UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

PROSPECÇÃO E BASES DE FORMAÇÃO DA DEMANDA E OFERTA DE ETANOL
COMBUSTÍVEL NOS ESTADOS UNIDOS

Aline Ishikawa

Orientador: Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior

SÃO PAULO
2013

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Reinaldo Guerreiro
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Pro. Dr. Adalberto Américo Fischmann
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Lindolfo Galvão de Albuquerque
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

ALINE ISHIKAWA

**PROSPECÇÃO E BASES DE FORMAÇÃO DA DEMANDA E OFERTA DE ETANOL
COMBUSTÍVEL NOS ESTADOS UNIDOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Administração da Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade da
Universidade de São Paulo como requisito para
a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior

Versão Corrigida

(Versão original disponível na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade)

SÃO PAULO

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Ishikawa, Aline

Prospecção e bases de formação da demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos / Aline Ishikawa. -- São Paulo, 2013.
93 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2013.
Orientador: Alceu Salles Camargo Júnior.

1. Demanda energética – Estados Unidos 2. Etanol 3. Combustíveis alternativos 4. Prospectiva I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 333.79

A meus pais, pelo apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas com quem convivi ao longo dos últimos três anos. Conheci pessoas excepcionalmente competentes e bem-humoradas, que me inspiraram e encorajaram a enfrentar os desafios que foram surgindo ao longo do processo.

Agradeço a todos os professores e colegas do projeto BIOEN, por me acolherem e darem sugestões a este trabalho. À FAPESP, pelo apoio e oportunidade de fazer parte deste projeto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Junior, por dedicação e paciência. Ao Prof. Dr. Abraham Sin Oih Yu e ao Prof. Dr. Rudinei Toneto Junior, pelas contribuições na ocasião da qualificação.

Aos profissionais que consultei para validar os resultados da pesquisa, pela disposição e humildade para avaliar o trabalho.

A todos os colegas e amigos da FEA que tive o prazer de conhecer e conviver, mesmo que brevemente. Em especial, à Keysa Mascena, por me acompanhar em incontáveis e divertidos almoços, e ao Alexandre de Campos, pelas conversas, tanto as filosóficas como as mais descontraídas.

Por fim, mas de grande importância, à minha família, que sempre esteve ao meu lado e me reconfortou nos momentos mais difíceis. Ao Victor e companhia, por alegrarem meus dias.

RESUMO

Desde o primeiro choque do petróleo, em 1973, os países têm despendido esforços para reduzir sua dependência pelo produto, produzido principalmente em regiões politicamente instáveis. Os Estados Unidos são os maiores consumidores mundiais do combustível, e cerca de 70% são destinados ao transporte. Desde o final da década de 70, o governo americano tem incentivado o uso de etanol como substituto parcial da gasolina. No entanto, o crescimento do biocombustível levantou polêmicas porque a matéria-prima utilizada na sua produção no país é o milho, o que poderia estar afetando a oferta do grão para a produção de alimentos. Dessa forma, foi aprovado em 2007 o RFS2, uma legislação que prevê o consumo mandatório de volumes crescentes de etanol até 2022, mas limita a produção a partir de milho. Os investimentos em pesquisas de combustíveis alternativos passaram a se focar no desenvolvimento de etanol de segunda geração, que utiliza material celulósico como matéria-prima. Sua viabilidade técnica já foi confirmada, mas ainda são necessárias melhorias no processo de produção para que o produto possa ser ofertado em escala comercial. Por outro lado, o Brasil tem uma indústria de etanol madura e também tem feito pesquisas na tecnologia de segunda geração. Se bem sucedida, o país tem planos de exportar o excedente de produção, e os Estados Unidos são um mercado de interesse. O objetivo desta dissertação é auxiliar na avaliação das necessidades de os Estados Unidos importarem etanol de outros países, o que pode criar uma oportunidade para o Brasil. Para isso, foi utilizada a abordagem lógico-intuitiva de construção de cenários - voltada a aspectos qualitativos - para estudar o mercado de etanol combustível nos Estados Unidos até o ano de 2022. A coleta de informações foi feita por meio da revisão bibliográfica, focada em artigos internacionais. A política energética americana e a evolução da tecnologia de segunda geração de etanol foram identificadas como as principais incertezas que devem moldar o futuro do mercado em estudo. A partir delas, foram gerados quatro cenários, nomeados como “Filho pródigo”, “País esperançosos”, “Filho independente” e “Filho preterido”. Concluiu-se que, enquanto o governo americano continuar incentivando o consumo de etanol, haverá boas oportunidades de exportação do biocombustível brasileiro. Os maiores volumes são esperados em “País esperançosos”. Por outro lado, caso outras alternativas energéticas sejam priorizadas, nossas exportações podem reduzir substancialmente, e o volume comercializado dependerá do preço do nosso produto em relação ao deles e à gasolina.

ABSTRACT

Since the first oil shock in 1973, countries have made efforts to reduce their dependence on the product, mainly produced in politically unstable regions. The United States is the world's largest consumer of the fuel, and about 70 % is allocated to transport. Since the late 70s, the U.S. government has encouraged the use of ethanol as a partial substitute for gasoline. However, the growth of the biofuel arose controversy because the raw material used for the domestic production is corn, which could be affecting the supply of the grain for food production. Thus, it was approved in 2007 the RFS2, a legislation that requires mandatory use of increasing volumes of ethanol until 2022, but limits production from corn. Investments in alternative fuels research started to focus on the development of second generation ethanol, which uses cellulosic material as feedstock. Its technical feasibility has been confirmed, but improvements are still needed in the production process so that the product can be offered on a commercial scale. On the other hand, Brazil has a mature ethanol industry and is also doing research on second-generation technology. If successful, the country plans to export the surplus production, and the United States is a market of interest. The objective of this thesis is to assist the assessment of the United States needs to import ethanol from other countries, which may create an opportunity for Brazil. The logical-intuitive approach of scenario building - focused on qualitative aspects - was used to study the market for fuel ethanol in the United States until the year 2022. Data collection was done through literature review, focused on international articles. The U.S. energy policy and developments in the technology of second generation ethanol were identified as the major uncertainties that are shaping the future of the market under study. Four scenarios were generated from these two uncertainties and named as "Prodigal Son", "Hopeful parents", "Independent Son" and "Deprecated Son". It was concluded that while the U.S. government continue to encourage the consumption of ethanol, there are good opportunities to export the Brazilian biofuel. The largest volumes are expected in "Hopeful parents". On the other hand, if other energy alternatives are prioritized, our exports can reduce substantially, and sales volume will depend on the price of our product relative to theirs and gasoline.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	PRODUÇÃO E CONSUMO DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS.....	15
2.1	Contexto do setor energético no transporte	15
2.2	Acordos comerciais e ambientais internacionais.....	19
2.3	Alternativas energéticas para transporte: oportunidades e desafios	22
3	PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A DEMANDA E OFERTA DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS	31
3.1	Legislação americana relacionada ao etanol	31
3.2	Relação entre os fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos	36
4	METODOLOGIA	45
4.1	Abordagens para a construção de cenários	45
4.2	A abordagem empregada na pesquisa	49
4.3	A abordagem lógico-intuitiva na literatura.....	49
4.4	Aplicações da abordagem lógico-intuitiva	54
4.5	O processo de construção de cenários utilizado na pesquisa.....	55
5	DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Identificação da questão central	59
5.2	Levantamento dos fatores de influência	60
5.3	Análise dos fatores	61
5.4	Estruturação dos cenários	65
5.5	Discussão com especialistas	66
5.1.1	Coordenador de pesquisa tecnológica do CTC	67
5.1.2	Coordenador do Programa de Avaliação Tecnológica do CTBE.....	69
5.1.3	Gerente do departamento econômico da UNICA.....	70
5.6	Redação dos cenários finais.....	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
7	REFERÊNCIAS.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais MEAs que podem influenciar o setor de etanol.....	21
Quadro 2 - Alternativas energéticas para transportes nos Estados Unidos	29
Quadro 3 - Categorias de combustíveis renováveis por redução na emissão de GEE	33
Quadro 4 - Fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos.....	36
Quadro 5 - Síntese dos fatores e sua influência na demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos	41
Quadro 6 - Diferenças entre as abordagens de previsão e prospecção.....	45
Quadro 7 - Formas de categorizar técnicas de cenário.....	48
Quadro 8 – Exemplos de aplicação da abordagem lógico-intuitiva na geração de cenários. ...	54
Quadro 9 - Características básicas dos cenários gerados	66
Quadro 10 - Características dos cenários para demanda e oferta de etanol nos EUA até 2022	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metas de consumo do RFS2 em bilhões de galões	34
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de petróleo nos Estados Unidos por setor, em milhões de barris por dia	15
Gráfico 2 - Produção de etanol combustível no mundo, em mil barris por dia	17
Gráfico 3 - Produção histórica de etanol até 2007 e metas do RFS2 para os anos de 2008 a 2022, em bilhões de galões.....	35
Gráfico 4 - Matriz energética de transportes nos Estados Unidos em 2011.	62
Gráfico 5 - Consumo de combustíveis alternativos nos EUA, em milhões galões equivalentes de gasolina.....	62

LISTA DE DAS DEMAIS ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Classificação dos biocombustíveis.....	23
Ilustração 2 - Categorias de combustíveis renováveis	33
Ilustração 3 - Relação entre os fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos.	40
Ilustração 4 – Representação da geração de cenários a partir de duas incertezas.	55
Ilustração 5 – Etapas do processo de geração de cenários utilizado.	56
Ilustração 6 - Principais fatores que afetam o mercado de etanol nos Estados Unidos	60
Ilustração 7 - Cenários para o mercado de etanol nos Estados Unidos até 2022.	65

1 INTRODUÇÃO

No mundo todo, o setor de transportes enfrenta desafios relacionados a dependência por petróleo, aquecimento global e qualidade do ar. Para aumentar a segurança energética, muitos países, incluindo os Estados Unidos, têm promovido políticas de autossuficiência em combustíveis líquidos, de forma a reduzir a importância de fatores geopolíticos em relação ao suprimento de energia. A necessidade de ações de redução de emissão de gases de efeito estufa também vem ganhando notoriedade. A melhoria da qualidade do ar, especialmente em grandes cidades, se tornou uma preocupação social nos países desenvolvidos (CORTEZ et al, 2003).

A utilização de biocombustíveis como substitutos parciais da gasolina emergiu como parte da solução para esses problemas. Nesse contexto, o Brasil ganhou destaque mundial por ter introduzido com sucesso um combustível alternativo na sua matriz energética de transportes. O etanol brasileiro, derivado de cana-de-açúcar, é altamente competitivo devido a seus baixos custos de produção e altas produtividades tanto na fase agrícola como na industrial. Isso é possível graças aos avanços tecnológicos e custos de mão-de-obra mais baixos do que em outros países (FARINELLI et al, 2009). Em relação ao balanço energético, a cana de açúcar também se destaca por ter o melhor desempenho entre as matérias-primas atualmente utilizadas para produzir etanol (BLOTTNITZ e CURRAN, 2007).

O mercado brasileiro de etanol combustível cresceu rapidamente na última década devido a introdução, em 2003, dos veículos *flex*, que funcionam com misturas de etanol e gasolina em diversas proporções. Com o sucesso das vendas de veículos *flex*, a produção anual de etanol passou de 11,5 bilhões de litros na safra de 2001/2002 para 23,2 bilhões de litros na safra de 2012/2013 (UNICA, 2013). O cultivo de cana de açúcar ocupa 7 milhões de hectares, ou cerca de 2% da terra arável do país. O açúcar e o etanol produzidos são vendidos tanto no mercado interno como no externo (UNICA, 2012).

Atualmente, há expectativa de aumento da produção de etanol utilizando tecnologia de segunda geração, que utiliza material celulósico como matéria-prima. A GranBio, empresa pioneira em etanol celulósico no Brasil, planeja construir uma usina por ano até 2020, quando

pretende produzir um bilhão de litros do combustível a partir de palha de cana e bagaço. Apesar das dificuldades no desenvolvimento da nova tecnologia, a empresa acredita que em alguns anos conseguirá oferecer o biocombustível a um preço 20% menor do que o atual (ZAFALON, 2013).

Os Estados Unidos representam um dos principais mercados externos para o excedente de produção de etanol. Em 2012, mais de 2 bilhões de litros foram destinados àquele país. (UNICA, 2013). Apesar dos elevados volumes exportados, há dúvidas quanto à demanda americana por importação de etanol nos próximos anos. O país já é o maior produtor mundial do combustível, e caso consiga desenvolver novos processos de produção ou outras tecnologias alternativas para os transportes de forma economicamente viável, o mercado almejado pelos produtores brasileiros pode reduzir substancialmente.

Considerando este contexto, o principal objetivo deste trabalho é fornecer informações para auxiliar no debate da seguinte questão: quais são as perspectivas de exportação de etanol combustível brasileiro para o mercado norte-americano até o ano de 2022? A escolha desse período se deve ao horizonte abrangido pela principal legislação americana sobre combustíveis renováveis, a *Energy Independence and Security Act*. Por ser uma potência econômica, a questão energética americana é relevante para o mundo todo, e em especial para o Brasil, segundo maior produtor de etanol e com condições de expandir sua indústria (FARINELLI et al, 2009; LEITE et al, 2009).

Os principais fatores que devem afetar a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos foram levantados na literatura recente. Foi também analisado como o setor se comportou no passado e como o contexto influenciou suas ações a fim de entender como a indústria tem evoluído e quais são as principais incertezas que podem moldar seu futuro, tais como acordos ambientais mundiais, legislação nacional e avanço tecnológico. Essas informações foram o subsídio para a construção de cenários qualitativos utilizando a abordagem lógico-intuitiva.

As principais incertezas identificadas foram a política energética americana para combustíveis para o setor de transportes e o desenvolvimento tecnológico das alternativas à gasolina. A partir delas, foram elaborados quatro cenários: em “Filho pródigo” e “País esperançosos”, o governo continua incentivando a adoção de etanol como principal combustível alternativo, mas apenas no primeiro, a tecnologia de segunda geração se torna viável comercialmente. Já

em “Filho independente” e “Filho preterido”, o governo deixa o etanol em segundo plano e passa a focar no desenvolvimento tecnológico de outras alternativas. A diferença entre estes dois últimos cenários é que no primeiro o etanol consegue se viabilizar comercialmente.

Os quatro cenários iniciais foram submetido à validação por especialistas do setor sucro-alcooleiro no Brasil, que aprovaram sua estrutura básica e contribuíram com mais informações para enriquecer sua descrição e avaliar as oportunidades de exportar etanol brasileiro aos Estados Unidos até 2022. Concluiu-se que, no geral, os americanos precisarão importar mais etanol no cenário “Pais esperançosos”, mas os outros cenários também apresentam oportunidades, mas estas dependerão do preço do etanol brasileiro em relação ao deles e à gasolina.

O texto está dividido em cinco partes, além desta introdução. No capítulo 2, são apresentados aspectos relacionados à produção e consumo de etanol nos Estados Unidos, partindo de uma contextualização global do setor energético no transporte e finalizando com a apresentação das alternativas energéticas sendo desenvolvidas no país. No capítulo 3, são apresentados os principais fatores que afetam a demanda por etanol no país, com foco na legislação relacionada à energia e seus principais objetivos. O capítulo 4 faz uma revisão das técnicas de construção de cenários e se aprofunda na abordagem lógico-intuitiva, utilizada neste trabalho. Os cenários para a demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos até 2022 são desenvolvidos e discutidos no capítulo 5. As considerações finais do trabalho, bem como recomendações para pesquisas futuras, são apresentadas no capítulo 6.

2 PRODUÇÃO E CONSUMO DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS

Este capítulo apresenta os desafios enfrentados pelo setor de transportes no mundo todo e as ações que estão sendo desenvolvidas para superá-los. Dessa forma, pode-se ter uma visão geral dos motivos que levam à adoção de etanol em diversos países, como os Estados Unidos. O item 2.3 se foca nas tecnologias alternativas sendo estudadas no país e seus respectivos pontos fortes e fracos, a fim de compreender quais rotas tecnológicas podem ganhar mercado e influenciar a produção e consumo de etanol no período estudado.

2.1 Contexto do setor energético no transporte

Os combustíveis fósseis representam 87% da oferta mundial de energia. O transporte rodoviário é o maior consumidor de petróleo, respondendo por mais de 40% da demanda (OPEC, 2011). Essa dependência pelo combustível gera problemas como a segurança energética, o aquecimento global e outros impactos negativos no meio ambiente, especialmente nos Estados Unidos, que são os maiores consumidores mundiais de petróleo (EIA, 2013b). Cerca de 70% do combustível é usado no transporte, conforme podemos observar no Gráfico 1 (USDOE e EIA, 2011).

Gráfico 1 - Consumo de petróleo nos Estados Unidos por setor, em milhões de barris por dia
 FONTE: USDOE e EIA (2011).

Por outro lado, o petróleo representa 93% dos combustíveis utilizados no transporte, evidenciando a forte dependência do setor por este combustível. Apesar do recente crescimento dos biocombustíveis, as energias renováveis representam apenas 4% da matriz energética de transportes (EIA, 2013a).

A maioria dos analistas concorda que o preço do petróleo tende a aumentar no futuro, sendo as principais causas o iminente esgotamento das reservas (SINGH et al, 2010; ESCOBAR et al, 2009), a instabilidade política do Oriente Médio, que concentra 65% da oferta (ESCOBAR et al, 2009), e o aumento da demanda por energia, impulsionado pelo crescimento da China e Índia (HIRA, 2011). O aumento do preço do combustível estimula o desenvolvimento de tecnologias alternativas para o transporte, mas ao mesmo tempo, as montadoras se esforçam para estender ao máximo a vida da tecnologia atual, do motor à combustão (ZAPATA et al, 2010).

Além da segurança energética, outra questão que pressiona o setor de transporte a diversificar as fontes de energia é a mudança climática decorrente do uso de combustíveis fósseis. De acordo com Escobar et al (2009), essas mudanças são resultado das alterações intrínsecas ao sistema climático aliado à ação de fatores externos, tanto naturais como antropogênicos. O aquecimento global é um desafio comum a todos os países, especialmente os mais industrializados, e tem como consequências mudanças na intensidade e distribuição de chuvas, elevação do nível dos oceanos e maior ocorrência de eventos climáticos extremos. Isso afeta ecossistemas e ameaça milhões de pessoas com o aumento do risco de fome, enchentes, secas e doenças como a malária.

O setor de transporte é responsável por 13% das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), o que equivale a aproximadamente 4 bilhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono por ano (UNEP, 2011). Se não forem tomadas medidas de mitigação, a temperatura terrestre pode se elevar de 3°C a 5°C, e os impactos à biodiversidade são incertos (BRUNDTLAND et al, 2012). Nos Estados Unidos, 33% dos GEE emitidos são originados no setor de transporte, sendo carros e caminhões responsáveis por 59% desse montante (ANDRESS et al, 2012).

Uma forma de reduzir esse volume é substituindo parte da demanda de combustíveis derivados de petróleo por biocombustíveis, que podem ser usados na movimentação de motores à combustão e são obtidos de recursos naturais renováveis que reciclam gás carbônico por meio de processos fotossintéticos (ESCOBAR et al, 2009). Em 1991, McGowan já falava da importância de se utilizar biocombustíveis para controlar as emissões de GEE. Atualmente, o etanol é uma das poucas alternativas que permitem a substituição imediata de parte da

demanda por combustíveis líquidos no transporte (HIRA, 2011; ESCOBAR et al, 2009). Além dos benefícios apresentados, o etanol tem potencial para melhorar a qualidade do ar nas cidades (CORTS, 2010; RAJAGOPAL e ZILBERMAN, 2007 apud DE GORTER e JUST, 2009; SILVA, 2011). Os Estados Unidos e Brasil são os maiores produtores de etanol combustível (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Produção de etanol combustível no mundo, em mil barris por dia

FONTE: EIA (2013).

Há também outras alternativas energéticas sendo desenvolvidas para uso nos transportes, como o biodiesel, eletricidade, células combustíveis, gás natural e outros, cujos pontos fortes e fracos e estágios de desenvolvimento tecnológico serão apresentados com mais detalhes no item 2.3.

As questões ambientais são um dos motivos mais comuns para a adoção de biocombustíveis no mundo (SÁNCHEZ e CARDONA, 2008). Porém, há polêmica quanto ao seu potencial no combate às mudanças climáticas. Pimentel (2003) afirma que o etanol produzido nos Estados Unidos tem balanço energético, econômico e ambiental negativo, mesmo considerando os subprodutos. Segundo seus cálculos, um galão de etanol requer 29% mais energia para ser produzido do que oferece como produto final. Isso porque a produção de etanol depende de energia fóssil tanto no cultivo do milho, principal matéria-prima no país, como nos processos de fermentação e destilação. Além disso, as plantações de milho usam mais inseticidas, herbicidas e fertilizantes de nitrogênio do que qualquer outra cultura. Dessa forma, o etanol de milho constitui em um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental.

Blottnitz e Curran (2007) analisaram 47 artigos sobre o ciclo de vida do etanol e obtiveram fortes evidências de que toda produção de etanol é de mediana a fortemente benéfica para a proteção do clima e a conservação de combustíveis fósseis. Os autores apontam que o etanol

derivado de cana de açúcar é o mais benéfico do ponto de vista ambiental, mas alertam que a expansão das terras para esse fim deve ser feita de forma extremamente cautelosa. No fim, sugerem que são necessários mais estudos em relação a possíveis substâncias tóxicas que podem afetar os homens e o ecossistema.

Farrel et al (2006) analisam seis estudos sobre os efeitos do aumento do uso do etanol no meio ambiente. Concluíram que os artigos que reportam impactos negativos do etanol utilizaram dados obsoletos e ignoraram os coprodutos. Todos os estudos concluíram que as atuais tecnologias de produção de etanol utilizam menos petróleo durante o processamento do que a gasolina, mas as emissões de gases de efeito estufa são similares às da gasolina. Outros impactos ambientais do etanol são pouco conhecidos, e é necessário o desenvolvimento de métricas específicas.

A influência da produção de biocombustíveis na oferta de alimentos é outro ponto bastante discutido, pois atualmente ambos competem por terras e mercado. Conforme Leite et al (2009), os estudiosos estão divididos em duas opiniões: a primeira defende que a matéria-prima dos biocombustíveis deve ser cultivada apenas em terras impróprias para cultivo de alimentos ou somente a partir de resíduos agrícolas e plantas cultivadas em áreas; a outra corrente diz que a concorrência por terras tem pouco impacto no preço dos alimentos e que a produção de biocombustíveis deve ser ampliada devido à urgência na resolução de problemas ambientais e de segurança energética. Já Escobar et al (2009) vão além e dizem que os biocombustíveis podem contribuir na redução do problema da fome ao levar empregos e renda para milhões de pessoas nas áreas rurais, especialmente em áreas degradadas, desde que haja um limite de uso de terras para sua produção.

Outros aspectos ambientais que devem ser considerados para avaliar a sustentabilidade dos biocombustíveis são erosão, consumo de água, poluição causada pelos fertilizantes, absorção de nutrientes do solo, emissões de compostos orgânicos e perda de biodiversidade (ANAJOVIC, 2011; KADITI, 2009; REJINDERS, 2006; UGARTE et al, 2010). Dada a diversidade de matérias-primas e processos de produção, é necessário estabelecer sistemas de certificação ambiental para que seja possível medir a relação entre determinado biocombustível e as emissões de GEE e uso da terra, bem como assegurar a qualidade de vida dos trabalhadores envolvidos (ESCOBAR et al, 2009; SCARLAT e DALLEMAND, 2011; SOUZA et al, 2011). Espera-se que a tecnologia de segunda geração amenize os impactos

negativos da produção de biocombustíveis, já nesses processos podem ser utilizados resíduos agrícolas como matéria-prima (KLEINER, 2008; NIGAM e SINGH, 2011). Os pontos fortes e fracos dessas tecnologias são mais discutidos no item 2.3.

A transição do petróleo para fontes alternativas de energia é inevitável, ainda que ocorra de forma gradual (HIRA, 2011; ROSILLO-CALLE et al, 2006). Segundo Rajagopal e Zilberman, 2007 (apud DE GORTER e JUST, 2009), a segurança energética, a mitigação do aquecimento global, a melhoria qualidade do ar e o desenvolvimento rural são principais objetivos das políticas que promovem os biocombustíveis no mundo todo.

2.2 Acordos comerciais e ambientais internacionais

Dados os potenciais benefícios e riscos associados aos biocombustíveis, questões que os relacionam com comércio e meio ambiente são amplamente discutidos. As principais entidades internacionais que estudam o setor e atuam na sua regulamentação são a Organização Mundial do Comércio (OMC) e a Organização das Nações Unidas (ONU), focadas, respectivamente, em aspectos comerciais e ambientais. Como o desenvolvimento sustentável abrange ambos os aspectos, em alguns casos as duas organizações precisam se dialogar para chegarem a um consenso (WTO, 2012a).

Os acordos ambientais multilaterais (MEA) são tratados, convenções, protocolos e outros instrumentos relacionados ao meio ambiente que geralmente são desenvolvidos pela ONU e envolvem mais de dois países. Existem desde o final do século XIX, mas a maioria foi adotada a partir de 1972, ano em que foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, também conhecida como a Convenção de Estocolmo. Esse evento foi um marco no campo do direito ambiental internacional, pois resultou na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e na adoção da Declaração de Estocolmo por todos os 113 países presentes na conferência. A declaração é o primeiro documento universal que fala da importância dos problemas ambientais, colocando o tema em discussão no cenário internacional (ENVIRONMENT CANADA, 2007). Antes disso, em 1948, o GATT¹ havia

¹ *General Agreement on Tariffs and Trade*, incorporado pela Organização Mundial do Comércio durante a Rodada do Uruguai, de 1986 a 1994 (WTO, 2012b).

criado o Grupo em Medidas Ambientais e Comércio Internacional (*EMIT Group*), mas este se manteve pouco funcional (CASTRO et al, 2003 apud SILVA, 2011).

Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - conhecida também como Rio 92 e Eco 92 - cujo tema principal foi o desenvolvimento sustentável. Houve participação de milhares de participantes, vindos de 176 países, sendo 103 representados por chefes do governo. O evento resultou em diversas ações que impactam indiretamente no uso do etanol como combustível de transporte, como a criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) e a adoção da Convenção sobre Diversidade Biológica. Desde então, o direito ambiental internacional tem se desenvolvido em conjunto com leis nacionais para promover o desenvolvimento sustentável de acordo com diferentes realidades (ENVIRONMENT CANADA, 2007).

Dois anos depois da Rio 92, a OMC criou o Comitê de Comércio e Meio Ambiente, o qual abrangia mais assuntos do que o *EMIT Group* e tinha o objetivo de estudar a relação entre medidas comerciais e medidas ambientais a fim de promover o desenvolvimento sustentável. Até então, as negociações da OMC eram focadas em questões econômicas, como a redução de barreiras tarifárias e medidas antidumping (SILVA, 2011). Uma das principais questões se referia à aparente incompatibilidade entre a medida de um MEA que autoriza o comércio de um produto com condições especiais entre as partes signatárias e o “princípio da nação mais favorecida” da OMC, o qual determina que os países membros da organização devem conceder tratamento equivalente a um mesmo produto comercializado entre eles. Os países membros da OMC concordaram em negociar a relação entre essas medidas no início da Rodada de Doha, em 2001, mas não chegaram a um acordo (WTO, 2012a).

Fora dos MEAs, são permitidas algumas exceções para o Princípio da Nação Mais Favorecida, mas sob condições estritas. Por exemplo, os países podem estabelecer um acordo de livre comércio que se aplica apenas a produtos comercializados dentro do grupo, discriminando mercadorias provenientes do exterior (WTO, 2012a). É o caso da Iniciativa da Bacia do Caribe, um programa que visa a desenvolver os países da América Central e Caribe. Pelo acordo, um determinado volume de etanol pode ser exportado desses países para os Estados Unidos sem a incidência de tarifa de importação. Para aproveitar o benefício, produtores

brasileiros desidratavam o etanol de cana cultivada no Brasil nos países caribenhos visando ao mercado americano (SOUZA et al, 2011).

Um dos movimentos mais importantes para a redução das emissões globais de gases de efeito estufa é o Protocolo de Quioto, um acordo internacional relacionado ao UNFCCC. Esse MEA considera que os países industrializados são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas e por isso devem tomar ações para que em 2012 o volume de emissões seja 5% menor do que os níveis de 1990. As obrigações mais rígidas para os países industrializados têm respaldo no princípio das responsabilidades comuns mas diferenciadas do direito ambiental internacional. O Protocolo de Quioto foi adotado em 1997 e entrou em vigor em 2005, quando os países que o ratificaram passaram a representar, juntos, ao menos 55% das emissões de carbono de 1990 (UNFCCC, 2012). O mercado de carbono, previsto pelo protocolo, pode ser uma ferramenta importante na redução de GEE (CORTEZ et al, 2003). O Quadro 1 apresenta os principais acordos ambientais multilaterais que podem influenciar o setor de etanol.

Quadro 1 - Principais MEAs que podem influenciar o setor de etanol

Ano	Acordo / evento	Resultado
1948	Criação do EMIT Group pelo GATT	Manteve-se pouco funcional até 1994, quando foi incorporado pelo Comitê de Comércio e Meio Ambiente da OMC.
1972	Convenção de Estocolmo	Inserção da discussão de temas ambientais no cenário internacional com a adoção da Declaração de Estocolmo pelos 113 países presentes.
1992	Rio 92	Criação da UNFCCC e Convenção sobre Diversidade Biológica.
1994	Criação do Comitê de Comércio e Meio Ambiente	Início dos estudos sobre a relação entre medidas comerciais e medidas ambientais a fim de promover o desenvolvimento sustentável.
1997	Protocolo de Quioto	Relacionado ao UNFCCC, entrou em vigor em 2005. Não foi ratificado pelos EUA.

FONTE: SILVA, 2011 e Environment Canada, 2007.

Young (2011) estudou a efetividade dos acordos ambientais e concluiu que eles podem e realmente fazem a diferença, apesar de isso ocorrer em conjunto com inúmeros fatores externos. No entanto, há dúvidas se esse resultado pode ser aplicado aos Estados Unidos. Em 1998, o então presidente Bill Clinton assinou o Protocolo de Quioto, mas não o submeteu à aprovação do senado. Segundo Bang et al (2012), esse comportamento dos presidentes americanos é comum e pode se repetir em acordos futuros relacionados ao clima. Os autores sugerem que a razão disso pode estar no próprio sistema político americano, que dificulta a previsão pelos presidentes quanto ao consentimento do Senado e do Congresso em relação à

regulamentação. Outra possível explicação é que os presidentes podem se beneficiar politicamente por apoiar o MEA, mesmo sabendo que ele não será implementado.

Apesar desse aparente descaso da Casa Branca, Chasek (2007) concluiu que o país leva a sério as questões ambientais propostas pelas Nações Unidas. O problema é que a maioria dos americanos está arraigada ao “estilo de vida americano” e reluta em apoiar acordos ambientais que interfiram negativamente na sua economia e estilo de vida. Nos anos 70, quando a preocupação ambiental se limitava basicamente à melhoria da qualidade do ar, os EUA tinham um papel de liderança, mas nas décadas seguintes, quando foram incluídas questões econômicas e sociais, bem como a discussão de padrões de consumo e transferência de tecnologia, o país passou a construir barreiras para o diálogo.

Não foram encontrados acordos internacionais específicos para o etanol e outros combustíveis alternativos. Considerando a posição dos Estados Unidos frente aos acordos ambientais multilaterais, não se espera que estes exerçam influência significativa na sua política em relação aos biocombustíveis.

2.3 Alternativas energéticas para transporte: oportunidades e desafios

Considerando os desafios enfrentados pela economia do petróleo, que dominou durante o último século, estão sendo desenvolvidas diversas tecnologias alternativas para o setor de transporte. De acordo com o Centro de Dados de Combustíveis Alternativos (AFDC²), existem mais de uma dúzia de combustíveis alternativos sendo produzidos ou desenvolvidos para serem usados nos Estados Unidos. Neste tópico, serão apresentados os principais, destacando seus respectivos pontos fortes e fracos, especialmente em relação ao etanol.

Os biocombustíveis são, atualmente, a fonte de energia alternativa mais atraente para o setor de transporte, pois podem aproveitar a infraestrutura existente para serem distribuídos e substituir imediatamente parte da demanda por combustíveis líquidos no transporte (ESCOBAR et al, 2009; RAJAGOPAL et al, 2009). São definidos, de forma geral, como produtos que podem ser usados na movimentação de motores à combustão e são obtidos a

² *Alternative Fuels Data Center*, entidade ligada ao Departamento de Transporte dos Estados Unidos. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/fuels/>. Acesso em 1 de outubro de 2012.

partir de biomassa - recursos naturais renováveis que reciclam gás carbônico por meio de processos fotossintéticos (ESCOBAR et al, 2009).

A classificação é feita de acordo com a matéria-prima utilizada e a tecnologia de produção, conforme a Ilustração 1. Nos Estados Unidos, os principais biocombustíveis são o etanol e o biodiesel, os quais são produzidos, em grande parte, por meio de tecnologias de primeira geração, a partir do milho e da soja, respectivamente. É possível produzir etanol a partir de resíduos de milho usando tecnologias de segunda geração, mas, neste trabalho, o termo “etanol de milho” se referirá apenas ao de primeira geração.

Ilustração 1 - Classificação dos biocombustíveis
 FONTE: adaptado de NIGAM e SINGH; 2011, p. 54.

O crescimento dos biocombustíveis tem provocado um grande debate em relação à destinação de terras para sua produção em detrimento da produção de alimentos. Muitos autores afirmam que a concorrência por terras tem elevado os preços dos alimentos (KENDALL e PIMENTEL, 1994 apud EAVES e EAVES, 2007; WESTOTHOF, 2010 apud HERTEL, 2011; HOEKMAN, 2009; SCHNEPF e YACOBUCCHI, 2012; TAHERIPOUR e TYNER, 2008; TIMILSINA, 2011), mas outros não encontraram uma relação significativa ou um resultado conclusivo (ANAJOVIC, 2011; LUCHANSKY e MONKS, 2009).

Conforme exposto anteriormente no item 2.1, em relação aos impactos nas mudanças climáticas, os resultados encontrados na literatura dão conclusões variadas. Para Fargione et al (2008), a conversão de florestas para a produção de biocombustíveis gera emissões de 17 a

420 vezes maiores do que aquelas evitadas com a substituição de combustíveis fósseis. Para agravar o quadro, Searchinger et al (2008) concluem que o preço elevado dos biocombustíveis tem estimulado fazendeiros do mundo todo a converterem terras para sua produção, aumentando as emissões líquidas ao longo dos próximos trinta anos. O EPA (2010) também chega a essa conclusão, mas afirma que o impacto geral é positivo se for considerado um horizonte de cem anos.

Já Blottnitz e Curran (2007) analisaram 47 artigos sobre o ciclo de vida do etanol e concluíram que há forte evidência de que a produção de etanol é de mediana a fortemente benéfica do ponto de vista das mudanças climáticas e conservação dos combustíveis fósseis. Farrel et al (2006) analisaram seis estudos representativos e notaram que os que indicam saldo energético negativo do etanol ignoraram os subprodutos e usaram dados obsoletos. Dados os resultados contraditórios, Escobar et al (2009), Hoekman (2009) e Singh et al (2010) indicam a necessidade de definir melhor os limites do sistema estudado, incluindo coprodutos e subprodutos.

Uma das formas de amenizar os potenciais efeitos negativos dos biocombustíveis seria produzindo-os em larga escala com processos de segunda geração, a partir de biomassa (FARGIONE et al, 2008; KLEINER, 2008; NIGAM e SINGH, 2011; RAJAGOPAL et al, 2009; SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012). Trata-se do composto orgânico mais comum no mundo; daí a expectativa em usá-lo para a produção de energia (SOMMA et al, 2010). No entanto, a viabilização comercial desses combustíveis enfrenta grandes desafios técnicos e incertezas relacionadas ao preço do petróleo, o financiamento do governo para prosseguir as pesquisas e a disponibilidade de matéria-prima (EIDMAN, 2011; HOEKMAN, 2009; SERVICE, 2010; SOMMA et al, 2010; SIMS et al, 2010; TAHERIPOUR e TYNER, 2008).

Os custos de produção são significativamente mais altos do que o de etanol de milho porque os processos de refinamento da biomassa são caros e envolvem muitas etapas. São necessários grandes avanços na tecnologia para viabilizar a segunda geração (SOMMA et al, 2010). Segundo especialistas consultados por Baker e Keisler (2011), o processamento térmico seletivo é o processo mais próspero para produção de etanol de segunda geração, com 80% de chance de ser bem sucedido se tiver investimentos adequados do governo, contra 40% do processo de hidrólise. A gaseificação foi considerada a menos provável de ser bem sucedida, mas as opiniões, para todos os casos, foram variadas.

Devido às incertezas, as projeções para o ano em que os biocombustíveis de segunda geração serão viabilizados comercialmente variam desde 2012 (BAKER e ZAHNISER, 2007) a 2031 (ANAJOVIC, 2011), sendo possível ainda que o salto tecnológico esperado nunca ocorra (RAJAGOPAL et al, 2009). O governo tem investido fortemente no desenvolvimento de refinarias, mas nenhuma está operando em escala comercial (SOMMA et al, 2010).

Quanto à disponibilidade de biomassa, a vantagem desta matéria-prima em relação o milho é a possibilidade de ser produzida em diversas regiões, facilitando a distribuição. No entanto, ainda não se sabe como a biomassa será ofertada continuamente ao longo do ano (SOMMA et al, 2010). Para o USDOE (2011), esse problema limitará a produção de etanol celulósico, enquanto para Langholtz et al (2012), a matéria-prima pode ser garantida por meio de contratos com fazendeiros. Além da questão da produção, é possível ainda que seja necessário ajustar os veículos flex atuais para que rodem com o novo combustível (SOMMA et al, 2010).

Atualmente, a alternativa energética para transporte mais difundida nos Estados Unidos é o etanol de milho. Mais de 95% da gasolina comercializada contém um teor baixo do biocombustível - geralmente em torno de 10% (E10) - para reduzir a poluição atmosférica. Além disso, os veículos *flex* aceitam também o E85, que são misturas contendo entre 51% a 83% de etanol (AFDC, 2012b). No entanto, a demanda pelo combustível é bastante limitada, pois a maior parte dos veículos nas ruas atualmente não é *flex*, e o E85 não se encontra disponível amplamente por todo o território americano (ANDRESS et al, 2012). Mesmo considerando a recente autorização do EPA para vender E15 para veículos convencionais fabricados a partir de 2001, a demanda máxima fica entre 15 e 20 bilhões de galões por ano (ANDRESS et al, 2012; SCHNEPF e YACOBUCCI, 2010; SERVICE, 2010).

O mercado de E10 já está saturado nas regiões próximas aos centros de produção, criando um limite superior para a demanda chamado de *blend-wall* (STROGEN et al, 2012), e o crescimento do consumo de etanol enfrenta diversos entraves. Do ponto de vista logístico, a natureza corrosiva do etanol exige a construção de tanques e dutos específicos para distribuir a produção (ANDREWS et al, 2010; BAKER e ZAHNISER, 2007; GAO, 2009; SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012; SOMMA et al, 2010; WALLS et al, 2011). Um estudo realizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos concluiu que é técnica e economicamente viável

construir dutos exclusivos para etanol desde que a demanda aumente por meio da adoção de E15 e E85 (USDOE, 2010).

Entretanto, os distribuidores de combustível têm relutado em vender E15, pois o produto não pode ser usado em todos os veículos e requer investimento em bombas de abastecimento específicas, com risco de ocorrerem enganos na hora de encher os tanques dos carros. Além disso, seu uso não foi aprovado pelas montadoras (ANDRESS et al, 2012; ANDREWS et al, 2010; MCPHAIL e BABCOCK, 2012; SCHNEPF e YACOBUECCI, 2012; TAHERIPOUR e TYNER, 2008; WALLS et al, 2011).

Do ponto de vista do consumidor, o custo-benefício do combustível alternativo é menor do que o da gasolina, e mesmo que haja interesse em reduzir o consumo de gasolina, a maior parte dos veículos em uso atualmente não são *flex* (ANDRESS et al, 2012). O número de postos com E85 é considerado um limitador da demanda (ANDRESS et al, 2012; MCPHAIL e BABCOCK, 2012; SCHNEPF e YACOBUECCI, 2012; TAHERIPOUR e TYNER, 2008; TYNER et al, 2011; YANO et al, 2010). O E85 representa menos de 0,3% do etanol vendido nos Estados Unidos, e acredita-se que não atingirá 1% até 2018, quando outros combustíveis alternativos podem se tornar competitivos (STROGEN et al, 2012). A adoção de E85 é dificultada em razão do ciclo vicioso entre oferta e demanda: por um lado, os postos de combustível só instalarão bombas de E85 se houver demanda; por outro, os consumidores darão preferência à compra de veículos *flex* se houver E85 disponível nos postos (CORTS, 2010; TOKGOZ et al, 2008).

Outro biocombustível líquido em expansão é o biodiesel, produzido nos Estados Unidos a partir de óleos vegetais ou gordura animal. Suas propriedades físicas são similares às do diesel derivado de petróleo, mas o biodiesel tem saldo menor de emissão de gases de efeito estufa, contribuindo também para a melhora da qualidade do ar. A maioria dos veículos convencionais a diesel pode ser abastecida diretamente com biodiesel, mas as misturas mais comuns são de B5 e B20, que contém, respectivamente, 5% e 20% de biodiesel misturado ao combustível convencional (AFDC, 2012b; ESCOBAR, 2009).

A vantagem do diesel, tanto o produzido a partir de petróleo como de biomassa, é a maior eficiência energética e custo mais baixo em relação à gasolina. Por outro lado, o combustível possui componentes que se cristalizam em baixas temperaturas e interferem no bom

funcionamento do motor (AFDC, 2012b). O uso de diesel nos Estados Unidos está concentrado em veículos médios e pesados (USDOE, 2009). Mesmo que a demanda por veículos leves a diesel duplique nos próximos dez anos, conforme previsão da J.D. Power Automotive Forecasting (apud AFDC, 2012b), não deve ocorrer impacto significativo na demanda por outros combustíveis.

Já os veículos elétricos, se adotados em larga escala, podem reduzir a demanda por todos os tipos de combustível (ANDREWS et al, 2010). Esses automóveis não emitem poluentes pelo escapamento, mas há emissões indiretas associadas à geração de energia elétrica (AFDC, 2012b). O governo tem feito investimentos elevados na tecnologia, como um empréstimo de US\$ 2,6 bilhões a montadoras para instalarem fábricas de veículos elétricos e fundos de US\$ 80 milhões para projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados a baterias e componentes elétricos (ANDRESS et al, 2012).

Esses veículos são divididos em híbridos, híbridos *plug-in* (PHEV³), e totalmente elétricos, com, respectivamente, 31, 2 e 9 modelos em circulação nos Estados Unidos (AFDC, 2012d). Os híbridos simples possuem dois motores, um de combustão interna ou outra fonte de propulsão e outro elétrico, alimentado por uma bateria que armazena a energia normalmente perdida na frenagem e pelo motor tradicional. São abastecidos com combustíveis convencionais ou alternativos, como biodiesel e etanol. Os veículos totalmente elétricos possuem apenas o motor elétrico (AFDC, 2012b).

A diferença entre os híbridos simples e os PHEVs é que estes podem ser plugados diretamente à rede elétrica das residências ou, no caso de frotas, em estacionamentos. Em alguns estados, há estações públicas de carregamento em bibliotecas, shopping centers, hospitais e centros empresariais, que contam atualmente com 4153 postos, número que vem aumentando rapidamente (AFDC, 2012b). Segundo Karplus et al (2010), o preço dos PHEVs é uma barreira significativa para sua penetração no mercado, a não ser que metas agressivas de redução de custo da bateria sejam atingidas. Os autores calculam que, no cenário mais positivo, os PHEVs representarão 5% da frota veicular dos Estados Unidos em 2020, mas para isso são necessários *breakthroughs* tecnológicos para reduzir os custos de produção e poder

³ *Plug-in hybrid electric vehicle.*

disponibilizar os veículos por um preço 15% acima dos convencionais. Do contrário, a participação dos PHEVs nesse ano será insignificante.

As células combustíveis também são movidas a eletricidade, mas esta é gerada no próprio veículo, a partir do hidrogênio. Suas vantagens são a possibilidade de o hidrogênio ser produzido dentro do território americano, as emissões dos veículos serem nulas ou praticamente nulas, e a eficiência de duas a três vezes melhor do que a da gasolina. Atualmente, 95% dos 9 milhões de toneladas de hidrogênio produzidos nos Estados Unidos vêm de gás natural, mas ainda não foi encontrada uma forma de produzir o combustível em larga escala e estocá-lo nos veículos a custos baixos. Governo e indústrias vêm investindo para transpor essas barreiras (AFDC, 2012b). Existem cinco postos de abastecimento de hidrogênio, todos situados no estado da Califórnia (AFDC, 2012a). Apenas um modelo de veículo leve opera com o combustível, o F-Cell da Mercedes Benz (AFDC, 2012d)

O uso de gás natural no transporte não é recente nos Estados Unidos, mas representa apenas 0,1% do consumo total do combustível. Existem duas formas de gás natural utilizadas em veículos: comprimido (chamado de CNG) e liquefeito (LNG). O LNG é mais indicado para tratores que percorrem longas distâncias, pois é mais denso do que o CNG e permite maior autonomia. Cerca de 90% do consumo norte-americano de gás natural é suprido pela produção interna, a partir da extração de poços ou do refino de petróleo (AFDC, 2012b). Entretanto, dada a disponibilidade limitada das reservas, o crescimento do gás como combustível é improvável (ANDRESS et al, 2012). Uma alternativa renovável do gás começou a ser produzida a partir de matérias orgânicas, como resíduos agrícolas e materiais orgânicos em decomposição, como resíduos de plantas, aterros, águas residuais e gado (AFDC, 2012b).

Já o gás liquefeito de petróleo, composto por propano, é um subproduto do processamento de gás natural e refinamento de petróleo, podendo ser usado em veículos leves, médios ou pesados próprios para o combustível. É atrativo porque não depende de importação, tem elevado teor energético, não polui o solo nem a água e é relativamente barato. O ponto negativo é o rendimento menor do que a gasolina para um mesmo volume. Menos de 2% do propano usado nos Estados Unidos é destinado ao transporte (AFDC, 2012b).

Além dos combustíveis alternativos apresentados, há diversos outros em desenvolvimento e com potencial de ganharem mercado, como o hidrocarbono de biomassa (REGALBUTO,

2009 e YANO et al, 2010), derivados de xisto betuminoso e areia betuminosa (USDOE, 2011) e o butanol (SCHNEPF e YACOBUCCI, 2010). A legislação americana considera também metanol, combustíveis série P, biogás e combustíveis XTL⁴ como combustíveis alternativos, mas estes ainda requerem grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento para se tornarem viáveis (AFDC, 2012b). O Quadro 2 resume o nível de maturidade tecnológica das alternativas energéticas sendo consideradas nos Estados Unidos.

Quadro 2 - Alternativas energéticas para transportes nos Estados Unidos

Alternativa	Estágio de desenvolvimento tecnológico
Biocombustíveis de primeira geração (etanol e diesel)	Produzidos em larga escala.
Biocombustíveis de segunda geração (etanol e diesel)	Viáveis tecnicamente, não há consenso quanto ao tempo necessário para que se tornem viáveis comercialmente.
Veículos elétricos	Predominância de modelos híbridos no mercado. Custos de produção elevados. Requer investimentos para infraestrutura de abastecimento.
Células combustíveis	Apenas um modelo comercial. Desafios para produção e estocagem de hidrogênio a custo baixo.
Gás natural	Disponível no mercado, mas com baixa penetração. O crescimento é limitado pela quantidade de reservas naturais. Produção a partir de biomassa em fase inicial.
Outros combustíveis alternativos	Em fase inicial de desenvolvimento, precisam de altos investimentos para se viabilizar em larga escala.

A evolução do mercado automobilístico não depende apenas da superação de barreiras técnicas. As grandes montadoras têm interesse econômico em difundir os biocombustíveis, pois estes requerem poucas modificações no motor a combustão, cuja tecnologia e infraestrutura de produção já está consolidada. As outras alternativas energéticas envolvem investimentos e riscos mais elevados (ZAPATA e NIEUWENHUIS, 2010). Por outro lado, as empresas que investem nessas alternativas desejam que a sua tecnologia seja adotada, e por isso têm pouco interesse no etanol (ROSILLO-CALLE e WALTER, 2006). Rajagopal et al (2009) afirmam que o investimento em exploração de novos combustíveis fósseis é maior do que o investimento em alternativas não-fósseis, comprometendo as metas de redução de emissões.

É preciso também levar em consideração o tempo de vida útil dos veículos. Andress et al (2012) lembram que a transição para novas tecnologias no transporte é lenta, já que os veículos duram, em média, quinze a vinte anos, e há um intervalo entre a adoção de uma

⁴ Para mais informações sobre cada um desses combustíveis emergentes, consulte: <http://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging.html>. Acesso em 02 de outubro de 2012.

inovação pelos consumidores de vanguarda e a população em geral. Browne et al (2012) dizem que mercados de nicho são boas entradas, mas essa penetração inicial não garante que todo o mercado adotará o produto posteriormente. Leite et al (2009), Escobar et al (2009) e Tyner et al (2011) acreditam que os biocombustíveis são apenas parte da solução para transportes; o petróleo não será substituído por um único combustível. Para atender a futura demanda por energia, será necessário desenvolver diferentes tecnologias alternativas, e a adoção dessas tecnologias deverá variar conforme as características de cada região, como a distância em relação ao centro produtor de certo combustível.

3 PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A DEMANDA E OFERTA DE ETANOL NOS ESTADOS UNIDOS

3.1 Legislação americana relacionada ao etanol

O país começou a se preocupar com os efeitos adversos do uso de combustíveis derivados de petróleo no transporte na metade do século XX. Em 1948, uma espessa nuvem de poluição cobriu a cidade industrial de Donora, Pensilvânia, por cinco dias, causando a morte de vinte pessoas e problemas de saúde em outras seis mil. Em Londres, mais de três mil cidadãos morreram em decorrência do que foi apelidado de “nevoeiro assassino”, em 1952. Esses eventos estimularam a criação e aprovação do *Clean Air Act* de 1970, marco da legislação ambiental do país. A lei autorizou o estabelecimento de padrões para emissões de poluentes atmosféricos e exigências para controlar as emissões geradas pelos veículos. No mesmo ano, foi fundada a Agência de Proteção Ambiental (EPA), responsável pela formulação e implementação dos programas previstos pela lei (EPA, 2012).

A indústria de etanol como combustível de transporte surgiu com o *Energy Tax Act* de 1978, que instituiu um crédito fiscal ao distribuidor atacadista que misturasse 10% de etanol à gasolina. Em 1980, o *Omnibus Reconciliation Act* impôs uma tarifa de importação ao etanol a fim de proteger os produtores nacionais (TAHERIPOUR e TYNER, 2008; MACDONALD et al, 2004; YANO et al, 2010). Enquanto o subsídio tornava o etanol mais competitivo, aumentando sua demanda, a tarifa tinha efeito inverso, pois elevava seu preço (SOUZA et al, 2011). Esses incentivos perduraram por mais de três décadas, sendo expirados em dezembro de 2011, quando o governo entendeu que a indústria já estava madura e o orçamento americano sofria com um déficit recorde (CORREA, 2011).

Em 1988, o *Alternative Motor Fuels Act* (AMFA) deu mais um incentivo ao etanol, estendendo os créditos previstos pelo programa *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) de 1975. Inicialmente, o CAFE definia padrões mandatórios de economia de combustíveis para carros e tratores leves, e as montadoras que tivessem desempenho acima dos padrões recebiam “créditos” para cobrir possíveis não adequações nos três anos seguintes. Com o AMFA, esse esquema de créditos foi estendido para montadoras que fabricassem veículos que aceitassem

etanol ou gás natural, tanto isoladamente como combinados a gasolina ou diesel. Segundo relatório do USDOT et al (2002), o AMFA foi um fator decisivo no desenvolvimento e fabricação em grandes volumes de veículos que usam combustíveis alternativos.

Visando a redução problemas de poluição e chuva ácida decorrentes da emissão de substâncias tóxicas na atmosfera, uma emenda do *Clean Air Act* foi aprovada em 1990. A nova lei determinava a adoção de gasolina reformulada - uma mistura de combustível oxigenado à gasolina - nas áreas que excediam o padrão permitido de monóxido de carbono na atmosfera, sendo que algumas áreas eram obrigadas a utilizar apenas nos meses de inverno (EPA, 2012). Os principais aditivos utilizados para oxigenar a gasolina eram o MTBE, baseado em metanol, e o ETBE, baseado em etanol (THOMPSON et al, 2008). Com a crescente preocupação com contaminação de lençóis freáticos por MTBE, diversos estados baniram o aditivo, causando expansão significativa no uso de etanol como aditivo (ANDREWS et al, 2010; FARINELLI et al, 2009; LUCHANSKY e MONKS, 2009; ROSILLO-CALLE e WALTER, 2006; SOLOMON et al, 2007). A exigência de oxigenação da gasolina foi retirada em 2006 (EPA, 2006). No ano seguinte, o MTBE foi extinto (THOMPSON et al, 2008).

O *Clean Air Act* de 1990 teve forte repercussão na demanda por etanol. Até então, o combustível era usado principalmente por razões de segurança energética - como substituto parcial da gasolina por meio do E10 - e de eficiência do motor - como aumentador de octanagem. Com a entrada da lei, passou a ser usado também para melhorar a qualidade do ar, fazendo com que a demanda aumentasse significativamente e forçasse os Estados Unidos passarem da posição de exportadores para importadores do combustível (LEE et al, 1994; RASK, 1998).

O *Energy Policy Act* (EPAct) de 1992 tinha como objetivo reduzir a dependência de petróleo importado e melhorar a qualidade do ar. Entre outras provisões, a lei exigia que frotas federais, estaduais e fornecedoras de combustíveis alternativos adquirissem veículos movidos a combustíveis alternativos (AFDC, 2012c). A gasolina passou a ser misturada com até 7,7% de etanol e o E85 foi classificado como um combustível alternativo, diferentemente do E10 e E15. Em 2005, uma emenda do EPAct estabeleceu o *Renewable Fuels Standard* (RFS), o qual define usos mandatórios de biocombustíveis no transporte. A meta começava com 4 bilhões de galões em 2006 e alcançava 7,5 bilhões em 2012 (EPA, 2010). A lei também incentivou o

desenvolvimento de programas para assistência, demonstração e testes que promovessem a produção e uso de veículos movidos a combustíveis alternativos e avançados (AFDC, 2012c).

Com o crescimento dos biocombustíveis, o governo começou a se preocupar com a disponibilidade de terras e seus impactos na oferta de alimentos. Dessa forma, aprovou em 2007 o *Energy Independence and Security Act* (EISA), que estendeu o programa RFS até o ano de 2022, mas limitou o volume de etanol de milho que pode ser produzido a cada ano. No RFS2, os combustíveis renováveis foram classificados em quatro categorias, que não são excludentes: os combustíveis renováveis totais - que incluem o etanol de milho -, os biocombustíveis avançados, o diesel derivado de biomassa, e o biocombustível celulósico e baseado em resíduos agrícolas (Ilustração 2).

Ilustração 2 - Categorias de combustíveis renováveis
 FONTE: adaptado de SCHNEPF e YACOBUCCI; 2012, p. 3

Essas categorias se diferem em relação à matéria-prima utilizada e as emissões de gases de efeito estufa ocorridas no ciclo de vida total do combustível, conforme apresenta o Quadro 3.

Quadro 3 - Categorias de combustíveis renováveis por redução na emissão de GEE

Categoria	Redução de GEE*	Exemplos
Combustíveis renováveis totais	20%	Todos os combustíveis renováveis, inclusive o etanol de milho
Biocombustíveis avançados	50%	Etanol de cana, biodiesel, biocombustíveis celulósicos (exceto de milho)
Diesel derivado de biomassa	50%	Biodiesel e diesel celulósico
Biocombustível celulósico e baseado em resíduos agrícolas	60%	Derivados de celulose, hemicelulose ou lignina

*Redução percentual mínima em relação a gasolina e diesel em 2005.

FONTE: adaptado de SCHNEPF e YACOBUCCI; 2012, p. 4

Criado pelo EISA 2007, o RFS2 determina metas de consumo para cada uma das categorias a partir de 2008 até 2022, conforme a Tabela 1. Os volumes mandatórios para o ano 2023 em diante serão definidos numa regulamentação futura. Todos os valores apresentados são de consumo mínimo, exceto o do etanol de milho (SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012). Caso a oferta de celulósicos e de biodiesel excedam a meta, a parte excedente pode ser contabilizada como “outros biocombustíveis avançados” (EPA, 2011).

Tabela 1 – Metas de consumo do RFS2 em bilhões de galões

Ano	Total de combustíveis renováveis	Etanol de milho	Biocombustíveis avançados			
			Total avançados	Celulósico	Biodiesel	Outros
2008	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	11,10	10,5	0,60	0,00	0,50	0,10
2010	12,95	12,0	0,95	0,0065	0,65	0,20
2011	13,95	12,6	1,35	0,0066	0,80	0,30
2012	15,20	13,2	2,00	0,00865	1,00	0,50
2013	16,55	13,8	2,75	1,00	1,28	0,75
2014	18,15	14,4	3,75	1,75	1,00	1,00
2015	20,50	15,0	5,50	3,00	1,00	1,50
2016	22,25	15,0	7,25	4,25	1,00	2,00
2017	24,00	15,0	9,00	5,50	1,00	2,50
2018	26,00	15,0	11,00	7,00	1,00	3,00
2019	28,00	15,0	13,00	8,50	1,00	3,50
2020	30,00	15,0	15,00	10,50	1,00	3,50
2021	33,00	15,0	18,00	13,50	1,00	3,50
2022	36,00	15,0	21,00	16,00	1,00	4,00

FONTE: SCHNEPF e YACOBUCCI; 2012, p. 3.

É importante ressaltar que o EPA avalia, no final de cada ano, o potencial de oferta e consumo de cada um dos tipos de combustíveis para o ano posterior, e, caso conclua que os volumes mandatórios estabelecidos inicialmente não podem ser atingidos, deve ajustá-los. Isso tem ocorrido nos últimos anos em relação aos combustíveis celulósicos: os valores iniciais previstos para 2010, 2011 e 2012 eram, respectivamente, de 0,10, 0,25 e 0,50 bilhões de galões, mas foram reduzidos para 0,0065, 0,0066 e 0,00865 bilhões de galões. Por outro lado, as metas de consumo mínimo de biodiesel já foram aumentadas para 2013, passando de 1 bilhão de galões para 1,28 bilhões de galões (SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012). Esses ajustes indicam que o ritmo de desenvolvimento tecnológico dos combustíveis celulósicos não está sendo rápido o suficiente para dar atingir as metas, enquanto o biodiesel provavelmente será consumido em quantidades maiores do que as inicialmente previstas.

Os volumes mandatórios de consumo estabelecidos pelo RFS2 representam um salto no consumo de combustíveis renováveis. O Gráfico 3 faz uma comparação entre a produção histórica de etanol com as quantidades exigidas inicialmente pela lei. Segundo Regalbuto (2009), espera-se que os 36 bilhões de galões exigidos em 2022 substituam 20% da demanda de gasolina.

Gráfico 3 - Produção histórica de etanol até 2007 e metas do RFS2 para os anos de 2008 a 2022, em bilhões de galões.

FONTE: SCHNEPF et al, 2012, p. 3 e RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2012

Cabe ressaltar que essas metas são direcionadas aos distribuidores atacadistas de combustíveis, mas o produto final não precisa ser consumido nos Estados Unidos (YANO et al, 2010). A lei não restringe também o uso de etanol importado (SOUZA et al, 2011). Além das metas de uso de combustíveis renováveis, o EISA atualizou os padrões de economia dos veículos definidos pelo CAFE, ordenando que veículos leves percorram, em média, 35 milhas (aproximadamente 56 quilômetros) por galão de combustível em 2020 (ANDREWS et al, 2010; ANDRESS et al, 2012).

Para garantir disponibilidade de matéria-prima para a produção de biocombustíveis celulósicos, o *Food, Conservation and Energy Act* – ou *Farm Bill* de 2008 – instituiu o *Biomass Crop Assistance Program*. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos foi autorizado a fechar contratos com fazendeiros e assumir até 75% dos custos para estabelecer uma plantação dedicada, reduzindo os riscos associados à transição de biocombustíveis de primeira geração para os celulósicos (GAO, 2010; ANDRESS et al, 2012).

Além do etanol, outras alternativas também recebem incentivos do governo. Em 2009, o *American Recovery and Reinvestment Act* disponibilizou um fundo de 2,4 bilhões de dólares para construir plantas de produção de baterias e outros componentes de veículos elétricos e apoiar projetos de demonstração. A lei também prevê crédito fiscal aos compradores de carros híbridos *plug-in* ou totalmente elétricos, limitado a 200.000 unidades por montadora (ANDRESS et al, 2012). O *Clean Energy and Oil Accountability Act* de 2010 promove o gás natural e oferece incentivos para que caminhões e ônibus municipais convencionais sejam convertidos para operar com gás natural comprimido ou liquefeito (ANDREWS et al, 2010).

3.2 Relação entre os fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados

Unidos

A partir das informações levantadas na literatura, os fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos foram classificados em seis grupos: questões ambientais, segurança energética, disponibilidade de terras, legislação, tecnologia e infraestrutura. O Quadro 4 faz uma síntese dos fatores e alguns subfatores – temas relacionados a um fator mais geral – levantados na literatura.

Quadro 4 - Fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos

Fatores	Descrição	Subfatores
Questões ambientais	Preocupação dos impactos do etanol ao meio ambiente em geral.	Aquecimento global, qualidade do ar.
Segurança energética	Necessidade de buscar alternativas energéticas para reduzir a dependência por petróleo.	Disponibilidade e preço do petróleo.
Legislação	Ações do governo relacionadas à produção e consumo de combustíveis no transporte.	EISA 2007, incentivos fiscais para combustíveis alternativos.
Disponibilidade de terras	Concorrência no uso de terras para produção de biocombustíveis e alimentos.	Limitação legal do volume de etanol de milho que pode ser produzido.
Infraestrutura	Equipamentos e instalações físicas que limitam a adoção de etanol.	<i>Blend-wall</i> de E15 para veículos não- <i>flex</i> , frota reduzida de veículos <i>flex</i> , desafios na distribuição de etanol, postos com E85.
Tecnologia	Evolução dos processos de produção de combustíveis alternativos e dinâmica de adoção.	Biocombustíveis de primeira e segunda geração, coprodutos e subprodutos, outros combustíveis alternativos.

De forma geral, a legislação relacionada ao etanol e outros combustíveis para transporte é reflexo de preocupações ambientais, de segurança energética e disponibilidade de terras. As medidas tomadas pelo governo impactam na demanda e oferta de etanol tanto diretamente, estabelecendo metas de produção e consumo, como indiretamente, moldando a infraestrutura e tecnologia de transportes. Na revisão da literatura, fatores como a preferência do consumidor (PETROLIA et al, 2010 ; USDOE, 2011), eficiência energética dos veículos (ANDREWS et al, 2010), renda (LUCHANSKY e MONKS, 2009) e decisões de investimento em infraestrutura e tecnologia (USDOE, 2011; ZAPATA e NIEUWENHUIS, 2010) mostraram-se menos relevantes no contexto estudado. Isso pode ser explicado pelas incertezas quanto ao futuro do mercado e aspectos regulatórios que o determinam.

Os biocombustíveis emergiram como uma parte da solução para reduzir as emissões de GEE (MORIARTY e HONNERY, 1991). Apesar da polêmica em relação aos seus impactos ambientais, o questionamento em relação à sustentabilidade dos combustíveis mais usados atualmente impulsiona o desenvolvimento do etanol e outras alternativas energéticas (SÁNCHEZ e CARDONA, 2008; ZAPATA e NIEUWENHUIS, 2010). O aquecimento global é considerado um dos principais vetores da legislação americana relacionada aos combustíveis no transporte (CORTS, 2010; RAJAGOPAL e ZILBERMAN, 2007 apud DE GORTER e JUST, 2009; SCHNEPF e YACOBUCI, 2012).

Outro vetor importante é a segurança energética (CORTS, 2010; RAJAGOPAL e ZILBERMAN, 2007 apud DE GORTER e JUST, 2009; ROSILLO-CALLE e WALTER, 2006; SORDA et al, 2010). A expectativa de crescimento da demanda mundial de energia, o esgotamento das reservas de petróleo e a instabilidade política no Oriente Médio apontam para a elevação do preço do petróleo no longo prazo (ROSILO-CALLE e WALTER, 2006; SERRA et al, 2011). Esse quadro estimula a demanda por todas as tecnologias alternativas para o transporte (ZAPATA e NIEUWENHUIS, 2010), e uma fatia maior da produção de milho pode ser deslocada para a produção de etanol até 2030 (HERTEL, 2011). Por outro lado, o uso dessas alternativas pode reduzir o preço da gasolina e diesel, gerando US\$ 12 bilhões em economia em 2022 (SCHNEPF e YACOBUCI, 2012).

Há controvérsias quanto à relação entre o preço da gasolina e demanda por etanol. Para Anderson (2011), quando a gasolina está relativamente mais barata do que o etanol, a demanda por este diminui. No entanto, há outros aspectos a serem considerados. Toda a

gasolina americana contém cerca de 10% de etanol, e, por isso, um aumento na demanda por gasolina resulta em aumento também na demanda por etanol. Segundo Luchansky e Monks (2009) e Taheripour e Tyner (2008), o aumento na demanda por E10 compensa a redução na demanda por E85, e o resultado final é o aumento no consumo de etanol.

Questiona-se, também, o grau de segurança energética proporcionado pelo etanol de milho, já que podem ocorrer quebras de safra decorrentes de eventos climáticos, como o próprio aquecimento global (EAVES e EAVES, 2007; THOMPSON et al, 2011b). Mesmo o etanol celulósico não é considerado um substituto perfeito do petróleo, pois envolve uso intensivo de combustíveis não renováveis na produção (FELIX e TILEY, 2009). Schnepf e Yacobucci (2012) calculam que o etanol deve representar 7% do consumo de combustíveis no transporte em 2022, proporcionando pouca melhora na segurança energética da nação. Eaves e Eaves (2007) concluem que o uso de etanol apenas desloca a instabilidade geopolítica pela de produção de milho, que tem sido duas vezes mais volátil que a importação de petróleo.

Historicamente, a relação entre energia e preços de produtos agrícolas era fraca, mas com o aumento do uso de biocombustíveis, esse cenário mudou (TAHERIPOUR E TYNER, 2008). Em 1980, Meekhof e Tyner previram que a competição por terras poderia limitar o mercado de etanol. Schnepf e Yacobucci (2012) preveem que as exportações de milho em 2022 sejam 8% menores do que em 2011 devido ao seu uso para produção de etanol. Há um consenso geral de que, para que o mercado de biocombustíveis continue crescendo, é necessário melhorar os processos de produção, especialmente as tecnologias de segunda geração (HOEKMAN, 2009; HUSSAIN et al, 2012; LIMAYEN E RICKE, 2012; NIGAM e SINGH, 2011; RAJAGOPAL et al, 2009).

O uso de biocombustíveis líquidos é incentivado pela política, por meio de regulamentação e incentivos (HOEKMAN, 2009; ROSILLO-CALLE e WALTER, 2006). No passado, os fatores mais relevantes foram os subsídios, tarifas de importação e proibição do uso de MTBE. Atualmente, os trabalhos discutem as metas de consumo de combustíveis renováveis estabelecidas pelo RFS2 e incentivos fiscais para o etanol e outras alternativas. As metas funcionam como o limite inferior da demanda (MCPHAIL e BABCOCK, 2012; SOUZA et al, 2011). Porém, dados os incentivos fiscais, o etanol de primeira geração tem sido consumido acima desses níveis (BABCOCK, 2010 apud YANO et al, 2010 e WALLS, 2011), enquanto a

produção de etanol celulósico tem ficado aquém da exigida inicialmente (ANDRESS et al, 2012; SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012).

No curto prazo, as metas não elevam a produção, apenas o preço do produto (LUCHANSKY e MONKS, 2009; TIMILSINA et al, 2011). Considerando a velocidade de desenvolvimento tecnológico, as metas do RFS2 para etanol celulósico provavelmente não serão cumpridas (TYNER et al, 2011). A atuação do governo é fundamental para que haja inovação e os volumes mandatórios sejam cumpridos (JENSEN et al, 2011; RAJAGOPAL et al, 2009). Para estimular a produção de etanol e outras alternativas, o governo financia pesquisas e dá incentivos fiscais (DE GORTER e JUST, 2009), inclusive para construir a infraestrutura necessária para a disponibilização dos combustíveis ao consumidor (ANDRESS et al, 2012).

Comparado a outras alternativas, os biocombustíveis exigem menos alteração na estrutura doméstica existente (RAJAGOPAL et al, 2009). No entanto, são necessários investimentos para que o mercado continue expandindo (ANDRESS et al, 2012). Na configuração atual, o número reduzido de postos com E85 e o *blend-wall* de E15 funcionam como o limite superior da demanda. Como não se espera um aumento significativo da frota de veículos *flex* (MCPHAIL e BABCOCK, 2012), é possível que as metas do RFS2 sejam atingidas fora do território americano, por meio da exportação (YANO et al, 2010). O trabalho de Zhang et al (2010) traz uma conclusão que vai contra a intuição: a elevação do *blend-wall* de E10 para E15 resulta em maior consumo de petróleo, pois eleva o preço do etanol e torna a gasolina mais atrativa.

O esquema apresentado na Ilustração 3 mostra como os principais fatores levantados se relacionam de uma forma geral. O sentido das setas não indica relação de causa e efeito, mas de relevância. Por exemplo, a flecha que sai de “questões ambientais” indica que estas são relevantes na definição da legislação relacionada ao etanol. O contrário também ocorre, bem como relações entre fatores não representadas na ilustração, mas o esquema destaca apenas as aquelas mais relevantes para o presente estudo, cujo objetivo é prospectar os principais fatores que modelam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos.

Ilustração 3 - Relação entre os fatores que afetam a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos.

Considerando o contexto energético americano, pode-se esperar que as forças que orientam a legislação se manterão ao longo dos próximos anos. Podem ocorrer mudanças na infraestrutura, mas como estas requerem investimentos elevados e tempo, os efeitos no volume consumido de etanol devem aparecer de forma lenta. A maior incerteza se encontra na tecnologia, tanto de etanol de segunda geração como de outros combustíveis alternativos. É preciso haver saltos tecnológicos para que haja mudanças significativas no mercado americano de combustíveis para transporte. Para Escobar et al (2009) e Tyner et al (2011), o etanol não será a única alternativa à gasolina no transporte. A relação da tecnologia com a segurança energética, alimentar e ambiental será determinante na sua adoção em larga escala (RAJAGOPAL et al, 2009).

O Quadro 5 apresenta uma síntese das movimentações esperadas de cada um dos principais fatores que devem afetar a demanda e oferta de etanol dos Estados Unidos nos próximos anos. Essas informações serão o insumo utilizado para delinear cenários para o mercado americano do combustível em 2022.

Quadro 5 - Síntese dos fatores e sua influência na demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos

Fator	Como influencia o mercado americano de etanol	Fontes
<i>Questões ambientais</i>	Os impactos da produção de biocombustíveis em geral ao meio ambiente são controversos, e por isso sua expansão deve ser feita com cautela.	ANAJOVIC (2011); BLOTTNITZ e CURRAN (2007); KLEINER (2008); PIMENTEL (2003); SCHNEPF e YACOBucci (2012); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); REJINDERS (2006); UGARTE et al (2010).
• Aquecimento global	Apesar das dúvidas em relação ao potencial do etanol de reduzir as emissões de GEE, seu uso é estimulado nos Estados Unidos.	ANDRESS et al (2012); CORTS (2010); DE GORTER e JUST (2009); EPA (2010b); ESCOBAR et al (2009); FARGIONE et al (2008); GALLAGHER et al (2003); HOEKMAN (2009); LIMAYEN e RICKE (2012); MCGOWAN (1991); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SEARCHINGER et al (2008); SOLOMON et al (2007); STROGEN et al (2012).
• Qualidade do ar	Problemas relacionados à poluição atmosférica forçam a adoção de combustíveis alternativos no transporte, especialmente por meio da legislação.	CORTS (2010); DE GORTER e JUST (2009); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SCHNEPF e YACOBucci (2012).
<i>Segurança energética</i>	Mesmo havendo discordância quanto à capacidade de o etanol gerar estabilidade no suprimento energético, a segurança energética é um aspecto importante na definição de ações americanas para o setor de transporte.	CORTS (2010); DE GORTER e JUST (2009); EAVES e EAVES (2007); FELIX e TILLEY (2009); GALLAGHER et al (2003); HOEKMAN (2009); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SCHNEPF e YACOBucci (2012); SORDA et al (2010); WALLS et al (2011).
• Disponibilidade de petróleo	O iminente esgotamento das reservas de petróleo, a instabilidade política do Oriente Médio e crescimento do consumo mundial de energia forçam os países a procurarem novas alternativas energéticas.	CORTEZ et al (2003); EAVES e EAVES (2007); ESCOBAR et al (2009); FARINELLI et al (2009); HIRA (2011); SINGH et al (2010); SOLOMON et al (2007); THOMPSON et al (2011a).
• Preço do petróleo	O etanol é um substituto parcial da gasolina, e por isso o preço de um afeta a demanda pelo outro. A tendência de elevação dos preços do petróleo estimula o desenvolvimento de alternativas à gasolina.	LIMAYEN e RICKE (2012); LUCHANSKY e MONKS (2009); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SCHNEPF e YACOBucci (2012); SERRA et al (2011); THOMPSON et al (2011a); TIMILSINA et al (2011); ZAPATA e NIEUWENHUIS (2010).
<i>Legislação</i>	O governo vem incentivando o uso de etanol por meio da legislação. Os subsídios ao etanol de milho e tarifas de importação deixaram de existir no final de 2011, mas há outras formas de incentivo.	FARINELLI et al (2009); HOEKMAN (2009); JENSEN et al (2011); RAJAGOPAL et al (2009); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SOLOMON et al (2007); USDOE (2010).
• EISA 2007 e metas de consumo de combustíveis renováveis	As metas definidas no RFS2 funcionam como o limite inferior da demanda por combustíveis renováveis. Como não há restrições para etanol importado, essas metas podem ser atingidas com produção externa. No entanto, se, de alguma forma, a produção superar as metas, esta lei deixará de afetar a demanda por etanol.	ANDRESS et al (2012); LUCHANSKY e MONKS (2009); MCPHAIL et al (2012); SOUZA et al (2011); THOMPSON et al (2011b).

<ul style="list-style-type: none"> • Políticas de incentivo a combustíveis alternativos 	O governo oferece incentivos para diversas alternativas para os transportes, inclusive para a instalação de estrutura de distribuição para biocombustíveis, eletricidade e hidrogênio.	ANDRESS et al (2012); KHANNA et al (2008).
<i>Disponibilidade de terras</i>	Preocupações relacionadas à expansão dos biocombustíveis e o preço dos alimentos limitam a expansão do etanol.	ANAJOVIC (2011); ANDRESS et al (2012); KENDALL e PIMENTEL (1994 apud EAVES e EAVES 2007); HERTEL (2011); LUCHANSKY e MONKS (2009); SCHNEPF e YACOBUCCI (2012); TAHERIPOUR e TYNER (2008); TIMILSINA et al (2011) .
<ul style="list-style-type: none"> • Limitação legal da quantidade de etanol de milho que pode ser consumido nos EUA 	Definido pelo EISA 2007, não há evidências de que este limite será modificado nos próximos anos. Espera-se que melhorias no processo de produção sobreponham a limitação.	HOEKMAN (2009); LIMAYEN e RICKE (2012); NIGAM e SINGH (2011); RAJAGOPAL et al (2007).
<i>Infraestrutura</i>	Há um círculo vicioso que limita o desenvolvimento da infraestrutura para o etanol: os postos só instalarão bombas de E85 se houver demanda, e os consumidores só darão preferência à compra de veículos <i>flex</i> se houver disponibilidade de E5 nos postos.	CORTS (2010); SCHNEPF e YACOBUCCI (2012); TOKGOZ et al (2008).
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Blend-wall</i> de E15 	Funcionam como o limite superior da demanda por etanol. Produtores nacionais de etanol já estudam possibilidade de exportar seus excedentes de produção, já que as metas do RFS2 são para os distribuidores atacadistas, e o produto final pode ser consumido no exterior.	ANDRESS et al (2012); ANDREWS et al (2010); MCPHAIL e BABCOCK (2012); SCHNEPF e YACOBUCCI (2012); YANO et al (2010).
<ul style="list-style-type: none"> • Frota de veículos <i>flex</i> 	O tamanho da frota limita severamente o consumo de etanol. Seria necessária uma expansão expressiva de veículos <i>flex</i> , mas é improvável que isso ocorra nos próximos anos.	MCPHAIL e BABCOCK (2012); SCHNEPF e YACOBUCCI (2012); SERVICE (2010); STROGEN et al (2012); TYNER et al (2011).
<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição 	O etanol tem a vantagem que requer poucas mudanças na estrutura de transportes do que outras alternativas, mas natureza corrosiva do etanol requer adaptações para distribuição. Mesmo com apoio do governo, o custo de instalação dessa estrutura limita o etanol.	ANDRESS et al (2012); ANDREWS et al (2010); BAKER e ZAHNISER (2007); GAO (2009); HOEKMAN (2009); RAJAGOPAL et al (2009); SERVICE (2010); STROGEN et al (2012); USDOE (2010); USDOE (2011); WALLS et al (2011).
<ul style="list-style-type: none"> • Postos com E85 	Há escassez de postos de abastecimento com E85, impedindo seu consumo mesmo que haja carros <i>flex</i> .	ANDRESS et al (2012); HOEKMAN (2009); MCPHAIL e BABCOCK (2012); SCHNEPF e YACOBUCCI (2012); TAHERIPOUR e TYNER (2008); TOKGOZ et al (2008); TYNER et al (2011).
<i>Tecnologia</i>	Introduzir uma nova tecnologia no setor de transportes requer investimentos elevados, e o retorno é demorado devido ao tempo de vida útil médio dos veículos. São necessários incentivos legais para a inovação.	ANDRESS et al (2012); BROWNE et al (2012); RAJAGOPAL et al (2009); USDOE (2011); ZAPATA e NIEUWENHUIS (2010);

<ul style="list-style-type: none"> • Biocombustíveis de segunda geração 	<p>A viabilização de biocombustíveis de segunda geração em escala comercial enfrenta desafios técnicos, econômicos e políticos. As metas do RFS2 para esta categoria de combustíveis têm sido reduzidas. Não há consenso em relação ao tempo necessário para a produção de etanol de segunda geração em escala comercial.</p>	<p>ANAJOVIC (2011); ANDRESS et al (2012); BAKER e ZAHNISER (2007); EIDMAN (2011); HOEKMAN (2009); JENSEN et al (2011); MCPHAIL e BABCOCK (2012); NIGAM e SINGH (2011); LANGHOLTZ et al (2012); ROSILLO-CALLE e WALTER (2006); SERVICE (2010); TAHERIPOUR e TYNER (2008); TYNER et al (2011); USDOE (2011).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Outros combustíveis alternativos 	<p>Diversas tecnologias competem com os biocombustíveis, sendo a eletricidade uma das mais promissoras. Provavelmente, não surgirá apenas uma tecnologia dominante, mas sim um conjunto, em que o etanol pode estar incluído.</p>	<p>ANDREWS et al (2010); ESCOBAR et al (2009); LEITE et al (2009); TYNER et al (2011).</p>

4 METODOLOGIA

De acordo com Bishop et al (2007), é importante estudar o futuro porque ele é incerto, e pessoas e organizações precisam estar preparadas para diversas situações, não apenas a mais provável. Os artigos apresentados nesta seção foram selecionados a partir de pesquisa na base Scopus, e apenas os publicados em revistas avaliadas como A1, A2 e B1 pela CAPES foram utilizados. Uma síntese de diversas técnicas existentes para a construção de cenários voltados para a decisão encontra-se no item 4.1. O item 4.2 apresenta a abordagem escolhida para ser usada neste trabalho, considerando seus objetivos. A teoria sobre o método encontra-se em 4.3, enquanto exemplos de aplicação encontram-se em 4.4. A partir dos conhecimentos adquiridos, é detalhado, no item 4.5, o processo de construção de cenários utilizado na prospecção de cenários para demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos até 2022.

4.1 Abordagens para a construção de cenários

Existem, basicamente, duas formas estruturadas de delinear o futuro: pela previsão e pela prospecção. Cada uma utiliza pressupostos e métodos distintos, sendo que a primeira é mais indicada em casos em que se espera a continuidade dos fatos, enquanto a segunda é adequada para ambientes instáveis. O principal instrumento utilizado nas previsões são modelos de simulação, enquanto as prospecções utilizam técnicas de geração de cenários. Em alguns casos, são usados modelos de simulação para ilustrar e testar cenários (DEPARTAMENTO DE PROSPECTIVA E PLANEAMENTO, 1997). As diferenças entre as duas abordagens estão expostas no Quadro 6.

Quadro 6 - Diferenças entre as abordagens de previsão e prospecção

Previsão	Prospecção
Origina projeções sobre um único ponto	Origina imagens diversas, mas lógicas, do futuro
Privilegia as continuidades	Considera as rupturas
Prevalece a abordagem quantitativa sobre a qualitativa	Alia a abordagem qualitativa com a quantitativa
Ocultos os riscos e incertezas	Destaca os riscos e incertezas

Fonte: Departamento de Prospectiva e Planejamento, 1997, p. 10.

Geralmente, o futuro é uma continuação do passado, mas é preciso cautela quando há expectativa de mudanças radicais no ambiente. Nesse caso, em vez de procurar deduzir o futuro de forma exata a partir de dados do passado e do presente, é mais indicado o uso de cenários (WACK, 1985a). Estes podem ser definidos como “um produto que descreve alguns estados futuros possíveis e/ou contam uma história explicando como esses estados podem ocorrer” (BISHOP et al, 2007, p. 8). Seu objetivo não é acertar o futuro, mas desafiar paradigmas e alertar para possíveis eventos que podem não estar recebendo a devida atenção (SCHOEMAKER, 1995). Podem ser usados por empresas, cientistas, governos, e institutos que estudam tendências (BRADFIELD et al, 2005).

Segundo Schwartz (2004), os cenários têm o objetivo de produzir um entendimento mútuo para que as pessoas ajam em direção a um objetivo comum. As técnicas de geração de cenários são capazes de organizar uma variedade de informações econômicas, tecnológicas, competitivas, políticas e sociais aparentemente não relacionadas e convertê-las em instrumento para decisões. Nas empresas, auxiliam tanto na proteção, antecipando e entendendo riscos, como no empreendimento, descobrindo opções estratégicas não consideradas antes (WACK, 1985b). Segundo Malaska (1984 apud BRADFIELD et al, 2005), cenários são mais usados por empresas de grande porte que operam em indústrias intensivas de capital, cujo planejamento estratégico é de longo prazo, como companhias de petróleo e de transportes.

O conceito de cenários é antigo e foi usado em estratégias militares ao longo da história, mas as técnicas modernas emergiram por volta da década de 60, nos Estados Unidos e França. Nos EUA, a técnica foi desenvolvida por Herman Kahn, conhecido como pai do planejamento de cenários, na *Rand Corporation*, grupo de pesquisa que trabalhava para a força aérea nacional. Na década de 60, Kahn fundou o *Hudson Institute* e passou a usar o método para definir políticas públicas. Pouco depois, Gordon e Helmer, também ex-funcionários da *Rand*, foram motivados pela publicidade e controvérsia dos livros de Kahn para fundar o *Institute of the Future*, em conjunto com membros do *Futures Group* do Instituto de Pesquisa de Stanford e o Instituto de Tecnologia da Califórnia. Apesar das diferenças, ambos os institutos fazem parte da “escola de lógica intuitiva” (BRADFIELD et al, 2005).

O ponto forte dessa escola é a capacidade de desenvolver cenários flexíveis e internamente consistentes a partir de uma perspectiva lógica e intuitiva. Por não se basear em algoritmos

matemáticos prontos, pode se ajustar às necessidades peculiares e ao ambiente político da organização (HUSS e HONTON, 1987).

Outra abordagem desenvolvida nos Estados Unidos é a que Bradfield et al (2005) chamam de “escola da tendência probabilística modificada”. Esta abrange dois métodos distintos: a análise de impacto das tendências e a análise de impacto cruzado. A primeira se baseia em variáveis-chave dependentes que são ajustadas conforme a ocorrência de eventos de impacto. Seu ponto forte é a combinação dos métodos quantitativos tradicionais, como séries de tempo e econometria, com fatores qualitativos. No entanto, a técnica não avalia os impactos que os eventos podem ter uns nos outros. Esse efeito é considerado na análise de impacto cruzado, mas devido à sua complexidade, requer o uso de programas de computador próprios, como o INTERAX e o BASICS (HUSS e HONTON, 1987). Ambas as técnicas geram uma gama de futuros alternativos, em vez de uma extrapolação única de dados históricos, e quando combinadas a julgamentos e narrativas, constituem cenários (BRADFIELD et al, 2005).

Na França, os cenários começaram a ser desenvolvidos na década de 70 por Godet, então diretor do Departamento de Estudos do Futuro na SEMA (empresa que trabalhava no setor de defesa nacional). Baseado em uma metodologia desenvolvida por Berger, o *La prospective* de Godet tem uma abordagem mais matemática e probabilística, e há vários programas de computador próprios que permitem lidar com essa complexidade (BRADFIELD et al, 2005). Segundo Jouvenel (2000), *La prospective* é um método que, mais do que dar visão acerca do futuro, auxilia na sua construção, pois tem a ideia de proatividade, diferente da abordagem americana. Ele parte do pressuposto de que se o futuro depende de decisões que ainda não foram tomadas, naturalmente é impossível prevê-lo, e por isso o uso de cenários é mais adequado do que a previsão de um único futuro.

A Shell, com ajuda do *Hudson Institute*, foi uma das pioneiras no uso de cenários para tomada de decisões. Na década de 60, a empresa procurava uma forma de avaliar a viabilidade de expandir suas atividades, cujos investimentos eram elevados e envolviam um horizonte de planejamento de maior do que o tradicional, de seis anos. Ao expandirem sua visão de longo prazo, foram capazes de antecipar e preparar-se para o primeiro choque do petróleo, em 1973 (WACK, 1985a). Seu sucesso encorajou a adoção das técnicas em diversas empresas (CHERMACK et al, 2001). Segundo Wack (1985a, 1985b), um dos criadores do sistema Shell de planejamento de cenários de longo prazo, um dos pontos mais difíceis do processo foi

convencer os executivos a aceitarem as rupturas apresentadas em alguns cenários. Foram necessárias várias tentativas de comunicação para romper o modelo mental dos tomadores de decisão e gerar ações efetivas de preparo a mudanças.

Com a popularização dos cenários, surgiu uma variedade de modelos e técnicas de construção de cenários, mas a mais comum continua sendo a abordagem utilizada pela Shell (BISHOP et al, 2007). Muitas vezes, a praticabilidade das técnicas que surgem é questionada (VARUM e MELO, 2010). Para dar ordem ao chamado “caos metodológico” (MARTELLI, 2001, apud BRADFIELD et al, 2005, p. 795), vários autores têm se proposto a revisar definições e classificar as técnicas de cenários. O Quadro 7 apresenta alguns desses autores e suas formas de classificar as técnicas que encontraram na literatura.

Quadro 7 - Formas de categorizar técnicas de cenário

Autor(es)	Categorias
Huss e Honton (1987)	Lógica intuitiva; Análise de impacto de tendências; Análise de impacto cruzado
Chermack et al (2001)	GBN; Escola francesa; <i>The Futures Group</i> ; Cenários de referência; <i>Decision Strategies International</i> ; Cenário processual; Cenário da indústria; Criatividade branda
Bradfield et al (2005)	Lógica intuitiva / Abordagem Shell; <i>La prospective</i> ; Tendência probabilística modificada
Borjeson et al (2006)	Preditiva; Exploratória; Normativa
Bishop et al (2007)	Julgamento; Referência / Esperado; Cenários fixos; Sequência de eventos; <i>Backcasting</i> ; Dimensões da incerteza; Análise de impacto cruzado; Modelagem

A questão da avaliação da qualidade de cenários é quase ausente na literatura. De um modo geral, eles devem dar uma visão sistêmica do ambiente estudado, ser relevante e desafiar o microcosmo dos tomadores de decisão, contar múltiplas histórias e examinar forças ambientais aparentemente pouco relacionadas (CHERMACK et al, 2001). Nowack et al (2011) afirmam que os critérios de qualidade são a objetividade, credibilidade, legitimidade, transferabilidade e criatividade. A objetividade se refere aos possíveis vieses causados pelo pesquisador. Credibilidade sintetiza a qualidade de padrões científicos de validade interna e confiabilidade. A transferabilidade avalia a relevância dos cenários num contexto amplo, enquanto a legitimidade se foca na perspectiva de seus usuários de fato. Por fim, a criatividade julga as inovações e efeitos estimulantes dos cenários.

4.2 A abordagem empregada na pesquisa

De acordo com Smith et al (2005), as incertezas características do setor energético dificultam sua previsão por meio de ferramentas clássicas como simulação e regressão. A partir da revisão da literatura sobre o futuro do setor de transportes nos Estados Unidos, foram constatadas grandes incertezas, principalmente em relação aos avanços tecnológicos em combustíveis alternativos à gasolina. A abordagem lógico-intuitiva foi escolhida para ser utilizada na pesquisa porque enfatiza aspectos qualitativos e é capaz de abranger as incertezas identificadas.

Essa abordagem integra um conjunto de fatores políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ecológicos e legais que vão moldar o futuro (WRIGHT et al, 2013). A maior parte desses fatores é externa à companhia. Alguns são precisos, quantificáveis e, até certo ponto, previsíveis, mas outros são imprecisos, qualitativos e menos previsíveis (HUSS e HONTON, 1987). A ideia central do processo é considerar todos esses elementos e criar um conjunto de narrativas coerentes e plausíveis sobre o futuro, a fim de testar planos de negócio e projetos, promover debates ou simplesmente aumentar o entendimento geral do ambiente em estudo (POSTMA e LIEBL, 2005).

A *SRI International* sugere o uso da técnica como forma de avaliar riscos, antecipar mudanças críticas e identificar possíveis conflitos entre as metas da organização (HUSS e HONTON, 1987). Em vez de apenas reagir às mudanças, uma organização que faz cenários pode antecipá-las e estar mais preparada com elas ocorrerem, dando-lhe vantagem competitiva (SHELL, 2008).

4.3 A abordagem lógico-intuitiva na literatura

Essa abordagem começou a ser desenvolvida em 1965 na Shell e foi descrita pela primeira vez por Pierre Wack, um de seus desenvolvedores, em 1985, na *Harvard Business Review*. A partir disso, a técnica se popularizou, sendo adaptada e utilizada por diversas organizações e instituições, como a SRI, GBN e SAMI-Consulting (RINGLAND, 2006).

O processo de geração de cenários é flexível, podendo combinar diversas ferramentas para sua elaboração (HEINIMO et al, 2008). Isso pode ser observado na revisão teórica da abordagem lógico-intuitiva. Embora não haja um padrão único, é possível identificar uma estrutura básica nos artigos pesquisados, conforme apontaram Postma e Liebl (2005). Essa estrutura é descrita a seguir. Cabe lembrar que o processo não é linear, mas iterativo (PETERSON et al, 2003).

O primeiro passo é identificar uma questão central de grande relevância, seja pessoal ou institucional. Podem ser, por exemplo, decisões de construção de uma nova fábrica, alocação de recursos, desenvolvimento de novos produtos ou mudança de área profissional (HUSS e HONTON, 1987; SCHWARTZ, 2004). Nessa fase, é definido o escopo do projeto, como o horizonte temporal, área geográfica, mercado consumidor, produtos e tecnologia (RINGLAND, 2006; SCHOEMAKER, 1995; WALSH, 2005; WRIGHT et al, 2013). É preciso haver foco para que o trabalho seja útil (PETERSON et al, 2003). Uma descrição mais completa do projeto pode incluir os financiadores e os usuários finais, dar uma justificativa para a escolha do método, descrever os resultados esperados, a equipe de trabalho, o tempo disponível, os custos e sua aplicação final. Dependendo do número de participantes no projeto, pode-se designar uma pessoa para mediar as discussões (SHELL, 2008).

Após a identificação do foco dos cenários, é realizado um levantamento dos fatores que podem influenciar o ambiente estudado, moldando seu futuro. São analisadas questões de mercado, política, economia, tecnologia, meio ambiente, entre outras (HUSS e HONTON, 1987, SCHOEMAKER, 1995; SCHWARTZ, 2004). Isso pode ser feito de várias formas, como por meio de revisão da literatura, *brainstorming* com a equipe de projeto, entrevistas com especialistas e consultoria externa (HUSS e HONTON, 1987; SCHWARTZ, 2004; SHELL, 2008, WRIGHT et al, 2013). Schoemaker (1995) propõe a identificação dos principais *stakeholders* – clientes, fornecedores, concorrentes, empregados, acionistas, governo – e seus anseios a fim de entender a dinâmica do ambiente.

Postma e Liebl (2005), Schwartz (2004) e Shell (2008) classificam os fatores levantados em elementos predeterminados e incertezas. Os primeiros são aqueles que parecem certos, não importando qual cenário venha a ocorrer. Dessa forma, os cenários não podem diferir sobre elementos predeterminados, como, por exemplo, o envelhecimento da população. Já os fatores cujo desenrolar futuro são menos previsíveis são chamados de incertezas e devem receber mais atenção. Estas podem ser hierarquizadas em termos de grau de incerteza e importância no

ambiente estudado. É preciso que a organização tenha capacidade de integrar grandes quantidades de informações (RINGLAND, 2006).

A terceira etapa visa a identificar os principais fatores a serem considerados na geração de cenários. É feita uma análise de cada um dos fatores em termos de sua história, tendências, incertezas críticas e inter-relações (HUSS e HONTON, 1987). Podem ser formados grupos, ou *clusters*, de acordo com seu tema ou grau de relevância, a fim de reduzir o número de variáveis e tornar o problema mais fácil de administrar (POSTMA e LIEBL, 2005; RINGLAND, 2006; SCHWARTZ, 2004; WALSH, 2005). Schoemaker (1995) sugere fazer um diagrama de influência com os fatores a fim de compreender relações de causalidade.

As principais incertezas identificadas são a base para construção dos cenários. Inicialmente, pode-se agrupar todos os elementos positivos – em relação à estratégia atual – em um cenário e todos os negativos no outro, a fim de obter combinações extremas (SCHOEMAKER, 1995). No entanto, não se deve nomear os cenários como “otimista” e “pessimista”, pois todos apresentam tanto oportunidades como ameaças, dependendo da estratégia adotada pela organização (HUSS e HONTON, 1987).

Outra forma de delinear os cenários iniciais é selecionando duas ou três principais incertezas – em termos de previsibilidade e impacto no ambiente – e combinando seus *outcomes* extremos de forma imaginativa mas plausível (PETERSON et al, 2003; POSTMA e LIEBL, 2005; SCHOEMAKER, 1995; SCHWARTZ, 2004; WRIGHT et al, 2013). O uso de apenas duas ou três incertezas pode parecer uma simplificação grosseira da realidade, mas a experiência ao longo dos anos mostra que a inclusão de muitos fatores consome muitos recursos e não oferece mais descobertas do que uma lógica desenvolvida cuidadosamente com poucas variáveis (RINGLAND, 2006). A inclusão de muitas variáveis aumenta a complexidade do exercício, que pode acabar não produzindo resultado algum (SCHWARTZ, 2004).

Os cenários iniciais são submetidos à análise de consistência e plausibilidade, e aqueles que não atendem a esses requisitos são descartados. De acordo com Schoemaker (1993), existem três tipos de consistência que devem ser checados: a) consistência de tendência; b) consistência de *outcomes*; e c) consistência de *stakeholders*. A primeira verifica se as tendências consideradas são coerentes com o horizonte de tempo estudado. A segunda se refere à coerência entre os *outcomes* combinados. Por exemplo, um cenário de pleno emprego

é inconsistente com inflação zero. Por fim, os cenários devem assegurar que seus principais agentes estão numa posição relativamente estável e coerente com seus objetivos. A plausibilidade é baseada no comportamento passado das forças que influenciam o ambiente (PETERSON et al, 2003; SCHWARTZ, 2004).

O resultado do processo são, no máximo, quatro padrões internamente consistentes para o futuro. Apenas dois não desafiam o modelo mental dos tomadores de decisão, enquanto mais de quatro podem confundi-los (PETERSON et al, 2003). Alguns autores sugerem três, sendo um considerando um futuro livre de surpresas e os outros dois explorando incertezas críticas, de modo que o conjunto de cenários esclareça as principais forças que direcionam o sistema, como se relacionam e podem impactar o ambiente industrial no futuro (CHERMACK et al, 2001; WACK, 1985b). Apesar de terem características peculiares, os cenários resultantes não precisam ser mutuamente exclusivos; alguns elementos podem se repetir (SCHWARTZ, 2004). O importante é que os cenários sejam diferentes em pontos relevantes para a tomada de decisões (RINGLAND, 2006; SCHOEMAKER, 1995). É aconselhável imaginar pelo menos um cenário que assuste os usuários, para força-los a pensar além do que estão acostumados sem, no entanto, paralisá-los (SCHWARTZ, 2004).

Os cenários gerados recebem nomes e uma narrativa explicando como o cenário atual pode evoluir para cada um dos futuros delineados. Os nomes devem ser marcantes e fáceis de decorar, evitando-se rótulos como “melhor caso” e “caso mais provável”, pois as pessoas tendem a basear-se apenas no mais provável para tomar decisões (BISHOP et al, 2007; NOWACK et al, 2011; SCHWARTZ, 2004; WACK, 1985b). Considerando as estruturas causais, os cenários são completados com eventos, tendências e padrões consistentes com cada um (POSTMA e LIEBL, 2005; WRIGHT et al, 2013). Não há regras quanto ao conteúdo, extensão e organização das narrativas; elas devem ser adequadas à audiência e ao objetivo do projeto (HUSS e HONTON, 1987; WALSH, 2005).

Schwartz (2004) propõe diversos enredos capazes de capturar a dinâmica dos cenários e comunicar seus pontos principais de forma eficiente⁵. Por exemplo, o enredo “revolução” prevê descontinuidades, enquanto “evolução” sugere mudanças lentas para determinada direção. Podem ocorrer, também, combinações de enredos em alguns cenários. Mais do que

⁵Para mais detalhes dos oito enredos propostos, consulte SCHWARTZ (2004).

prever com precisão os eventos que ocorrerão, é importante destacar a dinâmica entre os fatores que moldam o ambiente. As situações relatadas são alguns exemplos entre diversas possibilidades de futuro, e não descrições conclusivas (SHELL, 2008).

É preciso redigir as narrativas de forma criativa e interessante, para despertar o interesse do leitor (GODET e DURANCE, 2011; SHELL, 2008). Ao contrário de relatórios tradicionais onde predominam tabelas, gráficos e números, a abordagem lógico-intuitiva se concentra em histórias, pois são capazes de dar ordem e significado aos eventos e proporcionam um impacto psicológico diferente de gráficos e equações (SCHWARTZ, 2004).

Assim que os cenários finais são desenvolvidos, é feita uma reflexão em relação a cada um deles, entendendo suas implicações em termos de oportunidades e ameaças. São discutidas as opções estratégicas e identificadas as competências necessárias para enfrentar cada situação (HUSS e HONTON, 1987; POSTMA e LIEBL, 2005; RINGLAND, 2006; SCHOEMAKER, 1995). Como diz Schwartz (2004, p. 202), “... é o momento de retornar à questão ou decisão central do passo um para ensaiar o futuro”. Pode ser que seja identificada uma estratégia dominante, que funciona bem em qualquer cenário.

Entretanto, é mais provável que as ações da organização sejam diferentes de acordo com o cenário. Por isso, é importante saber com antecedência qual deles está mais próximo de ocorrer conforme o tempo vai passando. Para isso, são selecionados alguns indicadores e sinais que “avisam” o rumo do ambiente estudado. Quando o monitoramento é feito com cuidado, a empresa tem mais chances de conquistar uma vantagem em relação a seus competidores (SCHWARTZ, 2004). Embora esta etapa não apareça em todos os artigos pesquisados, é de grande importância para que todo o trabalho desenvolvido na construção de cenários possa ser bem aproveitado.

Alguns pontos sobre a geração de cenários são abordados apenas por alguns autores. A validação dos cenários finais é mencionada por dois autores, Postma e Liebl (2005) e Shell (2008). Seu objetivo é verificar se as narrativas estão claras mesmo para pessoas que não participaram do processo. O desenvolvimento de modelos quantitativos é discutido apenas por Schoemaker (1995), que diz se tratar de uma etapa opcional, antes da formulação dos cenários finais.

4.4 Aplicações da abordagem lógico-intuitiva

Foram encontrados trabalhos de geração de cenários com a abordagem lógico-intuitiva em diversos setores. O Quadro 8 apresenta essa diversidade, bem como a forma de coleta de dados, o número de incertezas consideradas e o de cenários finais de cada trabalho.

Quadro 8 – Exemplos de aplicação da abordagem lógico-intuitiva na geração de cenários.

Autor(es) do trabalho	Tema do estudo	Forma de levantamento de dados	Nº de incertezas	Cenários finais
Boaventura e Fischmann (2007)	Setor de automação comercial no Brasil	Entrevistas com <i>stakeholders</i>	2	4
Chen et al (2009)	Portfólio tecnológico de energia renovável em Taiwan	Discussão com especialistas	3	3
Heinimo et al (2008)	Mercado global de biomassa em 2020	Revisão da literatura e questionários para especialistas	2	4
Shell (2005)	Cenários globais para empresas	Discussões com equipe interna da empresa	3	3
Smith et al (2005)	Setor energético na Colômbia até 2020	<i>Workshops</i> com especialistas em energia e em cenários	2	4
Stokke et al (1990)	Petróleo e gasolina na Noruega	Equipe de funcionários de empresa, institutos de pesquisa e consultoria	2	4
Westhoek et al (2006)	Destinação das áreas rurais da Europa até 2030	Revisão da literatura	2	4
Zhu et al (2011)	Avaliação estratégica do meio ambiente na China	<i>Stakeholders</i>	Não comenta	3

Todos os artigos de aplicações da teoria seguem os passos descritos no item 4.3, com pequenas variações entre eles. Por exemplo, Westhoek et al (2006) levantaram dados principalmente a partir da literatura, enquanto Smith et al (2005) o fizeram com uma equipe de 120 especialistas. O autor observou que a participação de muitas pessoas leva a uma compreensão mais abrangente do problema, mas é preciso ter um mente que coordenar um grupo grande é trabalhoso e é preciso mais cuidado para não se perder o foco.

Em alguns casos, é encontrado inicialmente um número elevado de fatores que podem influenciar o ambiente estudado. Boaventura e Fischmann (2007), Heinimö e Kässi (2008) e Smith et al (2005) levantaram cerca de setenta cada. Para selecionar os dois ou três mais relevantes, pode-se agrupá-los em temas (CHEN et al, 2009; HEINIMÖ e KÄSSI, 2008 ZHU et al, 2011), classificá-los em termos de grau de incerteza e importância (BOAVENTURA e

FISCHMANN, 2007; STOKKE et al, 1990) e esquematizar suas relações causais (SMITH et al, 2005; ZHU et al, 2011). Essas técnicas podem ser vistas sendo usadas em conjunto.

Após a identificação dos fatores-chave, foram delineadas suas possíveis evoluções dentro do horizonte de tempo estudado. Os *outcomes* extremos foram combinados, formando o esqueleto dos cenários. Os resultados implausíveis ou inconsistentes foram eliminados, bem como resultados muito similares que não contribuiriam na avaliação do contexto. Por exemplo, Chen et al (2009) geraram oito cenários iniciais, mas com a exclusão dos inconsistentes e similares, restaram três cenários finais. Como se pode observar no Quadro 8, a maioria dos trabalhos estudados escolheu duas incertezas-chave, gerando quatro cenários, conforme a Ilustração 4.

Ilustração 4 – Representação da geração de cenários a partir de duas incertezas.

Os temas ou enredos de cenário identificados receberam nomes e foram, então, desenvolvidos em narrativas com detalhamento suficiente para entender suas implicações e auxiliar na avaliação de estratégias. Stokke et al (1990) destacaram que a escolha de nomes curtos e representativos facilitou a comunicação e posterior uso dos cenários. Smith et al (2005) submeteram as narrativas à avaliação por pessoas que não participaram diretamente do processo, de forma a garantir clareza na linguagem para todos os usuários finais. Quanto a modelos quantitativos, apenas Westhoek et al (2006) e Zhu et al (2011) os utilizaram.

4.5 O processo de construção de cenários utilizado na pesquisa

Considerando as etapas de construção de cenários vistas nos artigos que utilizam a abordagem lógico-intuitiva, foi estruturado um esquema para ser aplicado no presente trabalho, conforme

a Ilustração 5. Uma breve descrição das atividades envolvidas em cada etapa é apresentada a seguir. A aplicação deste processo para a construção de cenários para a demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos até 2022 é detalhada no capítulo 5.

Ilustração 5 – Etapas do processo de geração de cenários utilizado.

O primeiro passo consistiu na identificação de uma questão central, bem como na definição do escopo do estudo em termos de horizonte temporal, área geográfica e objeto de pesquisa. Foi feita uma descrição geral do ambiente estudado a fim de deixar clara a relevância do problema e o papel da construção de cenários como auxiliar no entendimento desse tema.

Na segunda etapa, foi feito um levantamento – a partir de revisão bibliográfica – dos fatores que podem influenciar de modo significativo o contexto em estudo dentro do horizonte temporal definido, contemplando questões de mercado, política, economia, tecnologia, meio ambiente, entre outras. Os fatores identificados foram agrupados em *clusters* de acordo com o tema, e as inter-relações entre estes foram esquematizadas em um diagrama de influência. A representação gráfica foi importante para facilitar a visualização e entender a dinâmica do ambiente. A partir desse exercício, foi possível identificar os principais fatores que podem impactar o sistema.

Na terceira etapa, foram prospectados os estados futuros possíveis dos fatores identificados. Para isso, foram necessárias mais pesquisas a fim de entender como estes poderiam evoluir, de modo plausível, no período estudado. Aqueles cuja evolução foi considerada mais incerta e com maior potencial de impactar o sistema foram selecionados para formar o esqueleto dos cenários.

Os estados futuros extremos das incertezas-chave foram, então, combinados, formando a estrutura básica dos cenários. Estes receberam nomes e foram completados com eventos e outros detalhes para enriquecer sua descrição. O resultado foi apresentado para especialistas do setor energético, que avaliaram se os *outcomes* estavam consistentes entre si e plausíveis para o horizonte de tempo estudado. Foram feitos alguns ajustes de consistência e discutidas as implicações de cada cenário para a indústria de etanol no Brasil.

Por fim, o material levantado ao longo de todo o processo foi organizado em forma de narrativas para cada cenário gerado, explicando como o setor de transportes nos Estados Unidos pode evoluir até 2022. As conclusões do estudo encontram-se no capítulo 6.

5 DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO

Este capítulo descreve o processo de geração de cenários para a demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos até o ano de 2022. Foram seguidos os passos propostos no item 4.5 do capítulo 4. As duas primeiras etapas já foram desenvolvidas ao longo dos capítulos 2 e 3, e por isso serão repassadas brevemente.

5.1 Identificação da questão central

A crescente preocupação mundial com segurança energética e aquecimento global tem incentivado o desenvolvimento e adoção de fontes alternativas de energia. A introdução de veículos *flex* no Brasil em 2003 alavancou a demanda por etanol, estimulando o investimento em infraestrutura para produção do combustível. Com o aumento da capacidade produtiva, o país passou a exportar o excedente de produção, principalmente para os Estados Unidos. Estes são os maiores consumidores mundiais de petróleo e vêm estimulando o uso de combustíveis alternativos, especialmente no setor de transportes, que representa cerca de 70% da destinação do petróleo no país. Uma das alternativas mais viáveis atualmente é o etanol.

Com o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro no Brasil, aumentou o interesse de empresários em fazer investimentos na nossa produção. No entanto, é preciso cautela, pois os investimentos em construção ou ampliação de usinas, bem como em melhorias na produção, são de longo prazo e envolvem grandes somas de capital. Aparentemente, os Estados Unidos representam um mercado com potencial, mas há dúvidas quanto à demanda futura por importação de etanol combustível, já que outras alternativas estão sendo desenvolvidas.

Esta pesquisa tem o objetivo de auxiliar na avaliação do potencial do mercado norte-americano para possíveis exportações brasileiras. Em outras palavras, a questão central é: quais são as perspectivas de exportação de etanol combustível brasileiro para os Estados Unidos até o ano de 2022?

5.2 Levantamento dos fatores de influência

Conforme a revisão bibliográfica feita nos cap. 2 e 3, os elementos que devem influenciar o mercado estudado são: aquecimento global, preocupação com a qualidade do ar, disponibilidade e preço de petróleo, exigências de uso de combustíveis renováveis da lei EISA 2007, incentivos fiscais para combustíveis alternativos, limitação legal do volume de etanol de milho que pode ser produzido, *blend-wall* de E15 para veículos não-*flex*, frota reduzida de veículos *flex*, desafios na distribuição e disponibilização de E85, desenvolvimento tecnológico de biocombustíveis de primeira e segunda geração, coprodutos e subprodutos, e outros combustíveis alternativos.

Estes fatores foram agrupados em seis grupos de acordo com o tema geral a que se relacionam: questões ambientais, segurança energética, legislação, disponibilidade de terras, infraestrutura, e tecnologia. Uma síntese sobre a influência de cada fator no mercado norte-americano de etanol combustível foi apresentada no Quadro 5.

A relação entre os seis grupos de fatores foi analisada no item 3.2, e concluiu-se que a demanda e oferta de etanol combustível nos Estados Unidos será influenciada principalmente por três variáveis: tecnologia, infraestrutura para transportes, e legislação, conforme destacado na Ilustração 6. As preocupações com o meio-ambiente, segurança energética nacional e disponibilidade de terras afetam o mercado indiretamente, por meio da legislação.

Ilustração 6 - Principais fatores que afetam o mercado de etanol nos Estados Unidos

5.3 Análise dos fatores

Não foram constatados investimentos em infraestrutura no setor de transporte capazes de impulsionar o crescimento do etanol nos próximos anos. Ela só será desenvolvida se houver indícios de aumentos significativos na oferta do biocombustível, mas isso depende do desenvolvimento tecnológico e aumento da demanda por meio do E15 e E85 (USDOE, 2010). Dada a evolução lenta característica da infraestrutura de transportes, pode-se considerá-la um elemento predeterminado, cuja evolução não deve constituir um forte fator de incerteza para a geração dos cenários.

Segundo Hoekman (2009), Rosillo-Calle e Walter (2006), o governo norte-americano estimula o desenvolvimento e uso de combustíveis alternativos por meio de regulamentação e incentivos. O consumo de etanol na forma de E10, requerido desde 1978, representa mais de 98% do biocombustível consumido nos transportes (EIA, 2011). O EPA aprovou recentemente o uso de E15 em veículos a gasolina fabricados a partir de 2001, mas não há estrutura para aumentar a oferta em todo o território americano, e as montadoras não garantem o bom funcionamento do motor (ANDRESS et al, 2012). Dessa forma, o aumento da demanda por meio da adoção de E15 deve ser lento e sem muitas incertezas, sendo pouco significativo para a construção dos cenários.

Uma lei importante acerca dos combustíveis renováveis é a do RFS2, que exige consumo elevado de etanol, especialmente de segunda geração. No entanto, por razões técnicas, as metas iniciais têm sido revistas e reduzidas significativamente (ANDRESS et al, 2012; SCHNEPF e YACOBUCCI, 2012). Tyner et al (2011) afirmam que os volumes exigidos inicialmente provavelmente não serão atingidos. Caso o governo resolva diminuir os investimentos em etanol de segunda geração e passe a incentivar outros combustíveis, pode haver um impacto considerável na demanda pelo biocombustível.

Em relação à tecnologia, os combustíveis alternativos mais utilizados no país atualmente são: etanol, biodiesel, eletricidade, hidrogênio, gás natural comprimido (CNG), gás natural liquefeito (LNG) e gás liquefeito de petróleo (LPG). Há outros em pesquisa, mas estes ainda estão em fase inicial de desenvolvimento e não devem ganhar participação no mercado nos próximos anos (AFDC, 2012b). Os combustíveis alternativos representam uma parcela

pequena da matriz energética de transporte, conforme o Gráfico 4. A maior participação é do etanol – considerando tanto o E85 como o E10 -, com 5,1% (EIA, 2013c).

Gráfico 4 - Matriz energética de transportes nos Estados Unidos em 2011.
 FONTE: EIA, 2013c

Como pode se constatar no Gráfico 5, o etanol representou 87% dos combustíveis alternativos consumidos nos Estados Unidos em 2011 (EIA, 2011). Apesar de o etanol praticamente dominar o mercado de combustíveis alternativos, a produção utilizando tecnologia de primeira geração já está atingindo o limite permitido pela lei, e há dúvidas quanto à viabilização da segunda geração (RAJAGOPAL et al, 2009). Seu fracasso pode dar oportunidades a outras alternativas, e por isso, foram feitas mais pesquisas para verificar o potencial tanto do etanol celulósico como de outros combustíveis nos próximos anos.

Gráfico 5 - Consumo de combustíveis alternativos nos EUA, em milhões galões equivalentes de gasolina.
 FONTE: EIA, 2013c

Estudos como de Akinci et al (2008) e Sims et al (2010) afirmam que a capacidade produtiva de etanol celulósico não deve expandir a ponto de fazer uma diferença significativa na demanda norte-americana por combustíveis fósseis no transporte ainda nesta década. Os custos de produção são significativamente mais altos do que o de etanol de milho ou outros

combustíveis alternativos, principalmente porque os processos de refinamento são caros e envolvem muitas etapas. Apesar dos investimentos do governo, no momento, nenhuma refinaria de celulose trabalha em escala comercial (SOMMA et al, 2010).

O biodiesel teve um crescimento notório nos últimos anos. De 2010 para 2011, seu consumo aumentou cerca de 240%, em decorrência do restabelecimento de crédito fiscal ao combustível previsto pelo RFS2 (EIA, 2013a). No entanto, as evidências indicam que o biodiesel não deve ameaçar o mercado de etanol, pois não há interesse nem por parte dos consumidores nem das montadoras em adotá-lo. Consumidores veem a tecnologia com desconfiança desde a década de 80, quando foram lançados os primeiros veículos leves a diesel e estes tiveram problemas de desempenho e qualidade do combustível. Por causa disso, são poucas as opções de veículos leves a diesel, e montadoras como Honda, Chrysler, Hyundai e Toyota cancelaram ou adiaram os planos de oferecer novos modelos. Para completar, o diesel tem ficado cada vez mais caro em relação à gasolina, reduzindo a probabilidade de o combustível ganhar novos mercados (EIA, 2009). A tendência é que ele substitua apenas o diesel convencional, sem avançar para o mercado de gasolina e etanol.

Quanto às células combustíveis de hidrogênio, a tecnologia é claramente viável (FRENETTE e FORTHOFFER, 2009), mas ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento, sendo necessários ao menos mais dez anos para se tornarem mais competitivas economicamente e se estabelecerem no mercado (VEZIROGLU e MACARIO, 2011). Além de *breakthroughs* na bateria e estocagem, são necessários investimentos elevados para instalar uma infraestrutura de reabastecimento (FRENETTE e FORTHOFFER, 2009). Portanto, o hidrogênio também não deve ameaçar o mercado de etanol.

Considerando um conjunto de objetivos econômicos e ambientais, bem como o estágio de desenvolvimento tecnológico, os veículos elétricos são os mais viáveis entre as alternativas em pesquisa (IRDMOUSA et al, 2010), mas ainda representam menos de 1% da frota veicular atual (PAUL et al, 2011). Karplus et al (2010) estimam que os híbridos *plug-in* (PHEV) não ultrapassarão a participação de 5% do mercado em 2020, mesmo que atinjam metas agressivas de redução de custo da bateria. Os autores ainda afirmam que a disponibilidade de outros combustíveis alternativos, como o etanol, pode afetar fortemente a viabilidade comercial dos PHEV. West e Kreith (2008) acreditam que mesmo com o crescimento dos PHEV e do etanol

de segunda geração, serão necessários ao menos dez anos para que haja um impacto expressivo na frota de veículos.

A oferta de gás natural – matéria-prima do CNG e LNG – nos Estados Unidos aumentou rapidamente nos últimos anos devido à convergência de fatores como disponibilidade de xisto betuminoso, tecnologia de fraturamento hidráulico e perfuração direcional. Até 2009, havia um esforço de redução na demanda pelo combustível, cuja importação crescia anualmente. Com a virada propiciada pela tecnologia, o país está a caminho de se tornar um exportador. As vendas de veículos a gás natural estão em crescimento, mas partindo de uma base pequena (LISS, 2012). No entanto, não se espera ampla penetração desses veículos no curto prazo por questões de disponibilidade de combustível em postos. Provavelmente, o uso se dará mais em frotas comerciais, como ônibus, já que não requerem muitos pontos de reabastecimento (IEA, 2011).

O mesmo raciocínio se aplica ao LPG. Seu composto, o propano, pode ser produzido a partir do gás natural, e por isso está se beneficiando do aumento da produção do combustível. A participação de LPG no transporte é pequena, mas tem potencial de crescimento, podendo passar de 600 milhões de galões em 2011 para 1,2 bilhão em 2020. É utilizado principalmente em frotas comerciais, cortadores de grama e empilhadeiras, que normalmente têm motores a diesel. Um relatório feito por Sloan e Wilczewski (2013) discute o impacto da concorrência apenas entre os dois combustíveis, e não com outros como gasolina e etanol. No entanto, diversos especialistas, como o ex-secretário do comércio dos EUA Carlos Gutierre, afirmam que o gás de xisto pode conquistar o mercado que o etanol almeja no médio prazo dependendo do ritmo de crescimento e relação de preços dos dois combustíveis (NOVACANA, 2013). Ou seja, a demanda por etanol celulósico pode ficar limitada caso a tecnologia de segunda geração demore a se propagar e os derivados de gás de xisto consigam se expandir rapidamente.

A partir da análise aprofundada dos principais fatores apontados no item 5.2, pode-se concluir que nenhuma das tecnologias sozinha deve afetar significativamente a demanda e oferta de etanol nos Estados Unidos até 2022, mas conforme o desempenho da segunda geração de etanol e possíveis mudanças na política energética americana, a configuração da matriz energética dos transportes pode mudar. Seguindo as recomendações da abordagem lógico-intuitiva de elaboração de cenários, foram selecionados apenas os dois principais fatores atuantes no ambiente em estudo: as decisões do governo americano quanto a incentivos dados

às diferentes alternativas energéticas e o ritmo de desenvolvimento da tecnologia de segunda geração de etanol.

5.4 Estruturação dos cenários

A estrutura básica dos cenários é apresentada na Ilustração 7. O eixo horizontal representa o sucesso ou fracasso na descoberta de tecnologia que viabiliza a produção em escala comercial de etanol de segunda geração, enquanto o eixo vertical representa possíveis caminhos escolhidos pelo governo americano em relação à sua política energética, principalmente em relação a combustíveis alternativos para transporte. Os nomes dos cenários fazem analogia à relação entre pais – governo – e filhos – combustíveis alternativos, com foco no etanol.

Ilustração 7 - Cenários para o mercado de etanol nos Estados Unidos até 2022.

Alguns pontos são comuns em todos os casos, como a redução das metas iniciais do RFS2 e o desenvolvimento de outros combustíveis alternativos, mas há diferenças nos volumes reduzidos e no ritmo de desenvolvimento das tecnologias para transporte. Por exemplo, o período em que ocorre o *breakthrough* na produção de etanol de segunda geração varia conforme a política energética. Em “Filho pródigo”, isso deve ocorrer entre 2013 e 2016, enquanto em “Filho independente”, deve ser entre 2017 e 2021, já que neste caso há uma redução dos investimentos do governo em etanol. Por outro lado, “Fracasso na produção de etanol de segunda geração” deve ser entendido como a estagnação tecnológica, com poucos incrementos na produção até 2022, tanto em “Pais esperançosos” como em “Filho preterido”.

O eixo vertical reflete as posições que o governo pode adotar em relação à política energética: a) manter os atuais incentivos ao etanol, ou b) reduzir esses incentivos em favor de outros combustíveis. Em ambos os casos, as metas iniciais do RFS2 não devem ser cumpridas, mas há diferença na magnitude dos cortes. No primeiro caso, o governo continua investindo em etanol de segunda geração, buscando chegar o mais próximo possível do cumprimento das metas. Já no segundo caso, há uma redução nesses investimentos e o governo passa a priorizar outros combustíveis, reduzindo a pressão para aumento da oferta de etanol celulósico. Os principais pontos de cada cenário são apresentados no Quadro 9. As frases relativas à “Posição do governo americano em relação ao etanol” seguem a analogia de pais e filhos.

Quadro 9 – Cenários iniciais para o mercado de etanol nos Estados Unidos

Aspecto	Filho pródigo	Pais esperançosos	Filho independente	Filho preterido
Posição do governo americano em relação ao etanol	“Meu filho predileto; este tem futuro”.	“Ainda acreditamos em você”.	“Você já é adulto, se vire; vamos cuidar de seus irmãos”.	“Desistimos de você; vamos investir nos seus irmãos”.
Metas iniciais do RFS2 para etanol de 2ª geração	Produção mais próxima das metas	Reduzidas substancialmente	Reduzidas de acordo com a capacidade produtiva interna	Relegadas, não pressionam aumento da produção
Viabilidade da tecnologia de etanol de 2ª geração	<i>Breakthrough</i> entre 2013 e 2016	Não há <i>breakthrough</i> até 2022	<i>Breakthrough</i> entre 2017 e 2021	Não há <i>breakthrough</i> até 2022
Desenvolvimento de outras alternativas (em especial carro elétrico e hidrogênio)	Perdem força com a viabilização comercial do etanol celulósico	Investimentos continuam, mas o foco de mantém no etanol celulósico	Desenvolvimento em ritmo acelerado, mas sem ameaçar mercado de etanol	Desenvolvimento em ritmo acelerado, ameaçando mercado de etanol

5.5 Discussão com especialistas

Os cenários iniciais foram apresentados a três especialistas do setor sucroalcooleiro no Brasil, a saber: o coordenador de pesquisa tecnológica do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o diretor do programa de avaliação tecnológica do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), e o gerente do departamento econômico da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA). Os pontos discutidos com cada um são apresentados a seguir.

5.1.1 Coordenador de pesquisa tecnológica do CTC

Apesar de simplificada, a estrutura básica dos cenários foi considerada válida para estimar, de uma forma geral, o potencial de exportação de etanol brasileiro aos Estados Unidos nos próximos anos. Um ponto ressaltado pelo entrevistado foi a questão da viabilidade comercial do etanol celulósico nos Estados Unidos. A tecnologia já é tecnicamente viável, mas são necessárias melhorias no processo de fabricação para reduzir seu custo. Isso normalmente ocorre de forma gradual, conforme o volume de produção acumulada aumenta e gera novos conhecimentos. Um exemplo citado é o etanol brasileiro, cujo preço em 1976 – se convertido em moeda atual e corrigido monetariamente – era de cerca de R\$3,00 o litro e passou para aproximadamente R\$1,20 o litro em 2010. A queda de preços ocorreu gradualmente ao longo do período, e não em um momento específico. Da mesma forma, é arriscado falar em *breakthrough* na produção etanol celulósico como um evento pontual; trata-se de um processo. A diferença entre os cenários está no ritmo de desenvolvimento da tecnologia.

No cenário “Filho pródigo”, a redução de custos ocorre rapidamente, e o etanol celulósico é produzido em escala e a preço competitivo a partir da metade desta década. A infraestrutura de distribuição se amplia para se adequar aos crescentes volumes de produção, permitindo que cada vez motoristas optem pelo E85. Neste cenário, ocorre um ciclo virtuoso de adoção de etanol: quanto mais pessoas adotam o combustível, maior a probabilidade de outras também decidirem utilizá-lo. A produção fica mais próxima das metas de uso de etanol celulósico, mas esporadicamente podem ocorrer períodos de escassez de oferta, principalmente porque o fornecimento de biomassa está sujeito a variações de sazonalidade. Como a demanda por etanol está em crescimento, essa lacuna na oferta precisa ser preenchida com importações, o que representa uma oportunidade para o Brasil.

Em “Pais esperançosos” também há redução nos custos de produção de etanol celulósico, mas em um ritmo bem mais lento. Neste cenário, o combustível ainda não é competitivo em 2022, e por isso o governo investe principalmente em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar comercialmente a tecnologia de segunda geração, até que esta possa se manter no mercado sem seu auxílio. O E85 é consumido apenas por um nicho de mercado preocupado com o meio ambiente, mas o número de usuários não é suficiente para criar um ciclo virtuoso como no cenário “Filho pródigo”. Como o governo apoia a indústria, estabelece incentivos fiscais e metas de consumo capazes de atrair mais investidores e expande lentamente a infraestrutura de

distribuição de etanol. Enquanto a produção doméstica é limitada, as metas são cumpridas com importações. Assim, há oportunidade para o Brasil exportar continuamente um volume relativamente elevado de etanol, especialmente se o produto estiver com preço competitivo no mercado internacional.

Já em “Filho independente”, a tecnologia se desenvolveu o suficiente para que o etanol celulósico seja produzido a custo competitivo em 2022, mas o combustível ainda precisa de ajuda do governo para se propagar, por meio da construção de novas plantas de produção e expansão da cadeia de distribuição. Mesmo que passe a destinar mais verbas para o desenvolvimento tecnológico de outros combustíveis alternativos, o governo deve tomar algumas medidas para continuar incentivando o crescimento da indústria de etanol celulósico. Para isso, procura atrair investimentos privados e desenvolve uma infraestrutura mínima para que o biocombustível cresça no mercado. Com a disponibilização de E85 a preços competitivos, cria-se uma demanda crescente. Assim como em “Filho pródigo”, os Estados Unidos podem precisar recorrer a importações quando algum problema na cadeia produtiva, como escassez de biomassa, afeta a oferta de etanol.

No último cenário, “Filho preterido”, o etanol celulósico ainda não é competitivo em 2022, e o governo passa a incentivar mais outras alternativas. Dessa forma, não há um esforço significativo para cumprir as metas de consumo de etanol; o governo mantém um investimento mínimo em tecnologia de segunda geração, mas tenta compensar o “fracasso” – até o momento – focando no desenvolvimento de outros combustíveis, como biodiesel, eletricidade, hidrogênio e derivados de gás natural. A mudança na composição da frota veicular é lenta, mas ameaça o mercado de etanol reduzindo gradualmente a demanda pelo biocombustível e criando um ciclo vicioso de poucos investimentos em produção e distribuição. Como o interesse do governo é reduzido, não há necessidade de importar especificamente o etanol – o mercado se ajustará comprando o combustível que lhe for mais conveniente em cada momento. Caso o etanol brasileiro esteja com preço competitivo, pode haver aumento nas importações; do contrário, a lacuna na oferta deve ser preenchida com gasolina e outros combustíveis alternativos.

5.1.2 Coordenador do Programa de Avaliação Tecnológica do CTBE

De acordo com simulações feitas com uma ferramenta desenvolvida no CTBE, a probabilidade de o etanol celulósico ser disponibilizado em escala comercial nos próximos três anos é muito maior no Brasil do que nos Estados Unidos. Há diversas razões para isso, como os ganhos de escala proporcionados pela produção, no Brasil, de etanol de primeira e segunda geração nas mesmas plantas, gerando sinergias no suprimento de matéria-prima, utilização de equipamentos e cogeração de energia. Nos Estados Unidos as refinarias de segunda geração serão exclusivas para trabalhar com este processo, o que deve também aumentar os investimentos para sua construção. Dessa forma, no geral há perspectiva de boas oportunidades de exportação brasileira.

Caso o etanol celulósico se torne comercialmente viável nos Estados Unidos conforme o cenário “Filho pródigo”, o mercado norte-americano pode se expandir e gerar uma oportunidade para o Brasil. Com o incentivo do RFS2 para adotar volumes crescentes de etanol, abre-se um novo mercado para o biocombustível, mas, ao menos nos primeiros anos, a indústria americana enfrentará desafios para ofertá-lo em larga escala e de forma contínua ao longo do ano. Assim, uma parte da demanda americana terá que ser coberta por meio de importações, gerando uma oportunidade para o Brasil.

O volume das importações americanas devem ser maiores no cenário “País esperançosos”. Neste caso, mesmo reduzindo as metas iniciais do RFS2, o país será obrigado a comprar etanol do mercado externo em grandes quantidades. Segundo o entrevistado, é um cenário bastante provável considerando o atual estágio de desenvolvimento tecnológico do etanol de segunda geração nos Estados Unidos e no Brasil.

Já nos cenários “Filho independente” e “Filho preterido”, não se espera que os americanos busquem especificamente por etanol no mercado externo para cobrir suas necessidades de combustível para o setor de transporte. Em ambos os casos, o volume de importações dependerá da relação de preços entre o etanol – tanto doméstico como externo -, e a gasolina. Assim, haverá oportunidade de exportar o produto brasileiro caso este esteja a um preço competitivo no mercado internacional.

Excluindo o etanol, a tecnologia mais promissora nos Estados Unidos atualmente é a dos veículos elétricos. O recente aumento na exploração de gás de xisto deve impactar na produção de energia elétrica, favorecendo o crescimento desses veículos. O uso de derivados do gás diretamente como combustíveis alternativos não deve ameaçar a demanda por etanol no curto prazo, dadas as necessidades de infraestrutura tanto de produção como de distribuição e adaptação dos motores dos automóveis.

5.1.3 Gerente do departamento econômico da UNICA

O entrevistado concordou com as duas incertezas-chave escolhidas para a elaboração dos cenários, dando ênfase ao papel do governo como incentivador ou não de etanol. Caso o RFS2 seja mantido, ainda que com metas reduzidas, haverá boas oportunidades para os produtores brasileiros, pois a lei prevê não apenas o consumo de etanol celulósico, mas de “outros combustíveis avançados”, categoria na qual se enquadra o etanol de cana. Ou seja, mesmo sem contar com a viabilização comercial do etanol celulósico no Brasil, haverá demanda expressiva para o nosso etanol de primeira geração. Para referência, em 2012, o Brasil exportou 500 milhões de galões de etanol para os Estados Unidos (UNICA, 2013). O RFS2 exige o consumo de 4 bilhões de galões de combustíveis avançados em 2022.

Por outro lado, caso o governo americano desista das metas de consumo de combustíveis alternativos, a necessidade de importação de etanol – celulósico e de cana – será reduzida drasticamente, já que a produção de etanol a partir de milho é suficiente para fabricar o E10 consumido no território americano. As importações podem ser maiores no cenário “Filho independente”, pois a oferta de etanol celulósico criará um mercado cuja oferta pode ficar abaixo da demanda em alguns períodos. No entanto, o volume importado dependerá muito do preço relativo do combustível brasileiro em relação ao deles e à gasolina. O cenário “Filho preterido” é o mais sensível a diferenças de preço.

Um desafio enfrentado pelo etanol, em qualquer um dos cenários, é o *blend-wall* de 10% para ser misturado à gasolina. Muitos consumidores não sabem que possuem veículos flex, limitando a demanda por E85. Para que o consumo do biocombustível possa aumentar, será necessário conscientizar a população e expandir a infraestrutura de distribuição, incluindo a reforma dos postos de abastecimento para que disponibilizem E85. Isso exige investimentos,

que serão feitos somente quando houver fortes evidências de que haverá mercado suficiente para trazer retorno financeiro.

Em relação ao crescimento do xisto como nova alternativa energética, o entrevistado acredita que inicialmente ele pode impactar no mercado de energia elétrica, favorecendo indiretamente os veículos elétricos. No entanto, é possível que, no longo prazo, derivados do gás sejam utilizados diretamente em tanques de veículos. Dependendo da evolução da tecnologia, o xisto pode ameaçar o mercado de etanol, mas não de forma significativa no horizonte de tempo estudado.

5.6 Redação dos cenários finais

A seguir, são descritos os cenários gerados para o mercado de etanol combustível nos Estados Unidos a partir do ponto de vista de um investidor brasileiro vivendo no ano de 2022 e interessado no setor sucro-alcooleiro. Para cada contexto apresentado, este investidor descreve os principais fatos históricos ocorridos e analisa o potencial de exportação de etanol brasileiro àquele país. O Quadro 10 resume as principais características esperadas em cada cenário.

“Filho pródigo”: As previsões otimistas de Baker e Zahniser (2007) para a viabilização comercial de etanol de segunda geração se concretizaram e o biocombustível começou a ser produzido em escala comercial e com pouca ajuda financeira do governo a partir da metade da década passada. Desde então, o governo tem investido para ampliar a infraestrutura de produção e distribuição de etanol celulósico, a fim de consolidá-lo como a principal alternativa energética à gasolina nos transportes. Estão sendo construídos dutos exclusivos de distribuição do biocombustível, cuja viabilidade já havia sido estudada pelo USDOE em 2010. Outros combustíveis alternativos continuam em desenvolvimento, mas seus custos operacionais são mais elevados do que o do etanol, e por isso ainda não têm participação significativa na matriz energética. A produção de etanol celulósico está mais próxima das metas iniciais do RFS2, e considerando o ritmo atual de crescimento da produção, os volumes previstos na lei original provavelmente serão atingidos com um atraso de cinco ou seis anos. A maior parte dos veículos é *flex*, e com o preço cada vez mais competitivo do etanol, mais consumidores têm optado por utilizar E85. No entanto, como ainda não há disponibilidade de biomassa em

volumes elevados e contínuos ao longo do ano, há períodos em que a produção doméstica é insuficiente para atender toda a demanda. Quando isso ocorre, os Estados Unidos são obrigados a importar um volume relativamente elevado de etanol. Considerando este contexto, há boas oportunidades de exportação de etanol brasileiro, com variações sazonais.

Quadro 10 - Características dos cenários para demanda e oferta de etanol nos EUA até 2022

Aspecto	Filho pródigo	Pais esperançosos	Filho independente	Filho preterido
Posição do governo americano em relação ao etanol	“Meu filho predileto; este tem futuro”.	“Ainda acreditamos em você”.	“Você já é adulto, se vire; vamos cuidar de seus irmãos”.	“Desistimos de você; vamos investir nos seus irmãos”.
Foco dos investimentos do governo no transporte	Ampliação da infraestrutura de distribuição de etanol no país	Pesquisa e desenvolvimento de etanol celulósico	Desenvolvimento de outros combustíveis alternativos	Desenvolvimento de outros combustíveis alternativos
Infraestrutura de distribuição de etanol	Em rápida expansão	Expansão lenta	Em expansão	Expansão lenta
Metas iniciais do RFS2 para etanol de 2ª geração	Produção mais próxima das metas	Reduzidas substancialmente, mas agressivas	Reduzidas, mas ainda agressivas	Pouco agressivas
Origem do etanol usado para cumprir metas	Principalmente de produção interna	De produção interna e boa parte de importações	Principalmente de produção interna	De onde for mais barato
Viabilização comercial do etanol celulósico	Ocorre por volta de 2015	Não ocorre até 2022	Ocorre por volta de 2020	Não ocorre até 2022
Desenvolvimento de outras alternativas	Perdem força com a viabilização comercial do etanol celulósico	Investimentos continuam, mas o foco se mantém no etanol	Em ritmo acelerado, mas sem ameaçar mercado de etanol	Em ritmo acelerado, ameaçando mercado de etanol
Consumo de E85	Em rápido crescimento	Pouco crescimento	Em crescimento	Tendendo a diminuir
Necessidade de importação especificamente de etanol	Média, com variações ao longo do ano	Grande ao longo do ano todo	Pequena a média	Pequena
Oportunidade de exportação de etanol brasileiro para os EUA	Média	Grande	Depende do preço do nosso produto	Depende do preço do nosso produto

“*Pais esperançosos*”: Apesar dos incentivos contínuos do governo, não houve grandes progressos na produção de etanol de segunda geração nos Estados Unidos, conforme já imaginavam Rajagopal et al (2009). Como os investimentos do governo e empresas privadas continuam, é possível que o biocombustível comece a ser disponibilizado a preço competitivo e em larga escala nos próximos anos, mas os derivados de gás de xisto estão, pouco a pouco,

conquistando participação no mercado, assim como os veículos elétricos e a hidrogênio. A transição da composição da frota é lenta, mas pode afetar permanentemente a demanda por etanol no longo prazo. Por enquanto, houve pouca expansão na sua infraestrutura de distribuição, dada a incerteza quanto aos volumes produzidos futuramente. Assim como já ocorria há dez anos e foi reportado por Andress et al (2012) e Schnepf e Yacobucci (2012), o EPA vem reduzindo drasticamente as metas iniciais do RFS2 para o etanol celulósico, mas tomando o cuidado de estabelecer níveis que incentivam os produtores nacionais a aumentarem a oferta do combustível sem, no entanto, comprometer o orçamento público com importações. Dessa forma, uma parte das metas é cumprida com a produção interna, mas outra parte considerável é cumprida com importações. Há boas oportunidades de exportação de etanol brasileiro ao longo do ano, mas o futuro é incerto, dado o crescimento de outros combustíveis e transição da frota veicular.

“Filho independente”: No final de 2011, o governo americano entendeu que a indústria de etanol no país já estava bem desenvolvida e cortou os subsídios ao produto produzido internamente, que existiram por mais de três décadas (CORREA, 2011). Dadas as incertezas quanto à tecnologia de segunda geração e o potencial de outros combustíveis alternativos, o governo decidiu deixar o etanol em segundo plano e investir nessas alternativas. Os carros elétricos, com alguns modelos já disponíveis no mercado no início da década passada, foram favorecidos com o aumento da oferta de eletricidade gerada a partir do xisto e estão cada vez mais comuns. Os derivados do gás de xisto como combustíveis veiculares também estão em crescimento, mas no primeiro momento vêm substituindo principalmente o diesel e biodiesel utilizado em frotas comerciais, que precisam de menos pontos de reabastecimento. Apesar da redução de incentivos, a tecnologia de produção de etanol celulósico conseguiu se desenvolver e tornar o combustível viável em larga escala no final da década passada. Por ter um custo de mudança baixo para o consumidor, a demanda pelo biocombustível tem aumentado. O governo tem se articulado com empresários do setor privado para construir novas plantas de produção e expandir a infraestrutura de distribuição de etanol, possibilitando seu crescimento e criando uma matriz energética mais variada nos transportes. Dessa forma, estimula o cumprimento das metas do RFS2 sem comprometer o orçamento público. Parte das metas é cumprida com produção interna, mas há necessidade de importar para atender um mercado crescente de etanol, cuja oferta doméstica nem sempre é suficiente.

“Filho preterido”: Sem o retorno esperado dos investimentos, o governo americano decidiu, na primeira metade da década passada, deixar o etanol em segundo plano e priorizar investimentos em outros combustíveis alternativos para o setor de transporte. As metas do RFS2 para etanol celulósico foram relegadas e não têm pressionado o aumento da oferta. Conforme previram Paul et al (2011) e Karplus (2010), os carros elétricos estão cada vez mais comuns, favorecidos pelo aumento da oferta de eletricidade proporcionada pela exploração de gás de xisto. O hidrogênio ainda representa uma parcela pequena da matriz energética de transporte, mas com seu desenvolvimento em ritmo acelerado, pode ameaçar o mercado de etanol no longo prazo (FRENETTE e FORTHOFFER, 2009; VEZIROGLU e MACARIO, 2011). Por enquanto, os derivados de gás de xisto são utilizados basicamente em frotas comerciais, mas considerando seu potencial, o governo e as montadoras têm tomado medidas para que os combustíveis sejam utilizados em veículos leves também. A transição é lenta, mas pode limitar o mercado para etanol no longo prazo. Os Estados Unidos não têm necessidade de importar especificamente etanol; o mercado se ajusta sozinho de forma a utilizar o combustível mais vantajoso em cada momento. Quando o etanol está relativamente mais barato do que a gasolina no mercado internacional, o país compra mais biocombustível, e vice-versa. Neste contexto, a oportunidade de exportação de etanol brasileiro depende do preço do nosso produto em relação ao deles e em relação à gasolina.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi verificar e discutir as perspectivas de exportação de etanol combustível brasileiro para o mercado norte-americano até o ano de 2022. A partir da revisão da literatura, foram identificadas duas forças-chave que pressionam o aumento da demanda pelo combustível nos Estados Unidos: a segurança energética nacional e as questões ambientais, como aquecimento global e qualidade do ar. Por outro lado, as limitações na disponibilidade de terras e na infraestrutura de transportes, bem como obstáculos enfrentados no desenvolvimento da tecnologia de segunda geração restringem a oferta de etanol. A legislação funciona como uma mediadora entre oferta e demanda de combustíveis para transporte.

A lei mais importante para o etanol nos Estados Unidos é o RFS2, que estabelece volumes crescentes de consumo de combustíveis alternativos, com destaque para o etanol celulósico. No entanto, as metas iniciais não têm sido atingidas devido a obstáculos tecnológicos, gerando incerteza em relação ao futuro da política energética americana e de sua matriz de combustíveis. Considerando essas incertezas, foram construídos quatro cenários para o mercado em estudo, os quais foram nomeados utilizando a analogia de pais – governo – e filhos – combustíveis alternativos, com ênfase ao etanol. Os resultados foram discutidos com três especialistas do setor de etanol no Brasil.

O cenário “Pais esperançosos” foi considerado o de maior potencial de exportação do combustível brasileira. Isso porque o governo americano continua apostando no etanol de segunda geração, mas este ainda é produzido em pequena escala, sendo necessário cobrir as metas do RFS2 por meio de importações. Já em “Filho pródigo”, o etanol celulósico torna-se viável comercialmente por volta de 2015. Como o governo americano continua investindo em seu crescimento, cria-se uma demanda crescente pelo biocombustível. Enquanto a produção americana não atende completamente esta demanda, o país precisa recorrer a importações.

De qualquer forma, em ambos os cenários há oportunidade de exportar etanol de cana brasileiro, pois este é considerado um “combustível avançado” e tem metas de consumo separadas do etanol celulósico. Ou seja, mesmo que os Estados Unidos produzam o suficiente

para cumprir as metas de etanol celulósico, ainda precisarão importar para cumprir as exigências de combustíveis avançados. Assim, mesmo que o Brasil não produza etanol de segunda geração em quantidade suficiente para exportar, tem mercado comprador para o etanol de cana de primeira geração.

Por outro lado, caso o governo americano passe a priorizar o desenvolvimento tecnológico de outros combustíveis alternativos em detrimento do etanol, a necessidade de importar especificamente este biocombustível fica reduzida. Em “Filho preterido”, os Estados Unidos só comprarão nosso etanol caso seu preço esteja bastante competitivo. Do contrário, a tendência é que outros combustíveis conquistem gradualmente o mercado e limitem a participação do etanol no longo prazo. Em “Filho independente”, a oportunidade brasileira de exportação tende a ser maior, pois o aumento da oferta de etanol no mercado americano deve criar uma demanda pelo produto. Considerando que se trata de uma tecnologia nova, é de se esperar que ocorram períodos em que a produção doméstica fique aquém da demanda, tornando-se necessário recorrer ao mercado externo.

Cabe lembrar que a prioridade da política energética americana é a segurança e independência. Portanto, em qualquer caso, as importações de etanol não devem ser elevadas a ponto de comprometer o orçamento público. Uma forte evidência disso é a redução das metas do RFS2 para etanol celulósico que tem ocorrido nos últimos anos, sendo que a legislação não restringe importações. Os produtores brasileiros devem ser cautelosos ao estimar a demanda futura por etanol nos Estados Unidos, evitando basear-se apenas na lei original.

Estudos futuros podem basear-se nos cenários elaborados para desenvolver um trabalho quantitativo, estimando volumes de importação requeridos em cada caso. Para isso, será necessário estudar o tempo e investimento necessários para desenvolver uma infraestrutura de produção, distribuição e disponibilização de um novo combustível em postos de abastecimento. Seria interessante, também, identificar “sinais de aviso” que permitam monitorar o ambiente e indicar com antecedência para qual dos cenários este tende a se aproximar.

7 REFERÊNCIAS

AFDC. *Alternative fueling station locator.* Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/locator/stations/>>. Acesso em: 17 jul. 2012a.

AFDC. *Alternative fuels and advanced vehicles.* Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/fuels/>>. Acesso em: 17 jul. 2012b.

AFDC. *Key federal legislation.* Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/laws/key_legislation>. Acesso em: 17 jul. 2012c.

AFDC. *Light-duty vehicle search.* Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/vehicles/search/light/>>. Acesso em: 17 jul. 2012d.

AKINCI, Berk *et al.* *The role of bio-fuels in satisfying US transportation fuel demands.* **Energy Policy**, v. 36, p. 3485-3491, 2008.

ANAJOVIC, Amela. *Biofuels versus food production: does biofuels production increase food prices?* **Energy**, v. 36, p. 2070-2076, 2011.

ANDERSON, Soren T. *The demand for ethanol as a gasoline substitute.* **Journal of Environmental Economics and Management**, doi:10.1016/j.jeem.2011.08.002, 2011.

ANDRESS, David. *et al.* *Status of advanced light-duty transportation technologies in the US.* **Energy Policy**, v. 41, p. 348-364, 2012.

ANDREWS, Anthony *et al.* *The U.S. oil refining industry: background in changing markets and fuel policies.* **Congressional Research Service**, 2010.

BAKER, Allen; ZAHNISER, Steven. *Ethanol reshapes the corn market.* **Amber Waves**, v. 5, p. 68-71, 2007.

BAKER, Erin; KEISLER, Jeffrey. *Cellulosic biofuels: expert views on prospects for advancement.* **Energy**, v. 36, p. 595-605, 2011.

BANG, Guri *et al.* *US presidents and the failure to ratify multilateral environmental agreements.* **Climate Policy**, v. 12, p. 755-763, 2012.

BLOTTNITZ, Harro von; CURRAN, Mary Ann. *A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective.* **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 607-619, 2007.

BISHOP, Peter *et al.* *The current states of scenario development: an overview of techniques.* **Foresight**, v. 9(1), p. 5-25, 2007.

BOAVENTURA, João Maurício Gama; FISCHMANN, Adalberto Américo. Um método para cenários empregando stakeholder analysis: um estudo no setor de automação comercial. **Revista de Administração**, v. 42(2), p. 141-154, 2007.

BRADFIELD, Ron *et al.* *The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning.* **Futures**, v. 37, p. 795-812, 2005.

BROWNE, David *et al.* *How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated?* **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 140-151, 2012.

BRUNDTLAND, Gro Harlem *et al.* *Environmental and development challenges: the imperative to act*. Final Draft 1 17-2-2012. Disponível em: <http://www.unep.org/pdf/pressreleases/Blue_Planet_synthesis_paper.pdf>. Acesso em: 16/06/2012.

CHASEK, Pamela S. *U.S. policy in the UN environmental arena: powerful laggard or constructive leader?* **International Environmental Agreements**, v. 7, p. 363-387, 2007.

CHEN, Tser-Tieth *et al.* *Renewable energy technology portfolio planning with scenario analysis: a case study in Taiwan*. **Energy Policy**, v.37, p.2900-2906, 2009.

CHERMACK, Thomas J. *et al.* *A Review of Scenario Planning Literature*. **Futures Research Quarterly**, summer, 2001.

CORREA, Alessandra. Congresso dos EUA deixa de renovar tarifa de importação para etanol. **BBC Brasil**, 23 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/12/111223_importacao_etanol_ac.shtml>. Acesso em: 29/09/2012.

CORTEZ, Luís A.B. *et al.* *Considerations on the worldwide use of bioethanol as a contribution for sustainability*. **Management of Environmental Quality**, v. 14(4), p. 508-519, 2003.

CORTS, Kenneth S. *Building out alternative fuel retail infrastructure: government fleet spillovers in E85*. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 59, p. 219-234, 2010.

DE GORTER, Harry; JUST, David. *The economics of a blend mandate for biofuels*. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 91(3), p. 738-750, 2009.

DEPARTAMENTO DE PROSPECTIVA E PLANEAMENTO. **Prospectiva e cenários: uma breve introdução metodológica**. Série Prospectiva: métodos e aplicações. Lisboa: Departamento de Prospectiva e Planeamento, 1997.

EAVES, James; EAVES Stephen. *Renewable corn-ethanol and energy security*. **Energy Policy**, v. 35, p. 5958-5963, 2007.

EIA. *Light-duty diesel vehicles: market issues and potential energy and emissions impacts*. January, 2009. Disponível em: [http://www.eia.gov/oiaf/servicerpt/lightduty/pdf/sroiaf\(2009\)02.pdf](http://www.eia.gov/oiaf/servicerpt/lightduty/pdf/sroiaf(2009)02.pdf). Acesso em: 08/09/2013.

EIA. *2011 Highlights*. 2013a. Disponível em: <<http://www.eia.gov/renewable/afv/index.cfm>>. Acesso em 09/09/2013.

EIA. *International Energy Statistics*. Disponível em: <<http://www.eia.gov/countries/data.cfm>>. Acesso em: 28/08/2013b.

EIA. *Primary energy consumption by source and sector*. **Annual Energy Review 2011**. 2011. Disponível em: <www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec2_3.pdf>. Acesso em 28/08/2013.

EIA. Renewable & Alternative Fuels. Disponível em: <<http://www.eia.gov/renewable/>>. Acesso em: 28/08/2013c.

EIDMAN, Vernon R. *Effects of biofuel mandates in a context of ethanol demand constraints, cellulosic biofuel costs, and compliance mechanisms: discussion.* **American Journal of Agricultural Economics**, v. 93(2), p. 488-489, 2011.

ENVIRONMENT CANADA *et al.* **Multilateral Environmental Agreement: negotiator's handbook.** 2 ed. Joensuu: University of Joensuu, 2007.

EPA. *Lifecycle analysis of GHG emissions from renewable fuels.* **Office of Transportation & Air Quality**, 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420f10006.pdf>>. Acesso em 16/09/2012.

EPA. Overview: the Clean Air Act Amendments of 1990. Disponível em: <http://epa.gov/oar/caa/caaa_overview.html>. Acesso em: 18/07/2012.

ESCOBAR, José C. *et al.* *Biofuels: environment, technology and food security.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1275-1287, 2009.

FARGIONE, Joseph *et al.* *Land clearing and the biofuel carbon debt.* **Science**, v. 319, p. 1235-1238, 2008.

FARINELLI, Barbara *et al.* *Import demand for Brazilian ethanol: a cross-country analysis.* **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. S9-S17, 2009.

FARREL, Alexander E. *et al.* *Ethanol can contribute to energy and environmental goals.* **Science**, v. 311, p. 506-508, 2006.

FELIX, Erika; TILLEY, David R. *Integrated energy, environmental and financial analysis of ethanol production from cellulosic switchgrass.* **Energy**, v. 34, p. 410-436, 2009.

FRENETTE, Greg; FORTHOFFER, Daniel. *Economic & commercial viability of hydrogen fuel cells vehicles from an automotive manufacturer perspective.* **International Journal of Hydrogen Energy**, v.34, p.3578-3588, 2009.

GALLAGHER, Paul W. *et al.* *Some long-run effects of growing markets and RFS on additives markets and the US ethanol industry.* **Journal of Policy Modeling**, v. 25, p. 585-608, 2003.

GAO. **Biofuels: potential effects and challenges of required increases in production and use.** United States Government Accountability Office. August, 2009.

GODET, Michel; DURANCE, Philippe. *A prospectiva estratégica para as empresas e os territórios.* UNESCO, 2011.

HEINIMO, Jussi *et al.* *Views on the international market for energy biomass in 2020: results from a scenario study.* **International Journal of Energy Sector Management**, v. 2(4), p. 547-569, 2008.

HERTEL, Thomas W. *The global supply and demand for agricultural land in 2050: a perfect storm in the making?* **American Journal of Agricultural Economics**, v. 93(2), p. 259-275, 2011.

HIRA, Anil. *Sugar rush: prospects for a global ethanol market*. **Energy Policy**, v. 39, p. 6925-6935, 2011.

HOEKMAN, S. Kent. *Biofuels in the US: challenges and opportunities*. **Renewable Energy**, v. 34, p. 14-22, 2009.

HUSS, William R.; HONTON, Edward J. *Scenario planning: what style should you use?* **Long Range Planning**, v. 20(4), p. 21-29, 1987.

HUSSAIN, Mohammed A.M. *et al.* *Reducing the energy demand of corn-based fuel ethanol through salt extractive distillation enabled by electrodialysis*. **Aiche Journal**, v. 58(1), p. 163-172, 2012.

IEA. *Are we entering a golden era of gas?* **World Energy Outlook 2011 Special Report**, 2011. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/worldenergyoutlook/goldenageofgas/>. Acesso em: 6 set. 2013.

IRDMOUSA, Mehran Z. *et al.* *Analysis of alternative energy sources for the United States roadway transportation system*. **Proceedings of the 2010 IEEE**.

JENSEN, Jill R. *et al.* *Ethanol from lignocellulosics, U.S. federal energy and agricultural policy, and the diffusion of innovation*. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 1440-1453, 2011.

JOUVENEL, Hugues. *A brief methodological guide to scenario building*. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 65, p. 37-48, 2000.

KADITI, Eleni A. *Bio-energy policies in a global context*. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. S4-S8, 2009.

KARPLUS, Valerie J. *et al.* *Prospects for plug-in hybrid electric vehicles in the United States and Japan: a general equilibrium analysis*. **Transportation Research Part A**, v.44, p.620-641, 2010.

KHANNA, Madhu *et al.* *Welfare effects and unintended consequences of ethanol subsidies*. **Review of Agricultural Economics**, v. 30(3), p. 411-421, 2008.

KLEINER, Kurt. *The backlash against biofuels*. **Nature Reports Climate Change**, v. 2, January 2008, , p. 9-11, 2008.

LANGHOLTZ, Matthew *et al.* *Price projections of feedstocks for biofuels and biopower in the U.S.* **Energy Policy**, v. 41, p. 484-493, 2012.

LEE, Hyunok *et al.* *Increased industrial uses of agricultural commodities: policy, trade and ethanol*. **Contemporary Economic Policy**, v. 12, p. 22-32, 1994.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira *et al.* *Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol?* **Energy**, v. 34, p. 655-661, 2009.

LIMAYEN, Alya; RICKE, Steven C. *Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects*. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 38, p. 449-467, 2012.

- LISS, William. *Demand outlook: a golden age of natural gas*. **Aiche**, p.35-40, 2012.
- LUCHANKSY, Mathew S.; MONKS, James. *Supply and demand elasticities in the US ethanol fuel market*. **Energy Economics**, v. 31, p. 403-410, 2009.
- MACDONALD, Tom et al. **Ethanol fuel incentives applied in the U.S.** California Energy Commission. January, 2004. Disponível em: <http://www.energy.ca.gov/reports/2004-02-03_600-04-001.PDF>. Acesso em: 15/10/2012.
- MCGOWAN, Francis. *Controlling the greenhouse effect: the role of renewables*. **Energy Policy**, March, 1991.
- MCPHAIL, Lihong Lu; BABCOCK, Bruce A. *Impact of US biofuel policy and US corn and gasoline price variability*. **Energy**, v. 37, p. 505-513, 2012.
- MEEKHOF, Ronald L.; TYNER, Wallace E. *US agricultural policy and gasohol: a policy simulation*. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 62(3), p. 408-415, 1980.
- MORIARTY, Patrick; HONNERY, Damon. Prospects for global green car mobility. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1717-1726, 2008.
- NIGAM, Poonam Singh; SINGH, Anoop. *Production of liquid biofuels from renewable resources*. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, p. 52-68, 2011.
- NOVACANA. A ameaça do gás de xisto para o mercado de etanol. 06/08/2013. Disponível em: <<http://www.novacana.com/n/combate/ameaca-gas-xisto-mercado-etanol-060813/#>>. Acesso em: 01/10/2013.
- NOWACK, Martin et al. *Review of Delphi-based scenario studies: quality and design considerations*. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 78, p. 1603-1615, 2011.
- OPEC. *World oil outlook 2011*. Disponível em: <http://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm>. Acesso em: 02/11/2012.
- PAUL, Binny M. et al. *Evolution of the light-duty vehicle fleet: anticipating adoption of plug-in hybrid electric vehicles and greenhouse gas emissions across the U.S. fleets*. **Transportation Research Record**, v.2252, p.107-117, 2011.
- PETERSON, Garry et al. *Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world*. **Conservation Biology**, v.17 (2), p.358-366, 2003.
- PETROLIA, Daniel R. et al. *Do Americans want ethanol? A comparative contingent-valuation study of willingness to pay for E-10 and E-85*. **Energy Economics**, v. 32, p. 121-128, 2010.
- PIMENTEL, David. *Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative*. **Natural Resources Research**, v. 12(2), p. 127-134, 2003.
- POSTMA, Theo J.B.M.; LIEBL, Franz. *How to improve scenario analysis as a strategic management tool?* **Technological Forecasting and Social Change**, v.72, p.161-173, 2005.

RAJAGOPAL, Deepak *et al.* *Recent developments in renewable technologies: R&D investment in advanced biofuels.* **Annual Review of Resource Economics**, v. 1, p. 1-24, 2009.

RASK, Kevin N. *Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993.* **Energy Economics**, v. 20, p. 325-345, 1998.

REGALBUTO, John R. *Cellulosic biofuels: got gasoline?* **Science**, v. 325, p. 822-824, 2009.

REJINDERS, L. *Conditions for the sustainability of biomass based fuel use.* **Energy Policy**, v. 34, p. 863-876, 2006.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. Disponível em <<http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics#A>>. Acesso em 02/10/2012.

RINGLAND, Gill. *Scenario planning: managing for the future.* 2nd ed. Chichester, England: Wiley, 2006.

ROSILLO-CALLE, Frank; WALTER, Arnaldo. *Global market for bioethanol: historical trends and future prospects.* **Energy for Sustainable Development**, v. 10(1), p. 20-32, 2006.

SÁNCHEZ, Óscar J.; CARDONA, Carlos A. *Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks.* **Biomass and Bioenergy**, v. 99, p. 5270-5295, 2008.

SCARLAT, Nicolae; DALLEMAND, Jean-François. *Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: a global overview.* **Energy Policy**, v. 39, p. 1630-1646, 2011.

SCHNEPF, Randy; YACOBUCCI, Brent D. *Renewable Fuel Standard (RFS): overview and issues.* **Congressional Research Service**, 2012.

SCHOEMAKER, Paul J.H. *Multiple scenario development: its conceptual and behavioral foundation.* **Strategic Management Journal**, v.14 (3), p.193-213, 1993.

SCHOEMAKER, Paul J.H. *Scenario planning: a tool for strategic thinking.* **Sloan Management Review**, v. 36(2), p. 25-40, 1995.

SCHWARTZ, Peter. **A arte da visão de longo prazo: planejando o futuro em um mundo de incertezas.** 3. ed. São Paulo: Best Seller, 2004.

SEARCHINGER, Timothy *et al.* *Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change.* **Science**, v. 319, p. 1238-1240, 2008.

SERRA, Teresa *et al.* *Price volatility in ethanol markets.* **European Review of Agricultural Economics**, v. 38(2), p. 259-280, 2011.

SERVICE, Robert F. *Is there a road ahead for cellulosic ethanol?* **Science**, v. 329, p. 784-785, 2010.

SHELL INTERNATIONAL LIMITED. *The Shell global scenarios to 2025: the future business environment.* 2005. Disponível em: <www.shell.com/scenarios>. Acesso 12/03/2013.

SHELL. *Scenarios: an explorer's guide*. 2008. Disponível em: <www.shell.com/scenarios>. Acesso em: 12/03/2013.

SILVA, Nathália Galera. **Regulação ambiental dos países no âmbito da OMC: uma ilustração para o etanol brasileiro**. Piracicaba, 2011. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

SIMS, Ralph E.H. *et al.* *An overview of second generation biofuel technologies*. **Bioresource Technology**, v.101, p.1570-1580, 2010.

SINGH, Anoop *et al.* *Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: challenges and perspectives*. **Biomass and Bioenergy**, v. 101, p. 5003-5012, 2010.

SLOAN, Michael; WILCZEWSKI, Warren. **2013 Propane market outlook: assessment of key market trends, threats, and opportunities facing the propane industry through 2020**. ICF International. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/2013_Propane_Market_Outlook_1_.pdf>. Acesso em: 07/09/2013.

SMITH, Ricardo A. *et al.* *Energy scenarios for Colombia: process and content*. **Futures**, v.37, p.1-17, 2005.

SOLOMON, B.D. *et al.* *Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and policy*. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, p. 416-425, 2007.

SOMMA, Dan *et al.* *Growing America's fuel: an analysis of corn and cellulosic ethanol feasibility in the United States*. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.12, p.373-380, 2010.

SORDA, Giovanni *et al.* *An overview of biofuel policies across the world*. **Energy Policy**, v. 38, p. 6977-6988, 2010.

SOUZA, Raquel R. *et al.* *Can new legislation in importing countries represent new barriers to the development of an international ethanol market?* **Energy Policy**, v. 39, p. 3154-3162, 2011.

STOKKE, P.R. *et al.* *Scenario planning for Norwegian oil and gas*. **Long Range Planning**, v. 23(2), p. 17-26, 1990.

STROGREN, Bret *et al.* *Fuel miles and the blend wall: costs and emissions from ethanol distribution in the United States*. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 5285-5293, 2012.

TAHERIPOUR, Farzad *et al.* *Biofuels and their by-products: global economic and environmental implications*. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, p. 278-289, 2010.

TAHERIPOUR, Farzad; TYNER, Wallace E. *Ethanol policy analysis: what have we learned so far?* **Agricultural and Applied Economics Association**, v. 23(3), p. 6-11, 2008.

THOMPSON, Wyatt *et al.* *Model of the US ethanol market*. FAPRI-MU, Report 07-08, 2008.

THOMPSON, Wyatt *et al.* *What to conclude about biofuel mandates from evolving prices for Renewable Identification Numbers?* **American Journal of Agricultural Economics**, v. 93(2), p. 481-487, 2011a.

THOMPSON, Wyatt *et al.* *Effects of US biofuel policies on US and world petroleum product markets with consequences for greenhouse gas emissions.* **Energy Policy**, v. 39, p. 5509-5518, 2011b.

TIMILSINA, Govinda *et al.* *Oil price, biofuels and food supply.* **Energy Policy**, v. 39, p. 8098-8105, 2011.

TOKGOZ, Simla *et al.* *Bottlenecks, drought, and oil price spikes: impact on U.S. ethanol and agricultural sectors.* **Review of Agricultural Economics**, v. 30(4), p. 604-622, 2008.

TYNER, Wallace E. *et al.* *Alternative pathways for fulfilling the RFS mandate.* **American Journal of Agricultural Economics**, v. 93(2), p. 465-472, 2011.

UGARTE, Daniel G. De La Torre *et al.* *Expanded ethanol production: implications for agriculture, water demand, and water quality.* **Biomass and Bioenergy**, v. 34, p. 1586-1596, 2010.

UNEP. *Keeping track of our changing environment: from Rio to Rio+20 (1992-2012).* Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. 2011.

UNFCCC. Kyoto Protocol. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 10/10/2012.

UNICA. Produção. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/>. Acesso em 14/11/2013.

UNICA. Cultivo da cana hoje. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=9E97665F-3A81-46F2-BF69-26E00C323988>>. Acesso em 14/11/2012.

USDOE. *Report to congress: dedicated ethanol pipeline feasibility study.* March 2010. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/report_to_congress_ethanol_pipeline.pdf>. Acesso em 20/09/2012.

USDOE. *Biomass Multi-Year Program Plan.* 2011. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp_april_2011.pdf>. Acesso em 21/09/2012.

USDOE; EIA. *Monthly Energy Review.* March 2011. Disponível em: <<ftp://ftp.eia.doe.gov/multifuel/mer/00351103.pdf>>. Acesso em 02/11/2012.

USDOT *et al.* *Effects of the Alternative Motor Fuels Act CAFE Incentives Policy.* Report to Congress. March, 2002. Disponível em: <<http://www.nhtsa.gov/cars/rules/rulings/cafe/alternativefuels/index.htm>>. Acesso em: 20/10/2012.

VARUM, Celeste Amorim; MELO, Carla. *Directions in scenario planning literature: a review of the past decades.* **Futures**, v. 42, p. 355-369, 2010.

VEZIROGLU, Ayfer; MACARIO, Rosario. *Fuel cell vehicles: state of the art with economic and environmental concerns*. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.36, p.25-43, 2011.

WACK, Pierre. *Scenarios: uncharted waters ahead*. **Harvard Business Review**, September-October, p. 73-89, 1985a.

WACK, Pierre. *Scenarios: shooting the rapids*. **Harvard Business Review**, November-December, p. 139-150, 1985b.

WALLS, W.D. *et al.* *Biofuels policy and the US market for motor fuels: empirical analysis of ethanol splashing*. **Energy Policy**, v. 39, p. 3999-4006, 2011.

WALSH, Philip. *Dealing with the uncertainties of environmental change by adding scenario planning to the strategy reformulation equation*. **Management Decision**, v. 43(1), p. 113-122, 2005.

WEST, Ronald E.; KREITH, Frank. *A scenario for a secure transportation system based on fuel from biomass*. **Journal of Solar Energy Engineering**, v.130, p.1-6, 2008.

WESTHOEK, H.J. *et al.* *Scenario development to explore the future of Europe's rural areas*. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 114, p. 7-20, 2006.

WRIGHT, George *et al.* *Does the intuitive logics method - and its recent enhancements - produce "effective" scenarios?* **Technological Forecasting & Social Change**, v. 80, p. 631-642, 2013.

WTO. *Principles of the trading system*. Disponível em: <http://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/tif_e/fact2_e.htm>. Acesso em 31/10/2012a.

WTO. *Who we are*. Disponível em: <http://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/who_we_are_e.htm>. Acesso em 31/10/2012b.

YANO, Yuki *et al.* *Do current U.S. ethanol policies make sense?* **Policy Issues**, v. 10, p. 1-4, 2010.

YOUNG, Oran. *Effectiveness of international environmental regimes: existing knowledge, cutting-edge themes, and research strategies*. **PNAS**, v. 108(50), p. 19853-19860, 2011.

ZAFALON, Mauro. *Pioneira em etanol celulósico quer construir 1 usina por ano até 2020*. **Folha de São Paulo**. São Paulo, p. B7, 26/09/13.

ZAPATA, Clovis; NIEUWENHUIS, Paul. *Exploring innovation in the automotive industry: new technologies for cleaner cars*. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 14-20, 2010.

ZHANG, Zibin *et al.* *Blend-wall economics: relaxing U.S. ethanol regulations can lead to increase use of fossil fuels*. **Energy Policy**, v. 38, p. 3426-3430, 2010.

ZHU, Zhixi *et al.* *An inquiry into the potential of scenario analysis for dealing with uncertainty in strategic environmental assessment in China*. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 31, p. 538-548, 2011.