



Trajetórias Tecnológicas e Políticas Públicas: Um Estudo Sobre a Difusão do Biodiesel e Gás Natural no Brasil

Autoria: Adalberto Mantovani Martiniano de Azevedo, Newton Müller Pereira

Resumo

O artigo trata da difusão do gás natural e do biodiesel no Brasil, combustíveis cuja produção e consumo configuram trajetórias tecnológicas alternativas à trajetória baseada em derivados de petróleo, dentro de um paradigma tecnológico que envolve a produção e consumo de carburantes orgânicos para a produção de energia. O artigo descreve a situação atual das indústrias de gás natural e biodiesel no Brasil, destacando as iniciativas tomadas pelo governo brasileiro e por empresas sediadas no Brasil para difundir o seu uso, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento científico e tecnológico e à regulação que crie um ambiente favorável à sua difusão. O referencial teórico utilizado trata de conceitos chave para a compreensão do problema: seleção de tecnologias e ambientes de seleção, paradigmas, trajetórias e sistemas tecnológicos, mecanismos de focalização, *lock in* tecnológico, *path dependence*, cumulatividade e retornos crescentes de adoção. A metodologia empregada é a pesquisa bibliográfica, levantamento de dados secundários e levantamento da legislação. Conclui-se que para a difusão do gás natural e do biodiesel no Brasil são necessárias políticas públicas que modifiquem o atual ambiente de seleção, criando mecanismos de indução à difusão desses combustíveis alternativos aos derivados de petróleo.

1. INTRODUÇÃO

A diversificação da matriz energética é um objetivo que em vários pontos do espaço e do tempo direcionou investimentos significativos de empresas e governos. No Brasil e no mundo, observam-se recentemente diversas iniciativas voltadas à difusão de fontes de energia alternativas aos derivados de petróleo, criadas por necessidades diversas, como escassez de petróleo e preocupações ambientais.

A consolidação dos derivados de petróleo como principal fonte de energia ocorre nos países desenvolvidos no início do século XX, após a I Guerra Mundial, definindo essa trajetória tecnológica como a mais difundida dentro de um paradigma tecnológico que, seguindo a definição geral de paradigmas tecnológicos da OCDE (1992), tem como principais características a tarefa genérica de gerar energia, através da exploração de propriedades de compostos orgânicos, utilizando como tecnologia material reatores para conversão química, dutos e veículos para transporte e dispositivos de uso final, focando dimensões econômicas como o poder calorífico dos combustíveis e a oferta de insumos, e *trade offs* como a energia gerada *versus* a poluição produzida.

A solução dos problemas colocados por esse paradigma pode ser alcançada em diferentes trajetórias tecnológicas, especialmente no que diz respeito aos insumos utilizados.¹ Mais do que opções de matérias primas, existem diferenças importantes com relação aos conhecimentos tecnológicos utilizados para a produção e consumo de biodiesel, gás natural e derivados de petróleo, que os configuram como trajetórias tecnológicas distintas e concorrentes no mercado de combustíveis.²

No Brasil foi criada uma estrutura de consumo altamente dependente do petróleo, o que não impediu o desenvolvimento de tecnologias alternativas, com destaque para o etanol na década de 80 (programa Proálcool).³ Atualmente, os setores público e privado realizam esforços para substituir parcialmente o uso de derivados de petróleo, através da criação de mecanismos de estímulo à difusão de tecnologias de gás natural e biodiesel. Nesse contexto, destaca-se o papel

do Governo, como definidor da política energética que determina os incentivos e limitações à difusão do uso de determinados tipos de combustíveis.⁴

2. DIFUSÃO TECNOLÓGICA

O conhecimento e as técnicas relacionadas à produção e consumo de gás natural e biodiesel são duas trajetórias tecnológicas que visam solucionar problemas de um paradigma tecnológico, que pode ser caracterizado de maneira geral pela necessidade de converter matérias primas carbônicas em energia. A trajetória mais difundida dentro desse paradigma baseia-se no uso de derivados de petróleo. O domínio do mercado por essa trajetória deve-se a fatores como conhecimento acumulado na área e a infra-estrutura existente para produção e consumo, e tende a bloquear o desenvolvimento de alternativas e direcionar os aperfeiçoamentos aos padrões estabelecidos. Nesse contexto, a difusão das tecnologias de gás natural e biodiesel exige esforços deliberados do governo e das empresas para modificar o ambiente de seleção de trajetórias através da criação de mecanismos de indução ao seu uso.

Para Freeman (1991) as possibilidades técnicas são geradas em um ambiente social em que interagem necessidades humanas, fatores econômicos, empreendedorismo e dinâmicas do sistema científico-tecnológico. Esse ambiente social gera e inibe a difusão de técnicas, selecionando-as em diversos níveis. No ambiente natural, a seleção utiliza como critério necessidades “naturais”. Por exemplo, a escassez ou as mudanças de preços de insumos podem levar à sua substituição por insumos cuja utilização envolve técnicas diferentes. No ambiente construído a seleção atua colocando obstáculos físicos à difusão de novas técnicas. O ambiente institucional opera a seleção determinando o que é cientificamente concebível, tecnicamente viável, economicamente lucrativo e socialmente aceitável.

Dosi (1982) identifica como instrumentos de seleção de tecnologias as forças econômicas e fatores institucionais e sociais, o que inclui variáveis institucionais em sentido estrito, como políticas públicas de apoio financeiro à P&D em determinadas áreas e compras governamentais. Outro fator determinante da mudança técnica são dificuldades e problemas encontrados na produção e uso de uma tecnologia, que exigem soluções tecnológicas mais comumente obtidas através do avanço dentro de uma trajetória.

A direção do desenvolvimento técnico é determinada por mecanismos de focalização, definidos por Freeman (1991) como mecanismos que limitam as escolhas tecnológicas possíveis ao definir características de técnicas consideradas viáveis. No sistema científico, esses mecanismos são critérios internos de validação e coerência lógica; no sistema técnico, critérios de desempenho. Rosenberg (1976) utiliza a mesma idéia para definir o conceito de dispositivos de focalização, mecanismos que direcionam os esforços tecnológicos para a solução de problemas prioritários, e que orientam a evolução de certas tecnologias.

Para Dosi (1982, 1988) os paradigmas tecnológicos são modelos ou padrões de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios das ciências naturais e tecnologias materiais selecionadas, que define problemas a serem enfrentados e procedimentos de solução, incorporando prescrições sobre as mudanças técnicas que devem ser perseguidas e descartadas. O conhecimento prático e teórico, *know how* e métodos constituem as tecnologias desincorporadas de um paradigma, formado também por tecnologias incorporadas, que consistem nos artefatos utilizados.

O padrão normal de resolução de problemas colocados por um paradigma é definido por Dosi (1982) como uma trajetória tecnológica, que consiste nos conhecimentos e técnicas voltadas à solução de *trade offs* que contêm variáveis consideradas relevantes pelo paradigma. Nelson e Winter (1977), relacionam as trajetórias tecnológicas a fatores cognitivos, relacionados ao que é considerado desejável pelos agentes envolvidos na atividade inovativa, o que depende do

conhecimento acumulado por esses agentes em determinadas trajetórias. Utterback (1996) define a trajetória tecnológica como o “...percurso do progresso estabelecido pela opção de uma escolha de um conceito técnico central, no início dos eventos. As decisões sobre o produto, restritas por opções técnicas anteriores e pela evolução das opções dos clientes, influenciam estas várias trajetórias” (Utterback, 1996: 29).

A adoção de uma trajetória estimula o aprendizado pelo uso e pela produção, melhorias incrementais e obtenção de economias de escala, o que tende a melhorar o desempenho e diminuir custos das técnicas envolvidas, dando-lhe um caráter de irreversibilidade.

Freqüentemente uma tecnologia estabelecida pode ser inferior às opções descartadas. David (1985) explica o domínio do mercado por teclados do tipo QWERTY pelo treinamento difundido entre datilógrafos, que estimulou a manufatura desses teclados e bloqueou outras possibilidades que se revelaram tecnicamente superiores. O autor utiliza o conceito de rendimentos crescentes de adoção para explicar os efeitos da acumulação de conhecimento sobre a direção da mudança tecnológica. Esses rendimentos crescentes decorrem da própria adoção da opção tecnológica, que cria condições favoráveis ao seu desenvolvimento, como treinamento de recursos humanos e construção de infra-estrutura, o que pode “travar” o desenvolvimento tecnológico em certos padrões. Reforçando esse fenômeno, o interrelacionamento entre as técnicas torna o desenvolvimento de diversas tecnologias interdependentes, em sistemas tecnológicos onde a articulação dos componentes define as características das tecnologias, aumentando a dificuldade de alterar um componente. Esse “travamento” pode ser resultado da organização não intencional do ambiente ou de estratégias deliberadas de instituições públicas e privadas. “A exploração de tecnologias particulares e o desenvolvimento de métodos particulares de resolução de problemas aumenta as capacidades de firmas e indústrias nessas direções específicas, aumentando os incentivos para seguir nessa direção. Essas formas tecnológicas de retornos crescentes dinâmicos tendem a “travar” os processos de mudança técnica em trajetórias particulares, levando ao reforço mútuo (feedback positivo) entre um padrão de aprendizado e um padrão de alocação de recursos em atividades inovativas onde o aprendizado já ocorreu no passado” (Dosi, 1988: 1148).

Para Arthur (1989), tecnologias modernas e complexas freqüentemente trazem retornos crescentes de adoção, pois a difusão de uma tecnologia aumenta a experiência na solução de seus problemas. Quando duas ou mais tecnologias competem por um mercado, circunstâncias como o sucesso no teste de protótipos e incentivos políticos podem conferir a uma das tecnologias vantagens iniciais na adoção, dando-lhe uma parcela de mercado suficientemente grande para sustentar sua melhoria contínua.

Para Cecchi (2001) a redução de custos trazida pela experiência em uma trajetória cria economias de aprendizagem, similares às economias de escala. Essas economias também influenciam a escolha do consumidor “habitual” de um produto, que tende a otimizar seu uso. Essas economias de aprendizagem são determinantes do travamento em certas trajetórias, cujo “destravamento”, especialmente em setores de infra-estrutura, exige políticas (públicas e privadas) de incentivo ao aprendizado em trajetórias que envolvem conhecimentos científicos e tecnológicos diferentes. “Existe um elevado grau de irreversibilidade inerente à instalação e ampliação de infra-estruturas, que pode condenar toda a economia de um país ou de uma região a uma única trajetória. Novamente, apenas um agente externo, auxiliado por inovações tecnológicas, terá condições de abrir novas opções que dêem origem a trajetórias distintas.”(Cecchi, 2001: 19).

Para Dosi (1982) políticas públicas voltadas à busca de novos padrões tecnológicos visam estimular a acumulação de conhecimento científico e aplicado nessas áreas, estimulando seu

desenvolvimento, especialmente quando esse direcionamento tem interesses não econômicos (programas militares, conservação de energia, busca de auto suficiência em algum produto, etc.).

3.2. Biodiesel

O Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, obtido principalmente por processos de craqueamento, esterificação ou transesterificação. A rota mais aperfeiçoada atualmente é a transesterificação, utilizando-se metanol e catalisadores alcalinos.⁵ O biodiesel pode substituir o diesel de petróleo em motores de ciclo diesel ou estacionários (geradores de eletricidade, caldeiras e fornos).

O processo mais utilizado atualmente na produção de biodiesel é a transesterificação, que consiste na reação catalítica de óleos vegetais com etanol ou metanol, gerando biodiesel e glicerina.

Cararretto *et al* (2004), comparando o biodiesel ao diesel convencional, destacam que o biodiesel tem como principais desvantagens o menor poder calorífico, ponto de entupimento mais alto, o que pode causar problemas em baixas temperaturas, maior geração de resíduos carbônicos de alto peso molecular, o que compromete seu uso em sistemas de injeção de combustível, maiores problemas de oxidação, o que diminui o tempo que o produto pode ser estocado, e custos mais altos. As vantagens apontadas são suas melhores propriedades lubrificantes (característica especialmente desejável para mistura com diesel de baixo teor de enxofre) e menor emissão de poluentes. Vale lembrar que o custo do biodiesel é de 1,5 a 3 vezes o custo do diesel de petróleo (Nogueira e Macedo, 2004).

Nos EUA e em alguns países da União Européia o biodiesel já é utilizado comercialmente e existem diversos incentivos à difusão do produto. Nos EUA, o Congresso aprovou em 1997 o biodiesel como combustível alternativo; na União Européia, a diretiva 30/2003 do Parlamento Europeu estabeleceu que até 2005 2% dos combustíveis consumidos devem ser renováveis,⁶ percentual que em 2010 deverá ser de 5,75%. O total produzido na Europa ultrapassa 1 bilhão de litros por ano, crescendo 30% ao ano entre 1998 e 2002. A Alemanha é responsável por mais da metade da produção européia, e já comercializa biodiesel puro (B100) com garantia dos fabricantes de veículos.

As primeiras referências ao uso de óleos vegetais no Brasil datam da década de 20; posteriormente foram desenvolvidas pesquisas no Instituto Nacional de Tecnologia, no Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura e no Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais, onde em 1950 registram-se estudos sobre o uso, em motores diesel de 6 cilindros, de óleos de ouricuri, mamona e algodão. Em 1980, a Resolução nº 7 do Conselho Nacional de Energia lançou o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo), que visava inicialmente viabilizar misturas de 30%, pesquisando-se inicialmente soja, amendoim (1981), colza e girassol (1982) e dendê (1986); a queda de preços de petróleo, a partir de 1985, inviabilizou o programa. No início dos anos 80 a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio lançou o Programa Nacional de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal, que conduziu ao Programa OVEG, para testes de óleos vegetais em motores diesel, com participação de órgãos técnicos do Governo, institutos de pesquisa, fabricantes de óleos vegetais, de motores e empresas de transporte, realizando-se testes com biodiesel puro e 30%. No início dos anos 80, a Proerg (Produtora de Sistemas Energéticos), empresa cearense, registrou uma patente de biodiesel, e produziu cerca de 300 mil litros utilizados nos testes; a empresa também desenvolveu querosene de aviação de origem vegetal, homologado pelo CTA em 1983 (Nogueira e Macedo, 2004).

O programa atualmente desenvolvido no Brasil originou-se do Decreto Presidencial de 02/07/2003, que criou um Grupo de Trabalho para estudar a viabilidade de utilização de

biodiesel. Em 23/12/2003 outro Decreto Presidencial estabeleceu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). O Programa é gerido por uma Comissão Executiva Interministerial, que possui um Grupo Gestor encarregado de executá-lo. O PNPB foi lançado oficialmente em 06/12/2004, quando se estabeleceu o marco regulatório pela Medida Provisória nº 214/04. A MP atribuiu competência à ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para regular a produção e uso do biodiesel, estabeleceu prazos em que deverão ser misturados 2 e 5% de biodiesel no diesel de petróleo comercial, determinou que o CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) monitore a inserção do biodiesel no mercado e instituiu o modelo tributário e os mecanismos de certificação social.

A Lei nº 11.097/2005 tornou obrigatória a adição do biodiesel ao diesel comercializado no Brasil, 2% (diesel B2) até 2008,⁷ e 5% (diesel B5) a partir de 2013. A mistura de 2% entre 2005 e 2007 cria uma demanda para 840 milhões de litros por ano do biodiesel; a obrigatoriedade entre 2008 e 2012, criará demanda de 1 bilhão de litros por ano; a obrigatoriedade de 5%, a partir de 2013, criará um mercado de 2,4 bilhões de litros ao ano (Gomide, s/d).

A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) se comprometeu a manter as garantias dos veículos, desde que o B2 atenda as especificações estabelecidas pela ANP,⁸ que criou a figura do produtor de biodiesel, estabeleceu as especificações do produto (Resolução ANP nº 42/2004), estruturou sua cadeia de comercialização e estabeleceu que a mistura do biodiesel ao diesel de petróleo seja feita pelas distribuidoras de combustíveis e refinarias. Atualmente, o MCT coordena esforços de validação do uso da mistura B5, em conjunto com a Anfavea e Sindipeças, através de ensaios de bancada e testes de campo

Entre os mecanismos de estímulo à difusão do biodiesel, o Selo Combustível Social dá a empresas produtoras de biodiesel certificadas vantagens tributárias e acesso a linhas de financiamento. Para obter o selo, as empresas devem garantir a compra de parte da matéria-prima⁹ a preços pré-estabelecidos de agricultores cadastrados no Pronaf (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), além de fornecer assistência técnica a esses agricultores.

Além de ser isento da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) incidente sobre os outros combustíveis, a produção de biodiesel recebeu incentivos previstos na Lei 11.116/2005, que unificou a cobrança de PIS/PASEP e COFINS do produtor industrial de biodiesel. As alíquotas podem ser reduzidas em função da matéria-prima, região de produção e tipo de fornecedor (agricultor familiar ou agronegócio). O Decreto 5.457/2005 reduziu em 67,63% a alíquota definida na Lei, igualando a carga tributária incidente sobre o biodiesel à do diesel de petróleo, cujo valor é menor. O quadro 1 resume os incentivos tributários concedidos ao produtor, em função da matéria prima utilizada e da região de produção, comparando à carga tributária incidente sobre o diesel de petróleo. Tal regime de incentivos é bastante sujeito a controvérsias, por incidir seletivamente e em apenas duas espécies de oleaginosas.

Quadro 1. Tributos federais incidentes sobre o biodiesel e o diesel de petróleo.

Tributos Federais	Biodiesel				Diesel de Petróleo
	Agricultura familiar no Norte, Nordeste e Semi-Árido, mamona ou palma	Agricultura Familiar	Norte, Nordeste e Semi-Árido, mamona ou palma	Regra Geral	
IPI	zero	zero	zero	zero	zero
CIDE	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente	0,070
PIS/COFINS	Redução de 100%	Redução de 68%	Redução de 31%	Igual ao diesel mineral	0,148
Total de tributos	0,00	0,070	0,151	0,218	0,218



federais (R\$/litro)					
----------------------	--	--	--	--	--

Fonte: Rodrigues (2006)

Os agricultores familiares envolvidos com a produção de biodiesel têm à disposição linhas de crédito do Pronaf, que disponibilizou para esse setor R\$ 100 milhões em 2005, priorizando inicialmente as culturas de dendê, mamona, soja, algodão em caroço e girassol.

No BNDES, o Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel financia até 90% de projetos certificados pelo Selo Combustível Social, para produção agrícola e de óleo, armazenamento, logística, beneficiamento de sub-produtos e aquisição de equipamentos para o uso de biodiesel.

No Banco do Brasil, o Programa BB de Apoio a Produção e Uso de Biodiesel concede crédito para custeio, investimento e comercialização na produção agrícola e na industrialização. A industrialização conta com linhas de crédito do Pronaf Agroindústria, Prodecoop (Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária) e crédito agroindustrial.

Uma das justificativas do Governo Federal para estimular a difusão do biodiesel é a redução nas importações de diesel de petróleo decorrentes do uso comercial do diesel B2 (US\$ 160 milhões por ano, aumentada para US\$ 400 milhões com o uso do diesel B5). Além disso, as condições naturais brasileiras, adequadas às oleaginosas, conferem ao produto potencial de exportação, e considera-se que a cadeia produtiva do biodiesel tem grande potencial de gerar empregos, especialmente nas regiões do Semi-Árido e Norte, reduzindo assim desigualdades sociais e regionais. Por fim, considera-se que o biodiesel traz benefícios ambientais, ao reduzir a emissão de poluentes.

Apesar dos argumentos favoráveis, o PNPB esbarra em diversos obstáculos. Para que a meta de adicionar 2% de biodiesel ao diesel nacional seja atingida até 2008 o Presidente da Petrobras aponta dificuldades como necessidade de tecnologias para processar diferentes produtos e criar processos de produção contínuos, transporte e organização dos produtores (Correio da Bahia, 06/09/2005). Além disso, a capacidade de produção atual ainda é insuficiente para atender à demanda criada com o uso do B2.¹⁰ Outro problema tecnológico refere-se ao controle das especificações das misturas, cuja análise exige métodos sofisticados que não podem ser realizados em campo.

O módulo de Desenvolvimento Tecnológico do PNPB é coordenado pelo MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia), que constituiu a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel para articular os atores envolvidos na pesquisa, desenvolvimento e produção de biodiesel, através do projeto financiado com recursos dos Fundos Setoriais “Implantação e consolidação da rede brasileira de biodiesel”, realizado pela ABIPTI (Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica) e pelo MCT. A rede visa estabelecer um sistema de gerenciamento da articulação dos participantes da indústria, além de identificar e eliminar gargalos tecnológicos. Foram realizados projetos em 24 Estados, para estruturação de laboratórios e formação de RH e atendimento ao mercado (assistência técnica, controle de qualidade, armazenamento, caracterização e controle da qualidade e co-produtos).

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e Científico coordenado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) aplicou no período 2003/2004 mais de R\$ 14 milhões em pesquisas sobre biocombustíveis (7,7% do total gasto no período) (Boletim Energia, 2005). No âmbito dos Fundos Setoriais, são aplicados na área recursos do CTAgrro, CTPetro e ações transversais. A Embrapa, em parceria com a UNB, realiza pesquisa para viabilizar um processo de craqueamento térmico para a produção de biodiesel. A Embrapa também atua na área de zoneamento agrícola, para adaptar produções locais, estimar a disponibilidade de áreas, o

potencial de produção e a aptidão agrícola das diferentes regiões brasileiras. Também são desenvolvidos, desde 2003, testes com representantes da indústria de veículos e autopeças, nas áreas de desempenho e durabilidade de motores brasileiros com o uso de misturas até B20, oriundo de diversas oleaginosas; estabilidade em diversas épocas do ano; impacto ambiental (especialmente emissões de óxidos de nitrogênio); viabilização do processo etílico para atingir a especificação do processo metílico e adaptações nas especificações.

Na Petrobras, existe um programa de P&D na área de biodiesel que inclui testes em plantas-piloto, visando desenvolver uma rota de transesterificação direta, que condensa as fases de extração, refino e transesterificação em um único processo. A empresa também atua na distribuição do produto e na sua mistura com o diesel comercial. Além disso, os testes para verificação das especificações do produto foram desenvolvidos no Centro de Pesquisas da Petrobras, e a empresa planeja colocar em operação, em agosto de 2006, uma usina piloto no Rio Grande do Norte com capacidade de produzir 6 mil litros por dia de biodiesel de mamona (Gazeta Mercantil, 13/07/2005).

Atualmente, produzem biodiesel no Brasil a Brasil Biodiesel Comércio e Indústria de Óleos Vegetais, SoyMinas Biodiesel Derivados de Vegetais, Companhia Refinadora da Amazônia (Grupo Agropalma), Biolix Indústria e Comércio de Combustíveis Vegetais, Renobrás, Granol/Ceralit, Ponte de Ferro e Brasil Ecodiesel Comércio e Indústria Óleos Vegetais. Outras empresas do ramo são a TECBIO – Tecnologias Bioenergéticas, empresa brasileira de projetos de processos químicos, e Degussa AG e BASF, fornecedoras de catalisadores para o processo de transesterificação.

3.3. Gás natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos, principalmente metano (CH_4). Os principais usos do produto são como energético e insumo químico.

A cadeia produtiva da indústria de gás natural se inicia na exploração e desenvolvimento dos campos produtores. O desenvolvimento envolve a perfuração de poços e a infra-estrutura de produção.

Na fase de processamento o gás natural é adequado para o transporte e utilização final. Os produtos típicos obtidos são metano e etano, propano, butano e gasolina natural. O transporte e distribuição de gás natural em geral é feito em gasodutos. As opções aos gasodutos são o transporte na forma de gás natural Comprimido (GNC) ou gás natural Liquefeito (GNL).¹¹ O gás natural pode ser armazenado em formações geológicas como aquíferos e jazidas esgotadas de sal e petróleo ou em depósitos criogênicos (GNL). O gás natural também pode ser processado para a produção de combustíveis (gasolina, diesel e outros), através de técnicas que Dunham *et al* (2003) consideram trajetórias tecnológicas alternativas ao refino de petróleo.

De acordo com Cecchi (2001), o uso comercial do gás natural data de 1876 nos EUA, onde foram construídos os primeiros gasodutos. Em 1890 o *Standard Gas Trust* possuía uma rede de gasodutos com mais de 300 km e capacidade de transportar 7 milhões de m^3 de gás natural por dia. Até a metade do século XX, a utilização comercial do energético ficou restrita aos Estados Unidos.¹² Gasodutos de dimensões continentais como o *Big Inch* e o *Little Big Inch* foram construídos no país em 1947.

Na Europa Ocidental, as primeiras jazidas comerciais foram descobertas na Itália (1931) e na França (1939). Na mesma década foram encontradas jazidas na Hungria, Romênia e na extinta URSS. Contudo, o consumo comercial do gás natural só começou na Europa em meados da década de 50, com o descobrimento de novas técnicas de transporte e novas reservas.

Um fator que explica a difusão pioneira do uso do gás natural nos EUA e em diversos países da Europa é a disponibilidade de redes de distribuição de gás de carvão nas cidades. Em outros

países a difusão do gás natural só ocorreu a partir da década de 60, associada à descoberta de jazidas próximas aos mercados.

Na década de 70 os dois choques do petróleo beneficiaram a difusão do gás natural. Na mesma década, a criação de turbinas a gás natural para geração de eletricidade, mais eficientes do que as convencionais, também estimulou o consumo do produto (Cecchi, 2001). Além disso, considerações ambientais levaram à valorização vantagens do gás natural sobre os carburantes tradicionais, como menor emissão de gases de efeito estufa, emissão nula de cinzas pesadas e a facilidade de manuseio.

Os maiores consumidores mundiais do produto atualmente são Estados Unidos (1,69 bilhões de m³/dia) e a Ex-URSS (1,5 bilhões de m³/dia). Na Europa, consomem-se 1,29 bilhões de m³/dia; no Brasil, o consumo é de 0,03 bilhões de m³/dia. As maiores reservas estão na ex-URSS e no Oriente Médio; as Américas do Sul e Central detêm atualmente 7,16% das reservas, e a Europa 4,86%.

No Brasil, o gás natural é produzido desde 1954, na Bahia, onde era utilizado em campos de petróleo. Em 1962 foi construída uma planta de processamento nesse Estado, e no final da década a criação da Petroquisa levou a Petrobras a iniciar a construção de uma segunda planta. Nos anos 70, essas unidades foram ampliadas, e desenvolveram-se campos de gás natural em Alagoas e Sergipe, que passaram a abastecer o pólo petroquímico de Camaçari¹³. Entre 1981 e 1985 foram descobertas reservas na Bacia de Campos, e o consumo total passou de 860 mil para mais de 2,17 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano. A Resolução n. 01/87 da CNE (Comissão Nacional de Energia) instituiu o PLANGÁS (Plano Nacional de Gás Natural), visando substituir parte do óleo diesel consumido no país; a Resolução n. 01/88 da CNE determinava a aceleração do uso de gás natural. As Resoluções do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) n.º 727/89 e n.º 735/89 autorizaram o uso de gás natural em frotas cativas de veículos novos ou usados, com motores do ciclo diesel ou Otto. Nos anos 90 o gás natural começou a ser produzido nos litorais de São Paulo e Paraná, Amazônia, Ceará e Sul do Espírito Santo, aumentando significativamente o uso industrial do gás natural, em substituição ao óleo combustível. No início da década de 90, o governo, tomou uma série de medidas para viabilizar o uso do gás natural, publicando-se a Portaria MINFRA (Ministério da Infra-estrutura) n.º 107, que autorizava as distribuidoras de combustíveis a distribuir o gás natural, a Portaria MINFRA, n.º 222/91, que liberou o uso do gás natural em táxis; a Portaria DNC (Departamento Nacional de Combustíveis) n.º 26/91, que autorizava a venda de gás natural em Postos operados por distribuidoras ou terceiros;¹⁴ a Portaria MME (Ministério de Minas e Energia) n.º 553/92, que autorizou a utilização do gás natural para fins automotivos em frotas de ônibus urbanos e interurbanos, táxis, frotas cativas de empresas e de serviços públicos e veículos de transporte de cargas; e o Decreto do Presidente da República n.º 1787/96, que autorizou a utilização de gás natural em veículos automotores e motores estacionários. Em 1991, o Relatório da Comissão de Reexame da Matriz Energética Nacional estabeleceu como meta indicativa o aumento da participação do gás natural na Matriz Energética Brasileira para 6% em 2010. Em 1992 o Relatório da Comissão do Gás Natural concluiu que as metas deveriam ser revistas e recomendou que a participação do gás natural deveria chegar a 10% em 2000 e 12% em 2010.

A malha de dutos para transporte de gás natural no Brasil possui apenas 7,7 mil km (40% em SP e 33,7% no RJ)¹⁵. Boa parte desses dutos estão ligados a projetos de integração gasífera da América Latina, como o Gasbol, inaugurado em 1999. Os principais gasodutos nacionais são o Lateral Cuiabá (2,8 milhões de m³ por dia), Paraná-Uruguaína (15 milhões m³) e Uruguaína-Porto Alegre (12 milhões m³).



No Brasil existem 18 unidades de processamento de gás natural, com capacidade de 38.620 mil m³ por dia. Grande parte da capacidade (13.120 m³) está no Rio de Janeiro e é controlada pela Petrobras.

Em 2003, o consumo de gás natural representou 7,7% da energia primária consumida no Brasil, a maior parte no setor industrial (46,2%), reinjetado nos poços de petróleo ou não aproveitado (26%), geração de eletricidade (14,2%), automotivo (6,4%), usos não energéticos (3,8%) e outros (6%) (BEN, 2004).

O consumo de gás natural apresentou crescimento expressivo a partir de 1999, passando de 2,3% do consumo total de energia primária, em 1988, para 6% em 2003. Esse aumento se deveu a fatores como a ampliação da importação pelo Gasbol e o lançamento do Programa Prioritário de Termoelétricas (PPT) em 2000 (Cecchi, 2001). O Governo Federal estabeleceu uma meta de que o consumo de gás natural chegue a 12% da matriz energética brasileira até 2010, meta anunciada na mensagem ao Congresso do Presidente da República em 1998.

Contudo, o volume de reservas cresceu pouco no período, de 231.233 milhões de m³ em 1999 para 245.340 milhões de m³ em 2003. Tampouco a produção de gás natural cresceu como seu consumo, passando de 11.855,18 milhões de m³ em 1999 para 15.792,064 em 2003.¹⁶

O marco regulatório da indústria de gás natural brasileira começou a ser estabelecido com a Constituição Federal de 1988, que deu aos Estados produtores o direito de conceder licenças para distribuição, criando-se então distribuidoras estaduais. Em 1995 a Emenda Constitucional nº 5 permitiu a exploração desses serviços por empresas privadas, cabendo às agências estaduais regular a atividade.

Atualmente, a regulação da indústria é feita pela ANP, através de sua Superintendência de Comercialização e Movimentação de Gás Natural, que tem entre suas funções incrementar o uso do gás natural, garantir seu suprimento, fixar suas especificações, definir a tarifação, estimular a pesquisa e a adoção de tecnologias e conceder concessões para exploração, produção, processamento, transporte, importação e exportação de gás natural por empresas privadas. A distribuição é regulada pelos Estados, que têm o poder de criar incentivos locais.

Para Schetman, Campos Filho e Basil (2003), o modelo de regulação adotado para o gás natural no Brasil tem dificuldades relacionadas à coordenação das instâncias reguladoras e a aspectos técnicos do gás natural, tratados em conjunto com as regras para petróleo e derivados. Esses problemas criaram demandas por uma Lei específica para o gás natural, encaminhada pela ANP ao MME em 2005. Atualmente encontram-se em discussão no Congresso Nacional três projetos de lei para regular a indústria do gás natural.

A principal empresa brasileira do segmento de gás natural é a Petrobras, que atua em toda a cadeia, controlando a Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil, a Transpetro, a Gaspetro e a BR Distribuidora, e é acionista em 16 das 23 distribuidoras do Brasil. Além da Petrobras, atuam no Brasil a *British Gas* (UK), Enron (EUA), Ipiranga (Brasil), Shell (Holanda/UK), TotalFinaElf (França/Bélgica), El Paso (EUA), Agip (Itália), Repsol-YPF (Espanha/Argentina) e a *British Petroleum* (UK). Na área de equipamentos para uso de gás natural, destaca-se a empresa White Martins, que anunciou investimentos de US\$ 65 milhões em 2006, para expandir fábricas de cilindros de Barra Mansa (RJ) e Manaus (AM), além da fábrica de kits de conversão de Gás Natural Veicular (GNV) em Manaus. Também estão previstos investimentos de R\$ 16 milhões em uma linha de cilindros mais leves de GNV, denominada Linha Light, que tem peso até 25% abaixo do tradicional (Jornal do Brasil, 2005).

Para estimular o desenvolvimento científico e tecnológico, foi criada em 1999 a Rede Gás Energia, constituída pela Petrobras, TBG, TBS e vinte concessionárias estaduais, além de 33 instituições tecnológicas em 17 Estados. Outros programas tecnológicos que desenvolvem



pesquisas na área são o CTPetro e CTenerg, o Programa de Recursos Humanos da ANP e o Projeto Cabiúnas da Petrobras, antigo projeto Queima Zero, que visa o aproveitamento do gás produzido nos campos de petróleo.

4. CONCLUSÕES

Com base no referencial teórico utilizado, pode-se concluir que a produção e consumo de gás natural, biodiesel e derivados de petróleo são três trajetórias tecnológicas diferentes, que atendem às necessidades do paradigma de geração de energia a partir de combustíveis de carbono. Pode-se dizer, também, que são produtos concorrentes, disputando principalmente o mercado de combustíveis para veículos pesados, mercado que atualmente é dominado pelo óleo diesel de petróleo.

Para difundir o uso de gás natural e biodiesel são necessárias medidas que promovam o “destravamento” dessas trajetórias, cuja difusão é inibida pela estrutura criada para o uso do diesel de petróleo. São necessárias intervenções públicas e privadas que criem no ambiente de seleção mecanismo de indução à difusão desses combustíveis, intervenções essas que podem ser verificadas em diversos países desenvolvidos e no Brasil.

No caso brasileiro, vêm sendo tomadas diversas medidas por parte do Governo, tanto na regulação como no desenvolvimento tecnológico. Conforme apresentado, tais iniciativas não são recentes, e ainda não lograram difundir a produção e consumo desses energéticos, que depende ainda da superação de diversos problemas técnicos (como processamento do biodiesel e aumento da produção doméstica de gás natural) e institucionais (definição do regime de incentivos para o produtor de biodiesel, regulação do setor de gás natural). Além desses problemas, o uso desses combustíveis enfrenta a concorrência do diesel de petróleo, produto cujos problemas técnicos e institucionais estão em um estágio de solução muito mais avançado e para o qual existe uma enorme infra-estrutura de produção e consumo.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural 2003*. Rio de Janeiro: ANP, 2004.

ARTHUR, W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *Economic Journal*, London, n. 394, v. 99, p. 116-31, mar. 1989.

BARDAWIL, O. Especial 1 – Cearense registrou primeira patente de produção de biodiesel em todo o mundo. *Brasil Agora*, Agência Brasil, 219/2005.

_____. Especial 2 – Inventor brasileiro do biodiesel também criou vaca mecânica e bioquerosene para aviões. *Brasil Agora*, Agência Brasil, 219/2005.

BIJKER, W.; HUGHES, T.; PINCH, T. *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge: The MIT Press, 1987, p. 51-82.

BOLETIM ENERGIA. Balanço de investimentos em pesquisa e desenvolvimento revela interesse em biodiesel. *Boletim Energia da ANEEL*, n. 185, 18 a 24 de agosto de 2005.

CARRARETTO, C.; MACOR, A.; MIRANDOLA, A.; STOPPATO, A.; TONON, S. Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, v. 29, Issue 12-15, p. 2195-2211, 2004.

CECCHI, J.C. *Indústria brasileira de gás natural: regulação atual e desafios futuros*. Rio de Janeiro: Superintendência de comercialização e movimentação de gás natural, ANP, 2001. 151 p.

CORREIO DA BAHIA. Biodiesel deve substituir 2% do diesel. Salvador, 6 set. 2005.

DIAS, F.A. A Regulação dos Gases Combustíveis: Gás Natural e GLP. PALESTRA APRESENTADA NA FIESP. 01 ago. 2005.



DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories, A suggested interpretation of the determinants and direction of technical change. *Research Policy*, v. 11, n. 3, p. 147-162, jun. 1982

_____. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, v. 26, n.3, p.1120-1171, sep. 1988.

DUNHAM, F.B.; BOMTEMPO, J.V. BICALHO, E.R.G. Processos de produção de combustíveis sintéticos: análise das trajetórias tecnológicas. In: 2º CONGRESSO P&D EM PETRÓLEO E GÁS, Rio de Janeiro, 2003.

FREEMAN, C. Innovation, changes of techno-economic paradigm and biological analogies in economics. *Revue Économique*, v. 2, p. 211-232, 1991.

FURTADO, A.T. *Energie de la biomasse et style de development : les leçons du Programme Proalcool au Bresil*. Tese (Doutorado). Pantheon-Sorbonne, Paris, 1983

GAZETA MERCANTIL. Biodiesel aumenta renda da população. 13/07/2005.

GOMIDE, R.B. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Apresentação. Disponível: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/Biodiesel_MME.pdf

HUGHES, T. The Evolution of Large Technological Systems. In: NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, v. 6, n. 1, p. 36-76, jan. 1977.

JORNAL DO BRASIL. Novos Recursos para GNV. 29 de junho de 2005.

NOGUEIRA, L.A.H. MACEDO, I.C. Avaliação do Biodiesel no Brasil. Cadernos NAE N. 2, Biodiesel. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 2004. P. 11-112 Disponível: http://www.presidencia.gov.br/secom/nae/docs/cnae_bio.pdf Acesso em 10/06/2006

O ESTADO DE SÃO PAULO. Exército boliviano ocupa petrolíferas. 29 de junho de 2005

OCDE. *Technology and Economy: The key relationships*. Paris: OCDE, 1992.

RODRIGUES, R.A. O programa nacional de produção e uso de biodiesel: diretrizes, legislação e tributação. Apresentação feita no Seminário Regional sobre Produção e Uso de Biodiesel – Bacia do Paraná III. Santa Helena, 2006. Disponível: <<http://www.iapar.br/biodiesel/prognac.pdf>> Acesso em 10/06/2006

SCHECHTMAN, R.; CAMPOS FILHO, L.; BASIL, H.L. *Gás Natural: Dinâmica da Indústria no Brasil e Tecnologias Emergentes de Transporte e Estocagem*. Nota Técnica 10, Projeto Tendências/CTPetro, Rio de Janeiro, 2003, 96 p.

SOUZA, M.A.A. Arcabouço regulatório do biodiesel: especificações. Apresentação realizada no RECOMTEC (I Seminário sobre Tecnologia de Combustíveis e Lubrificantes), 2005. Disponível: <<http://www.facs.br/acontece/download/recomtec/Recomtec%202005%20-%20Apresentacao%20Dra%20Maria%20Antonieta%20-%20ANP-SQP.pdf>> Acesso em 10/06/2005

TURDERA, E.M. Desafios da regulação na Indústria e Mercado Brasileiro de Gás Natural. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, Campinas, 1997.

UTTERBACK, J. *Dominando a dinâmica da inovação*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 264 p.

VALOR ECONÔMICO ONLINE. Bacia de Santos poderá produzir 30 milhões de m³. 1 set. 2005.

¹ Um exemplo de trajetórias tecnológicas com insumos alternativos ao petróleo foram os processos de produção de combustíveis sintéticos a partir de carvão desenvolvidos na Alemanha e no Japão entre a I e a II Guerras Mundiais (Dunham et al, 2003)



² O conceito de sistemas tecnológicos de Hughes (1987) também pode ser utilizado para abordar o problema, considerando que as cadeias produtivas de biodiesel, gás natural e derivados de petróleo são três sistemas tecnológicos distintos.

³ Uma análise do Proálcool está em FURTADO (1983)

⁴ Uma análise do papel do Estado na definição dos padrões tecnológicos em setores de infra-estrutura, com destaque para o setor energético, está em Turdera (1997).

⁵ O processo que utiliza etanol, mais interessante para o Brasil, ainda está sendo aperfeiçoado.

⁶ O que inclui o etanol.

⁷ Esse prazo foi antecipado por Resolução do MME para 01/01/2006, a fim de induzir o aumento da produção e oferta de biodiesel e assegurar a viabilidade da adoção do percentual mínimo obrigatório de 2%.

⁸ Para isso, a ANP teve de revisar 18 resoluções referentes a combustíveis líquidos.

⁹ Os percentuais mínimos para que o produtor de biodiesel receba o selo são de 50% na Região Nordeste, 30% no Sul e Sudeste e 10% no Norte e Centro Oeste.

¹⁰ Atualmente, a capacidade de produção de Biodiesel no Brasil é de 414 milhões de litros por ano, abaixo do volume necessário (840 milhões de litros por ano) para garantir que o diesel B2 seja consumido em todo o Brasil (Souza, 2005).

¹¹ O GNL é obtido por resfriamento a -161°C , diminuindo seu volume em 600 vezes. Após ser transportado em navios metaneiros, o GNL é reaquecido em plantas de regaseificação e distribuído. Esse processo é bastante caro, utilizado onde a oferta do gás natural é baixa ou não existem redes de gasodutos. O GNC é obtido pela compressão do gás natural a 220 atm, e aplicado principalmente em veículos como gás natural veicular (GNV).

¹² Nos EUA, o transporte e a comercialização do gás natural são regulados desde 1938, quando foi lançado o *Natural Gas Act*.

¹³ A indústria de gás natural brasileira começou atendendo a grandes clientes industriais; já nos países desenvolvidos, a indústria cresceu apoiada na demanda residencial e pública (Cecchi, 2001).

¹⁴ O primeiro posto público de abastecimento de GNV no Brasil foi inaugurado em 1991 no Rio de Janeiro, com a marca Ipiranga.

¹⁵ Nos EUA, a extensão da rede é de 450 mil km.

¹⁶ Na Bacia de Santos, de acordo com a Petrobras, deverão ser produzidos 30 milhões de metros cúbicos por dia (no Bloco BS-500, que será desenvolvido em parceria com a Repsol, e no megacampo de Mexilhão), volume equivalente ao que é atualmente importado da Bolívia (O Estado de São Paulo, 29 de Junho de 2005)