entre as safras de 1990/91 e 2001/02.

O PLANALSUCAR foi oficialmente transferido do IAA para o Ministério da Agricultura em maio de 1988. Suas atividades foram substituídas pela RIDESA, formada por um conjunto de universidades federais, que iniciou o lançamento de novas variedades de cana após quatro anos.

Em São Paulo, a agroindústria sucroalcooleira contou com o CTC e o Programa de Melhoramento da Cana-de-açúcar – PROCANA, conduzido pelo IAC desde 1994. Esse Instituto desenvolveu ainda outros serviços que buscam maximizar o rendimento cultural: uma ferramenta de software para a decisão sobre variedades, serviços de levantamento de dados de solo e treinamento de técnicos agrícolas. Em São Paulo, a FSI de Geração de Conhecimento permaneceu ativa. O rendimento cultural médio do Brasil avançou 10,5% entre o final do Proálcool e a safra de 2001/02.

1.12 O desenvolvimento do carro flex (1991 a 2003)

O conceito de carro flex foi desenvolvido nos Estados Unidos durante a década de 1980, com o objetivo de rodar com gasolina ou com uma mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina, o chamado E85. No começo a iniciativa não teve sucesso. Fato que será discutido posteriormente numa seção destinada à bioenergia nos Estados Unidos.

Em 1991, em Campinas, uma equipe de engenheiros da filial da Bosch em Campinas iniciou pesquisas sobre carros flex utilizando uma sonda de detecção de oxigênio que a empresa havia desenvolvido e patenteado em 1988. Foi constatado que era possível utilizar misturas de gasolina e etanol hidratado em qualquer proporção, mantendo o ajuste do motor. Em 1994, foi realizado um teste de mais de 100 mil quilômetros com um veículo Omega da

GM, com excelentes resultados. Contudo, o custo do sistema de detecção era elevado, fato que diminuiu os incentivos à adoção da tecnologia.

Nos anos posteriores, a partir de informações sobre o trabalho da Bosch, a equipe da Magneti Marelli no Brasil desenvolveu um software capaz de ajustar o motor utilizando sensores que já eram instalados nos veículos para ajustes quando da variação do percentual de etanol anidro. O trabalho das duas empresas caracteriza a FSI de geração de conhecimentos. O interesse das empresas pela tecnologia flex era impulsionado pelo baixo preço do etanol hidratado após a desregulamentação em 1999, quando sua relação com o preço da gasolina era de apenas 46,7%.

Em abril de 2003, o Gol Total Flex 1.6 da Volkswagen foi lançado com a tecnologia da Magneti Marelli, seguindo-se do lançamento de diversos modelos por várias montadoras instaladas no Brasil. Caracterizou-se o desenvolvimento da FSI de atividades empreendedoras. Já em 2003 os veículos flex representaram 3,7% do total de licenciamentos no país. Diferente do carro a etanol, a tecnologia flex dava liberdade aos consumidores de escolherem o combustível a cada abastecimento e não no ato da compra do veículo.

Um aspecto não abordado por Dunham e que este trabalho considera relevante para formação de mercado para os veículos flex é a redução do IPI dos veículos flex ou a álcool, realizado pelo Decreto nº. 4.317 em julho de 2002, conforme pode ser visto na Tabela 18. O Governo também teria atuado na FSI de formação de mercado.

| CÓDIGO NCM | ALÍQUOTA % Gasolina (Decreto 4070/2001) | ALÍQUOTA % FLEX (Decreto 4317/2002) |
|--|--|--|
| 8703.21.00 Veículos com motor de pistão alternativo, de ignição por centelha (faísca) -- De cilindrada não superior a 1.000cm ³ | 10 | 9 |
| 8703.22 De cilindrada superior a 1.000cm ³ , mas não superior a 1.500cm ³ | 25 | 14 |
| 8703.23.10 De cilindrada superior a 1.500cm ³ , mas não superior a 3.000cm ³ | 25 | 20 |
| 8703.24 De cilindrada superior a 3.000cm ³ | 25 | 20 |

Tabela 18 - COMPARAÇÃO DO IPI NOS CARROS À GASOLINA E FLEX

Fonte: Legislação – elaboração própria

1.13 A retomada de interesse pelo etanol combustível a partir de 2002

Em 2001, a Lei nº. 10.336 criou a Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico - CIDE, tributo fixo incidente sobre o volume de combustíveis comercializados.

A alíquota deste tributo para gasolina era 17,2 vezes maior do que a do etanol ou 12,9 vezes maior se for considerada a diferença de consumo. Em 2002, a Lei nº. 10.453 estabeleceu novos instrumentos de apoio ao etanol combustível: as agroindústrias do setor poderiam contar com instrumentos de garantia de preço mínimo e financiamento para emissão de Cédulas do Produtor Rural, dentre outros benefícios. O governo novamente atuou na FSI de formação de mercado, que já era impulsionada pelos carros flex.

Buscando soluções plausíveis para reduzir o aquecimento global, os governos dos Estados Unidos, Japão e União Europeia passam a trabalhar políticas de buscas aos combustíveis renováveis, alternativos aos derivados de petróleo. A possibilidade de exportação do etanol combustível brasileiro, caracteriza outra vertente da FSI de formação de mercado.

Em setembro de 2006 os projetos de construção e expansão de unidades somavam 89, dos quais 31 já estavam em fase de execução e montagem. Grupos internacionais passaram a investir no setor sucroalcooleiro do Brasil, adquirindo unidades agroindustriais, caracterizando a FSI de atividades empreendedoras.

Motivado principalmente pelas preocupações externas com sustentabilidade da produção em larga escala, utilizando uma monocultura, inicia-se a busca pela tecnologia de segunda geração, o etanol celulósico. Dunham considera que a FSI de desenvolvimento de conhecimentos se desenvolveu em paralelo à FSI de atividades empreendedoras. Diferente de Dunham, este estudo considera que os avanços nesta área foram incipientes, cabendo ressaltar que no período analisado pelo autor este processo ainda estava em andamento e seria de difícil análise.

2 ESTADOS UNIDOS

Para análise histórica dos EUA, conforme exposto anteriormente, será realizado um resumo do trabalho de Berger (2010), principalmente do capítulo 6 - Narrative Ethanol United States. A autora inicia o relato com uma breve informação sobre o fato de Henry Ford ter produzido na década de 1920 aquele que pode ser considerado o primeiro veículo *flex fuel*, o Ford modelo T. Este carro podia ser modificado para operar com gasolina ou etanol. A autora também relata que era relativamente comum encontrar para venda etanol misturado com 25% de gasolina. Na década de 1940 uma grande quantidade de gás natural e petróleo passaram a estar disponíveis a preços baixos, reduzindo o interesse pelo uso do etanol. Na Segunda

Guerra Mundial houve certo aumento de uso do etanol por circunstâncias diversas, mas sem consequências posteriores. Assim como no Brasil, o embargo árabe ao petróleo no início da década de 1970 revitalizou o interesse por combustíveis renováveis.

2.1 O embargo árabe ao petróleo e o “boom” do gasohol

No mesmo período do primeiro choque do petróleo, os EUA possuíam um excedente na produção de grãos (no Brasil era excedente de açúcar/cana-de-açúcar). A busca por alternativas ao petróleo gerou a mobilização de recursos (FSI6) e atividades empresariais (FSI1) em torno do etanol. Em 1978, o National Energy Act passa a beneficiar produtores de gasohol (mistura de 10% de etanol com 90% de gasolina) com créditos tributários, influenciando na formação de mercado (FSI5) no Meio Oeste. Este crescimento do gasohol como opção recebeu forte apoio e incentivo dos fazendeiros e políticos da região, que passaram a advogar por uma política nacional, criando assim a maior legitimidade para o etanol (FSI7). Na administração Carter diversos programas passaram a investir no desenvolvimento tecnológico, envolvendo as funções de criação de conhecimento e de mobilização de recursos (FSI2 e FSI6).

O empreendedorismo (FSI1) era representado principalmente pelos fazendeiros que passaram a implantar pequenas destilarias de etanol, já que o preço dos grãos na época estava baixo e havia excedentes de produção. No lado político, cresce enormemente a preocupação com a segurança energética dos EUA, fomentando a expectativa do etanol como substituto ou complemento à gasolina, estimulando a função de direcionamento da pesquisa (FSI4). O principal fator externo que continuava fomentando o processo de crescimento do etanol era a escalada de preços do petróleo, que subiu de US\$ 3,00 em 1970 para US\$ 35,00 por barril em 1981.

O crescimento do uso de etanol passa a suscitar reações na indústria do petróleo. No meio da década de 1970 passa a ser divulgada a informação de que o uso do gasohol aumenta as emissões de óxido de nitrogênio, apesar de reduzir as emissões de CO₂. Em 1977, uma emenda no Clean Air Act banuiu o uso do gasohol. Em 1978, a EPA volta a permitir a produção do gasohol somente no Meio-Oeste. O American Petroleum Institute emite então um relatório condenando o uso do gasohol e divulgando uma série de informações negativas quanto ao uso da mistura nos veículos. Passa-se aqui a observar reações negativas nas funções de legitimação e de direção da pesquisa (-FSI4 e -FSI7).

Em 1978, o Congresso aprovou o National Energy Act dando quatro centavos de crédito tributário para cada galão de gasohol, fortalecendo a função de formação de mercado (FSI5). A segunda crise do petróleo em 1979 fortalece o lobby do etanol. A Archer Daniels Midland (ADM), que era a maior produtora de etanol na época, passa a ser a maior doadora para políticos. O etanol recebe grandes investimentos do governo federal, caracterizando um incremento na função de mobilização de recursos (FSI6). O DoE criou o Office of Alcohol Fuels para desenvolver a pesquisa e o desenvolvimento do etanol e do metanol. Para Wyman (2001), apesar de já haver capacidade de P&D no etanol celulósico, o senso de urgência causado pelas crises levou a se manter o foco em tecnologias de curto-prazo, como o etanol de milho. Em 1980, o governo dos EUA estabeleceu uma parceria público privada, a US Synthetic Fuels Corporation para o desenvolvimento de combustíveis sintéticos a partir do carvão e etanol e produção de energia a partir da biomassa. A Texaco chegou a ter 1.400 postos oferecendo o gasohol, que à época representava 13% das vendas na região de Washington. Outras empresas ofereciam o gasohol, principalmente no Meio Oeste, e a Exxon não vendia o produto.

2.2 A era Reagan e o petróleo barato – o fim do “boom” do gasohol (1980 - 1990)

Com o barateamento do petróleo, há uma mudança significativa no interesse pelo etanol. Em 1981 há uma diminuição significativa de recursos para pesquisa (-FSI6) e um deslocamento de interesse para projetos de maturação mais longa e de alto risco, que não seriam conduzidos somente pela iniciativa privada. Os esforços de P&D passaram a ser dirigidos para o etanol celulósico usando o processo enzimático (WYMAN, 2001). A administração Reagan planejava encerrar os programas de incentivo da administração Carter e, para se opor a este movimento, é criada a Renewable Fuels Association (RFA), que até hoje é tida como uma organização poderosa de lobby pelo etanol. Com a redução dos preços do petróleo, o gasohol deixa de ser interessante economicamente e a Texaco para de vender o gasohol nos estados do Nordeste dos EUA.

Houve grande redução na mobilização de recursos (-FSI6) para os combustíveis alternativos. As *advocacy coalitions* continuam a agir – os fazendeiros, que se encontravam num período de recessão, continuavam a lutar pelo uso de biocombustíveis. Alguns grupos ambientalistas passaram a reclamar que o suporte ao etanol de milho contribuía para o aumento de preços dos alimentos. O DoE, junto com a Ford passaram a analisar esta questão,

chegando à conclusão que a produção de biocombustíveis não ameaçava a produção de comida.

No estado da Califórnia as pesquisas continuam na busca pelos combustíveis renováveis (direcionamento da pesquisa FSI4). Em conjunto com a Ford foi implantado um teste com o uso do metanol. No restante do país, o etanol continuava sendo visto como a melhor opção para substituir o chumbo na gasolina, incrementando o direcionamento da pesquisa (FSI4). Em 1988, o Senado aprovou uma legislação com incentivos para produção de veículos que utilizassem combustíveis alternativos (direcionamento de pesquisa FSI4). Esta medida tinha também a finalidade de trabalhar em conjunto com o *corporate average fuel economy* (CAFE standards) para melhorar a eficiência dos carros e pequenos caminhões. O metanol passa a receber críticas, por ser principalmente produzido a partir do gás natural e do carvão e a EPA emite um relatório ressaltando os seus benefícios ambientais. Devido a problemas de poluição nas grandes cidades, o governo Bush passa a requerer a venda de veículos que utilizassem combustíveis alternativos nestas cidades. Há uma crescente legitimação do etanol (FSI7). O etanol passa a receber um crédito de imposto federal de 60 centavos de dólar por galão, dando novo impulso à função de formação de mercado (FSI7).

2.3 O Clean Air Act: uma oportunidade para o etanol como oxigenante (1990-2000)

As emendas do Clean Air Act passaram a requerer que as nove áreas mais poluídas dos EUA vendessem gasolina com MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ou etanol. Algumas grandes cidades passaram a adotar o uso de veículos com combustíveis alternativos em suas frotas, dando forças à função de formação de mercado (FSI5). Em 1991, a Volvo iniciou testes com veículos *flex fuel*, fortalecendo também a função de formação de mercado. A Exxon passou ao planejamento de três plantas para produzir o MTBE, já que este era considerado mais barato e mais fácil de transportar que o etanol, criando um contra movimento à função de direcionamento de pesquisa e de formação de mercado (-FSI4 e -FSI5).

No Texas se passa a requerer que as escolas e agências governamentais comprem somente veículos utilizando combustíveis alternativos. Mais montadoras, como a Chrysler, anunciaram a venda de veículos *flex fuel*. O custo adicional para se fazer um veículo *flex fuel* estava entre US\$ 200,00 e US\$ 500,00, mas dava às montadoras um crédito na CAFE. Na Califórnia era dado um subsídio de US\$ 2.000,00 para quem comprasse veículos que

funcionassem com combustíveis alternativos. A função de formação de mercado continuava a ganhar impulso (FSI5). Contudo, a existência de carros *flex fuel* não garantia que se utilizasse o etanol, já que a quantidade de bombas oferecendo o biocombustível era muito baixa. Esse fato gerava reclamações de grupos ambientalistas.

Em 1992, a EPA inicia o programa de oxigenação de combustíveis, que requer que 39 áreas metropolitanas misturem etanol ou MTBE à gasolina. Contudo, a EPA banuiu o uso do etanol nas nove maiores cidades durante os meses de verão, devido à volatilidade do etanol que poderia fazer o *smog* pior, trazendo preocupações quanto ao uso do biocombustível e impactando negativamente no direcionamento da pesquisa (-FSI4). O lobby do milho passa a atuar e solicita um *waiver* da restrição. Apesar das reações contrárias de ambientalistas e da indústria do petróleo, o pedido foi atendido. Em 1994, a administração Clinton implementou um mandato para uso do etanol, fortalecendo a função de formação de mercado (FSI5). Passou a ser necessário que 30% do oxigenante da gasolina fosse de origem renovável. A indústria do petróleo foi à Suprema Corte dos EUA, que atendeu à solicitação, bloqueando o mandato do uso do etanol na gasolina.

O Escritório de Contabilidade do Governo publicou um relatório em 1997 informando que o programa de etanol já havia consumido US\$ 7,1 bilhões, com pouca ou nenhuma melhoria para independência energética e qualidade ambiental, representando uma força negativa na função de direcionamento da pesquisa (-FSI4) e na formação de mercado (-FSI5). A possibilidade de usar os créditos da produção de veículos *flex fuel* para atingir os requerimentos da CAFE passam a ser utilizados pelas montadoras como incentivo para venda de veículos de alto consumo como as SUVs e vans. Ambientalistas questionam o uso do etanol para gerar créditos no CAFE, que na prática permitia a venda de veículos com alto consumo e consequentemente muito poluidores, gerando um movimento contrário na função de legitimação (-FSI7). O Congresso estendeu o crédito tributário para as misturas com etanol até 2007, fortalecendo a função de formação de mercado (FSI5).

Em 1999, a Califórnia bane o uso do MTBE, considerado como um risco significativo para o meio ambiente. O componente deveria parar de ser utilizado totalmente até 2002. O MTBE era usado por 85% da gasolina nos EUA e a EPA passou a sugerir que o composto fosse banido nacionalmente. Esse fato deu grande incentivo à venda de etanol, que era a única alternativa disponível em quantidade suficiente nos EUA à época, fortalecendo bastante a função de formação de mercado (FSI5) e também a função de direcionamento de pesquisa (FSI4).

2.4 O novo milênio: segurança energética, mudança climática. Atingindo o etanol avançado (2000-2008)

O MTBE é banido do mercado, abrindo um grande mercado potencial para o etanol como oxigenante. Em 1992, o Energy Policy Act estabelece o E85 como um combustível alternativo e requer que todas as agências de governo tenham veículos *flex fuel* em suas frotas, fortalecendo a função de formação de mercado (FSI 5). Contudo, a carência de pontos de venda continuava a ser um óbice à expansão do consumo (-FSI5), representando também um posicionamento negativo pelo lado empresarial (-FSI1) no segmento de distribuição e venda no varejo. É criada a Iniciativa para P&D de biomassa por meio do Biomass Research and Development Act, desenvolvendo-se então o foco em tecnologias avançadas para produção de etanol (direcionamento de pesquisa FSI4).

Na Califórnia, alguns representantes do governo passam a argumentar que o etanol poderia aumentar o preço da gasolina e que as refinarias estavam desenvolvendo tecnologias que produziriam uma gasolina menos poluente e sem necessidade de uso do etanol. Verifica-se aqui argumentos contrários à legitimação (-FSI7). A solicitação de um *waiver* nos requerimentos de etanol foi contraposta pelo lobby dos fazendeiros e da RFA. Em 2002, o Congresso aprova a criação de um mandato para o uso do etanol. O DOT anuncia que iria estender o crédito do etanol para atendimento ao CAFE até 2008. Em 2005 é estabelecido o Renewable Fuel Standards (RFS), exigindo usos crescentes de biocombustíveis: 4 bilhões de galões em 2006, aumentando para 7,5 bilhões de galões em 2012.

O governo federal passa a contribuir com recursos para garantia de empréstimos, fortalecendo a função de mobilização de recursos (FSI6). Algumas cidades e estados continuam a exigir o uso de biocombustíveis em suas frotas. Contudo, cresce o criticismo ao uso do etanol de milho, como uma solução arriscada e que não é sustentável no longo prazo, reduzindo a função de direcionamento da pesquisa (-FSI4). Em 2006, o debate sobre benefícios e custos do setor esquentava e a indústria de etanol de milho passa a ser acusada de responsável pela fome no mundo, reduzindo a função de legitimação (-FSI7). A resposta governamental veio na forma de mais incentivos para P&D em biocombustíveis avançados, fortalecendo a criação de conhecimento e o direcionamento de pesquisa (FSI 2 e 4).

A função de empreendedorismo passa a funcionar (FSI1) na criação de novas *startups* focadas no desenvolvimento de biocombustíveis avançados. Grandes produtores passam a reportar uma significativa queda de preços nas enzimas para produção de biocombustíveis. As grandes empresas de petróleo decidem então investir em pesquisa de etanol avançado. A BP

anunciou investimentos de US\$ 500 milhões de dólares e a Shel celebrou acordo com a Cosan no Brasil, fortalecendo a criação de conhecimento (FSI2). As montadoras continuam a aumentar o número de modelos *flex fuel*, ainda que poucos utilizem o E85 pela carência de postos de abastecimento. As empresas de distribuição de combustíveis, em grande parte de propriedade ou associadas às grandes produtoras de petróleo, não fazem grandes investimentos para vender o E85. O Underwriters Laboratories, um certificador independente de segurança, relata que o E85 danifica as bombas dos postos de combustíveis, influenciando negativamente a função de legitimação (-FSI7).

O crescente uso do etanol de milho passa a influenciar o mercado agrícola, com substituição da produção de trigo e em menor escala de soja pelo milho. Cresce então a preocupação com a sustentabilidade do etanol de milho. Ainda assim, o mandato associado a grandes investimentos em P&D propiciou um aumento exponencial do número de plantas de produção de etanol. Estas novas plantas e biorefinarias passam a representar um momento positivo para as pequenas cidades na região agrícola e fomentam a criação de empregos mais qualificados nestes locais.

O SIT do etanol passa a receber uma crescente mobilização de recursos (FSI6) e investimentos em P&D e na disseminação dos conhecimentos (criação de conhecimento e direcionamento de pesquisa FSIs 2, 3 e 4). O governo federal suporta o desenvolvimento de seis plantas de demonstração de etanol celulósico, com o objetivo de reduzir o custo de produção. Há um discurso crescente quanto à necessidade de limitar o crescimento do etanol de milho, com um foco crescente nas novas tecnologias. A GM investe numa *startup* – Coskata, desenvolvendo etanol celulósico, e se torna a primeira montadora dos EUA a investir no segmento.

Em março de 2007, é assinado um Memorando de Entendimento (MoU) entre Brasil e EUA para promover a colaboração em biocombustíveis. No MoU é incluída a colaboração em P&D, transferência de tecnologia para países do Caribe, o desenvolvimento de padrões internacionais e certificação em biocombustíveis. O acordo se caracteriza tanto como uma função de mobilização de recursos (FSI6), quanto de criação de legitimidade no mercado internacional (FSI7). Ao final de 2007 é votado o Energy Independence and Security Act of 2007, que expandiu o RFS, estabelecendo uma meta de consumo de 36 bilhões de galões de biocombustíveis em 2022. O RFS2 é tido como o maior evento na criação de mercado para o etanol (FSI5). Passa a existir um teto para o uso de etanol de milho e mandato para biocombustíveis celulósicos, que deveriam reduzir a emissão de GEE em um determinado nível. O DoE cria três Bioenergy Research Centers (BRCs) para desenvolver P&D no

segmento. Neste período as funções de direcionamento de pesquisa e de geração de conhecimento ganham grande impulso.

Em 2008 são dados mais incentivos para comercialização de etanol avançado. A *blender tax* foi reduzida de 0,54 para 0,45 centavos por galão para o etanol de milho, e foi estabelecido um novo crédito para o etanol celulósico, de US\$ 1,00 por galão. Também foram definidos recursos para reforma e construção de biorefinarias.

3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTADOS UNIDOS E BRASIL NA HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DE ETANOL ATÉ O ANO DE 2008

No que tange ao empreendedorismo (FSI1), observa-se que em ambos os países, sempre que as condições econômicas foram positivas, houve resposta empresarial com aumento da produção. Nos períodos em que o etanol não oferecia rentabilidade adequada, a produção estagnou ou se reduziu. Contudo, se observam algumas diferenças marcantes entre os dois países. A primeira diferença se dá no mercado de distribuição e venda no varejo, e a outra se dá no empreendedorismo recente na busca pela produção de etanol celulósico.

No Brasil, na década de 1970, com o monopólio do petróleo e sendo a maior distribuidora de derivados, a Petrobras teve papel fundamental na distribuição e venda do etanol. A empresa estatal seguiu as determinações governamentais e se engajou fortemente em garantir a disponibilidade de etanol em todo território nacional. Esta ampla rede de distribuição e de postos de abastecimento foram essenciais para o crescimento da venda de etanol no período do Proálcool e posteriormente para retomada da venda do biocombustível associada com o surgimento dos carros *flex fuel* em 2003.

Já nos Estados Unidos, verifica-se uma atividade empreendedora negativa (-FSI1). Como boa parte da distribuição e dos postos revendedores são associados às grandes produtoras de petróleo, houve pouco interesse ou até mesmo oposição total à venda de etanol. A carência do produto disponível para o consumidor é até hoje o principal bloqueio ao crescimento do mercado nos EUA. Essa situação perdura e tem episódios recentes marcantes, que serão analisados posteriormente.

Quanto ao desenvolvimento tecnológico e envolvimento das empresas de bens de capital, verifica-se que na década de 1970, tanto o Brasil, quanto os EUA, tiveram intensa resposta empresarial, que permitiram o rápido crescimento da produção. Já no período

recente, se observa que há uma significativa redução das atividades de desenvolvimento tecnológico e das empresas de bens de capital no Brasil, principalmente nas tecnologias de etanol celulósico. Este também é um fato que perdura e que será melhor analisado posteriormente.

A criação de conhecimento (FSI2) também teve um desenvolvimento acelerado nos dois países na década de 1970. No Brasil, o SIT relacionado com etanol e com a cana-de-açúcar já possuía certo desenvolvimento, tendo em vista que o país já usava etanol misturado com a gasolina desde a década de 1930. Também é relevante verificar que por características próprias de alto rendimento energético e ambiental da cana-de-açúcar, esta recebeu poucas críticas, fato que facilitou o seu uso. O açúcar também tem outras fontes de matéria-prima no mundo e tem um impacto menor no mercado de alimentos. Nos EUA, o uso do milho sempre teve contraposição, fato que afetou a criação de conhecimento. Ainda se pesquisa qual seria a matéria-prima adequada para produção de etanol, divergindo recursos para essa área. O grande impacto da disponibilidade de preço do milho no mercado de alimentos processados e ração animal, também foram determinantes negativos para criação de conhecimento.

No segmento de biocombustíveis avançados, verifica-se uma situação diversa. Aparentemente satisfeito com o etanol de primeira geração, o Brasil pouco investiu em novas tecnologias, a não ser recentemente com o lançamento do PAISS, que será tratado posteriormente. Nos EUA, o criticismo ao milho forçou a criação de conhecimentos diversos. Alguns entrevistados também reportam que o amplo investimento dos EUA no mapeamento do genoma humano e em biotecnologia de uma forma geral criou uma enorme massa crítica que alimenta a criação de conhecimento para os biocombustíveis avançados. Já no Brasil, foi reportado que o conhecimento no segmento é pouco ou inexistente.

Quanto à difusão do conhecimento, no período do Proálcool, as entrevistas e pesquisadores, ressaltam que a difusão do conhecimento foi um dos fatores fundamentais para a rápida expansão do setor. Na área agrícola, a disponibilidade de novas variedades a custos extremamente baixos também facilitou enormemente a difusão do conhecimento. Já atualmente, com uma composição societária bem mais profissional, verifica-se que os desenvolvimentos tecnológicos têm se voltado para um modelo mais proprietário. Nos EUA, a tecnologia de produção de etanol de milho foi difundida em larga escala pelos produtores de bens de capital no segmento industrial. Na parte agrícola, o USDA teve papel fundamental em divulgar as melhores práticas, enquanto algumas empresas foram essenciais no desenvolvimento de sementes. Este é um mercado bem diferente do encontrado no Brasil, nos EUA as grandes corporações dominam a produção de variedades. No período recente, tanto

nos EUA, quanto no Brasil, não há uma definição precisa das tecnologias a serem utilizadas para produção de etanol celulósico. Várias parcerias têm sido celebradas com a finalidade de se garantir o acesso à tecnologia.

A função de Direcionamento da Pesquisa (FSI4) foi muito forte no Brasil no período do Proálcool. A preocupação com o aumento de escala nas unidades industriais e de maior produtividade agrícola dominaram o cenário e o foco era bastante bem definido. A adaptação dos carros para uso com etanol hidratado e com maiores misturas de etanol na gasolina foram outro foco que recebeu muita atenção. No período de retomada do setor, houve pouco investimento na parte industrial, com o foco mantido na produtividade agrícola da cana-de-açúcar. Houve pouca contestação quanto ao setor, que pouco dificultou o direcionamento. Nos EUA, a grande contestação ao etanol de milho, sempre impactou o direcionamento da pesquisa. Foram e ainda são necessários grandes investimentos para definição da matéria-prima de melhor performance. Também houve muita necessidade de contraposição aos argumentos negativos. Tais fatos levaram ao direcionamento da pesquisa para o etanol celulósico.

Em relação à função de Formação de Mercado (FSI5), verifica-se o grande sucesso brasileiro. A associação de uma rede de distribuição a nível nacional, associada com a disponibilidade de carros a etanol e posteriormente *flex fuel*, deu forças para o SIT do etanol ter um dinamismo de mercado bastante propício. Já nos EUA, este tem sido identificado como principal entrave. A pouca disponibilidade de postos vendendo o E85 ou o E15 dificulta enormemente o crescimento da venda de etanol, que fica quase que restrito à sua mistura na gasolina como oxigenante. Ainda que tenha havido uma venda crescente de veículos *flex fuel*, estes não possuem onde abastecer com o E85.

Na função de Mobilização de Recursos, verifica-se que os dois países tiveram uma fase inicial com grande mobilização de recursos. Contudo, a redução do preço do petróleo na década de 1990 reduziu significativamente esta mobilização. Na década de 2000, há uma intensa retomada do interesse pelo etanol. Todavia, no Brasil, após a extinção do Proálcool e do IAA, o retorno do interesse pelo etanol por parte do governo não teve a mesma intensidade do ocorrido no setor privado, com uma grande redução de recursos para P&D. Nos EUA, as pressões ambientais e contrárias ao etanol de milho fazem com que haja forte mobilização de recursos, voltados principalmente para os biocombustíveis celulósicos.

No Brasil, a função de Criação de Legitimidade tem se mantido forte. Desde a introdução do etanol, poucas são as críticas ao uso do biocombustível. O principal problema ocorreu no cenário macroeconômico, com a crise do Brasil como um todo e a extinção de

todas as políticas industriais. Os subsídios ao etanol foram criticados num contexto global de crítica ao esforço nacional de industrialização e não como crítica ao etanol em si. Nos EUA a legitimidade do etanol de milho esteve sempre em cheque, sendo alvo de poderosas *advocacy coalitions*. Tal fato tem até o momento dificultado o desenvolvimento do biocombustível, contudo deu um forte impulso para o desenvolvimento dos biocombustíveis celulósicos.

ANEXO III - ALÍQUOTA DE ICMS X ESTADO X TIPO DE COMBUSTÍVEL

| | Gasolina C | Etanol Hidratado | | Gasolina C | Etanol Hidratado |
|----|------------|------------------|----|------------|------------------|
| AC | 25,00% | 25,00% | PB | 27,00% | 25,00% |
| AL | 27,00% | 27,00% | PE | 27,00% | 25,00% |
| AM | 25,00% | 25,00% | PI | 25,00% | 25,00% |
| AP | 25,00% | 25,00% | PR | 28,00% | 18,00% |
| BA | 27,00% | 19,00% | RJ | 31,00% | 24,00% |
| CE | 27,00% | 25,00% | RN | 27,00% | 25,00% |
| DF | 25,00% | 25,00% | RO | 25,00% | 25,00% |
| ES | 27,00% | 27,00% | RR | 25,00% | 25,00% |
| GO | 29,00% | 22,00% | RS | 25,00% | 25,00% |
| MA | 27,00% | 25,00% | SC | 25,00% | 25,00% |
| MG | 27,00% | 19,00% | SE | 27,00% | 27,00% |
| MS | 25,00% | 25,00% | SP | 25,00% | 12,00% |
| MT | 25,00% | 25,00% | TO | 25,00% | 25,00% |
| PA | 28,00% | 26,00% | | | |

Fonte: Legislação tributária

ANEXO IV – LISTA DOS EVENTOS NOS QUAIS HOUVE PARTICIPAÇÃO PARA COLETA DE INFORMAÇÕES E REALIZAÇÃO DE ENTREVISTAS

- Biomass 2014: growing the future bioeconomy
 - Washington, DC – Estados Unidos
- 1st IDB/BNDES Workshop on Financing Biofuels Investments in Latin America and Caribbean
 - Washington, DC – Estados Unidos
- 2014 EIA Energy Conference
 - Washington, DC – Estados Unidos
- ABLC 2014 – Advanced Biofuels Leadership Conference
 - Washington, DC – Estados Unidos
- Seminário Fomento à Inovação Tecnológica em Biocombustíveis Avançados: uma avaliação do PAISS
 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil
- Ethanol Summit 2013
 - São Paulo, SP – Brasil
- X Seminário Nacional de Biocombustível no Brasil
 - Brasília, DF – Brasil
- World Biofuels Markets Conference 2011
 - Roterdã – Holanda
- Seminário Fonte de Energias Renováveis na Aviação
 - São José dos Campos, SP – Brasil
- GBEP – Global Bioenergy Partnership 2013
 - Brasília, DF – Brasil
- Workshop Internacional Agro-industrial sobre sorgo sacarino
 - Piracicaba, SP – Brasil
- 2nd International Conference on Biofuels Standards
 - Bruxelas – Bélgica
- Frente parlamentar pró-biocombustíveis
 - Brasília, DF – Brasil

- Fenasucro 2013 – 2ª Conferência Datagro
 - Sertãozinho, SP – Brasil
- III Seminário de Bioeletricidade
 - Ribeirão Preto, SP – Brasil.

ANEXO V – FATORES DE CONVERSÃO ENTRE O SISTEMA INTERNACIONAL E O INGLÊS

| Peso | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|----------------|---|-----------------|---------------------------|------|
| 1 | Quilograma | Kg | = | 2,208 | Pounds (~0.453kg) | Lbs |
| 1 | Quilograma | Kg | = | 0,039 | Bushel corn (~25.4kg) | Bu |
| 1 | Tonelada | T | = | 1.000 | Quilogramas | Kg |
| Volume | | | | | | |
| 1 | Litro | L | = | 0,264 | Galão (~3.785L) | Gal |
| 1 | Metro cúbico | m ³ | = | 1.000 | Litros | L |
| 1 | Metro cúbico | m ³ | = | 264,2 | Galão | Gal |
| Área | | | | | | |
| 1 | Hectare | ha | = | 2,471 | Acre (~0.405 ha) | Acre |
| Energia | | | | | | |
| 1 | Mega Joule | MJ | = | 10 ⁶ | Joule | J |
| 1 | Giga Joule | GJ | = | 10 ⁹ | Joule | J |
| 1 | Mega Joule | MJ | = | 947,9 | British Thermal Units | BTU |
| 1 | Kilo Watt hour | kWh | = | 3.414 | British Thermal Units | BTU |
| Cálculos | | | | | | |
| 1 | MJ/T | | = | 24,03 | BTU/bu | |
| 1 | GJ/m ³ | | = | 3.578 | BTU/gal | |
| 1 | T/ha | | = | 15,93 | Bu/acre | |
| 100 | L/T | | = | 0,671 | Gal/bu | |
| 100 | Milhões de litros por ano | | = | 26,42 | Milhões de galões por ano | |

ANEXO VI – CÁLCULO DA CURVA DE EXPERIÊNCIA

Para o cálculo da curva de experiência, será utilizada a mesma metodologia de Van Den Wall Bake et al. (2009) e Hettinga et al. (2009). Tal opção deve-se aos autores já terem estudado o setor de etanol para o Brasil e os Estados Unidos. Foi feito então um complemento dos dados para o período recente. A curva de experiência se baseia na constatação empírica que a redução de custo se correlaciona com o nível de experiência. Tal fato advém da aprendizagem pelo *learning-by-doing*. Um PR de 0,7 significa que ao dobrar a produção acumulada, o custo de produção se reduz de 30%, sendo geralmente expresso pela “Learning Rate” (LR = 1 – PR).

Equação 1

$$C_{cum} = C_0 * CUM^b$$

Onde C_{cum} é o custo atual da unidade de produção; C_0 é o custo da primeira unidade de produção; CUM é a produção acumulada; e b é o índice de experiência. Plotado numa escala log-log a função torna-se uma reta, onde o ângulo é a medida da experiência. A função pode ser reescrita como um “progress ratio” (PR), em função do índice de experiência (b), quando a produção acumulada dobra. O erro padrão de PR é dado pela teoria da propagação desenvolvida por Bevington. σ_b é o erro padrão em b .

Equação 2

$$PR = \frac{C_{cum2}}{C_{cum1}} = \frac{C_0 CUM_2^b}{C_0 CUM_1^b}$$

Equação 3

$$PR = 2^b \text{ (Quando } CUM_2 = 2CUM_1 \text{)}$$

Equação 4

$$\sigma_{PR} = \ln 2 * PR * \sigma_b$$

A partir dos dados dos autores, complementados com dados atuais de produção e preços, foram calculados as equações de “progress ratio” (PR) abaixo:

$$\text{Milho (1975-2013) PR} = 0,44 \pm 0,01 \text{ (R}^2 = 0,55\text{)}$$

$$\text{Cana-de-açúcar (1975-2013) PR} = 0,63 \pm 0,02 \text{ (R}^2 = 0,79\text{)}$$

$$\text{Etanol de cana-de-açúcar (1975-2013) PR} = 0,74 \pm 0,01 \text{ (R}^2 = 0,82\text{)}$$

Para o etanol de milho o R^2 foi de 0,16, indicando uma correlação muito baixa quando se analisa o período completo e, por isso, o resultado não foi apresentado.

ANEXO VII – DADOS UTILIZADOS PARA CALCULAR A PROGRESS RATIO

| Ano | Milho - Produção acumulada (bilhão T) | Milho - Preço (\$2013/T) | Etanol de milho - Produção acumulada (10 ⁹ m3) | Etanol de milho - Preço (\$2013/m3) | Cana - Produção acumulada (10 ⁶ T) | Cana - Preço (R\$2013/T) | Etanol de cana - Produção acumulada (10 ⁶ m3) | Etanol Hidratado de cana - Preço (R\$2013/m3) |
|------|--|--------------------------------|---|--|--|--------------------------------|--|--|
| 1975 | 2,61 | 992,84 | | | 1.179,00 | 180,17 | 13,00 | 5.064,85 |
| 1976 | 2,77 | 755,94 | | | 1.266,00 | 175,19 | 14,00 | 4.959,96 |
| 1977 | 2,93 | 639,27 | | | 1.371,00 | 185,76 | 16,00 | 5.248,34 |
| 1978 | 3,12 | 630,30 | | | 1.479,00 | 228,66 | 18,00 | 5.156,14 |
| 1979 | 3,32 | 632,04 | | | 1.592,00 | 215,77 | 21,00 | 5.063,94 |
| 1980 | 3,49 | 717,24 | | | 1.717,00 | 202,88 | 25,00 | 4.971,75 |
| 1981 | 3,69 | 513,98 | | | 1.850,00 | 199,17 | 29,00 | 5.205,91 |
| 1982 | 3,90 | 503,26 | 1,17 | | 2.016,00 | 195,43 | 35,00 | 5.057,19 |
| 1983 | 4,01 | 582,48 | 2,74 | 3.087,87 | 2.213,00 | 186,98 | 43,00 | 4.277,23 |
| 1984 | 4,20 | 429,68 | 4,67 | 2.533,41 | 2.414,00 | 178,55 | 52,00 | 4.387,68 |
| 1985 | 4,43 | 338,68 | 7,01 | 2.428,26 | 2.638,00 | 188,30 | 64,00 | 4.268,26 |
| 1986 | 4,64 | 215,73 | 9,70 | 1.696,00 | 2.864,00 | 157,14 | 75,00 | 3.843,83 |
| 1987 | 4,82 | 262,97 | 12,80 | 1.446,90 | 3.086,00 | 145,92 | 86,00 | 3.447,33 |
| 1988 | 4,94 | 319,23 | 15,95 | 1.418,14 | 3.306,00 | 138,80 | 98,00 | 3.507,99 |
| 1989 | 5,13 | 275,37 | 19,14 | 1.445,14 | 3.529,00 | 137,00 | 110,00 | 3.556,16 |
| 1990 | 5,34 | 251,72 | 21,97 | 1.472,38 | 3.753,00 | 105,54 | 121,00 | 2.742,17 |
| 1991 | 5,53 | 253,41 | 25,25 | 1.361,77 | 3.982,00 | 109,80 | 134,00 | 2.653,89 |
| 1992 | 5,77 | 208,97 | 29,34 | 2.015,33 | 4.205,00 | 111,02 | 146,00 | 2.828,83 |
| 1993 | 5,93 | 239,93 | 33,71 | 1.118,94 | 4.424,00 | 107,55 | 157,00 | 2.701,09 |
| 1994 | 6,18 | 204,13 | 38,59 | 1.075,71 | 4.665,00 | 98,87 | 170,00 | 2.384,20 |
| 1995 | 6,37 | 279,08 | 43,73 | 989,89 | 4.916,00 | 103,79 | 182,00 | 2.407,58 |
| 1996 | 6,61 | 220,86 | 47,41 | 1.101,88 | 5.204,00 | 104,46 | 197,00 | 2.384,69 |
| 1997 | 6,84 | 186,35 | 52,29 | 879,38 | 5.508,00 | 100,95 | 212,00 | 1.921,08 |
| 1998 | 7,09 | 140,90 | 57,61 | 780,74 | 5.823,00 | 69,76 | 226,00 | 1.457,48 |
| 1999 | 7,33 | 124,37 | 63,15 | 660,42 | 6.131,00 | 53,67 | 239,00 | 1.458,49 |
| 2000 | 7,58 | 118,75 | 69,29 | 835,15 | 6.387,00 | 78,39 | 250,00 | 2.104,34 |
| 2001 | 7,82 | 122,44 | 75,98 | 958,56 | 6.680,00 | 89,09 | 261,00 | 1.954,93 |
| 2002 | 8,05 | 139,52 | 84,08 | 664,51 | 6.998,00 | 74,36 | 274,00 | 1.774,62 |
| 2003 | 8,30 | 138,79 | 94,69 | 751,47 | 7.356,00 | 76,00 | 288,00 | 1.448,62 |
| 2004 | 8,60 | 110,79 | 107,58 | 908,02 | 7.732,00 | 69,27 | 303,00 | 1.544,05 |
| 2005 | 8,89 | 100,84 | 122,35 | 898,78 | 8.117,13 | 59,38 | 303,00 | 1.669,24 |
| 2006 | 9,16 | 144,84 | 140,84 | 1.236,64 | 8.544,79 | 78,52 | 303,00 | 1.889,13 |
| 2007 | 9,49 | 191,51 | 165,52 | 1.032,07 | 9.040,51 | 59,59 | 303,00 | 1.365,28 |
| 2008 | 9,80 | 182,10 | 200,76 | 1.133,46 | 9.609,73 | 45,34 | 303,00 | 1.187,79 |
| 2009 | 10,13 | 162,54 | 242,16 | 798,99 | 10.211,92 | 49,15 | 303,00 | 1.166,09 |
| 2010 | 10,44 | 228,52 | 292,49 | 858,22 | 10.832,33 | 54,60 | 303,00 | 1.271,01 |
| 2011 | 10,76 | 264,61 | 345,21 | 1.143,60 | 11.391,54 | 62,30 | 303,00 | 1.440,58 |
| 2012 | 11,03 | 281,41 | 395,24 | 971,82 | 11.980,02 | 61,58 | 303,00 | 1.273,08 |
| 2013 | 11,39 | 175,20 | 445,63 | 970,93 | 12.633,46 | 50,85 | 303,00 | 1.208,32 |

Os dados para cana e etanol de cana entre 1975 e 2004 foram retirados do trabalho de Van Den Wall Bake (2006). Para os preços da cana no período recente utilizaram-se dados do CONSECANA. Para dados de produção de etanol e de cana e preço do etanol foram utilizados dados da Unica.

Os dados para milho e etanol de milho entre 1975 e 2005 foram retirados do trabalho de Hettinga (2007) e os dados para o período atual foram obtidos no USDA Economic Research Service (U. S. ERS, 2014).