

Luiz Fernando Rigacci Vazzolér

Universidade Estadual de Campinas

(Unicamp, Brasil)

luiz.vazzoler@gmail.com

Maria Beatriz Machado Bonacelli

Universidade Estadual de Campinas

(Unicamp, Brasil)

bia@ige.unicamp.br

GERAÇÃO E USO DE ETANOL COMBUSTÍVEL: OPORTUNIDADES E LIMITES DA TECNOLOGIA FLEX-FUEL

GENERATION AND USE OF ETHANOL FUEL: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS OF FLEX- FUEL TECHNOLOGY

RESUMO

Este artigo explora o projeto da tecnologia *flex-fuel*, resgatando a história do pioneirismo das pesquisas e do uso do etanol como combustível desde os anos 1930, passando pelo *Pró-álcool* nos anos 1970 e chegando ao motor *flex-fuel* nos anos 2000. Destaca a instalação da indústria automobilística nacional e o próprio projeto e desenvolvimento do motor de combustão interna no século XIX, utilizando os conceitos de trajetórias tecnológicas e coevolução técnica e institucional. Mesmo com o conhecimento e a experiência na geração e uso de combustível alternativo e, recentemente, em tecnologias alternativas para motores, discute-se se o Brasil está perdendo uma oportunidade para alçar o etanol e a tecnologia do motor *flex-fuel* como opções às trajetórias tecnológicas vigentes.

Palavras-chave: Política setorial e de inovação. Bioenergia. Motor de combustão interna. Setor automobilístico.

ABSTRACT

This article explores the project of flex-fuel technology, resuming the history of pioneering researches and the use of ethanol as a fuel since the 1930s, going through *Pró-álcool* in the 1970s, and getting to the flex-fuel engine in the 2000s. It highlights the installation of the national automotive industry and the very project and development of internal combustion engine in the 19th century, using the concepts of technological pathways and technical and institutional coevolution. Even with the knowledge and experience on generating and using alternative fuel and, recently, on alternative technologies for engines, it has been discussed if Brazil is losing an opportunity to raise ethanol and the flex-fuel engine technology as options to the current technological pathways.

Keywords: Sectoral and innovation policy. Bioenergy. Internal combustion engine. Automotive industry.

Universidade Federal do Espírito Santo

Endereço

Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras
29.075-910, Vitória-ES
gestao.conexoes@gmail.com
gestaoconexoes@ccje.ufes.br
<http://www.periodicos.ufes.br/ppgadm>

Coordenação

Programa de Pós-Graduação em
Administração (PPGADM/CCJE/UFES)

Artigo

Recebido em: 29/09/2014
Aceito em: 16/10/2014
Publicado em: 28/11/2014

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística há muito assumiu papel de protagonista no Brasil no que diz respeito a diferentes políticas, como a de comércio exterior, de indução do mercado interno, as políticas fiscais e o estímulo à produção e ao consumo de bens duráveis; mais recentemente, também, vem sendo chamada a contribuir para a redução de efeitos deletérios ao meio ambiente (por meio de pressões de ordem regulatória e legal), sendo, ainda, objeto de políticas voltadas ao aumento do conteúdo nacional e do adensamento da cadeia produtiva nacional, via programas de incentivo à indústria e à inovação, como o Inovar-Auto.

O setor também é protagonista de eventos importantes relativos ao uso de combustíveis alternativos à gasolina, desde os anos 1930, chegando ao ápice nos anos 1970, com o Pró-álcool, cujo ciclo de vida foi muito curto para tamanha iniciativa – viabilizar a utilização de álcool combustível em larga escala –, porém, esta voltou a assumir papel central com os veículos *flex-fuel* nos anos 2000.

A introdução da tecnologia *flex-fuel* é uma história rica a ser analisada, pois, ao mesmo tempo que remete aos tempos do Pró-álcool, aponta grandes diferenças, especialmente quanto ao comportamento das empresas automobilísticas, do governo e do consumidor, com destaque para o papel das autopeças e montadoras – protagonistas dessa iniciativa – e, também, dos usuários, que se dispuseram a dar novo crédito ao uso do álcool como combustível.

Contudo, como o carro *flex-fuel* ganhou mercado novamente, depois dos sucessivos desabastecimentos de álcool combustível no final da década de 1980? Segundo especialistas consultados¹, ao compreender o *flex-fuel* como a manutenção dos veículos à álcool no mercado, tem-se o carro a álcool “com seguro”, uma vez que na falta deste pode-se utilizar a gasolina como alternativa.: E a escolha do combustível é feita na bomba, no momento do abastecimento no posto de serviço, à livre escolha do usuário, sem nenhum requisito de mudanças no motor por parte do condutor. Com tal “seguro”, ganhou a preferência dos automotores, já que responde por cerca de 90% dos veículos de passeio produzidos atualmente no país. Junte-se a isso a existência de infraestrutura de distribuição e comercialização do etanol já instalada.

Entretanto, essa troca ou confiança tem um limite. É verdade que é possível que as vendas de veículos *flex-fuel* continuem crescendo; porém, o álcool como combustível ainda tem muito a avançar – não apenas sob o ponto de vista da eficiência técnica, mas,

ainda, como resultado das políticas do governo. As ações e sinalizações governamentais têm de ir muito além das vantagens pontuais e ser efetivadas na forma de apresentar continuidade e consistência para consolidar toda a cadeia do álcool como combustível, alcançando a tecnologia e o veículo *flex-fuel*. Um discreto avanço pode estar relacionado ao Inovar-Auto, no sentido de forçar o desenvolvimento tecnológico, entretanto, a questão de uma visão de longo prazo permanece sem resposta.

Diante do exposto, o objetivo central deste artigo é analisar o desenvolvimento do projeto da tecnologia *flex-fuel*, apresentando um resgate da instalação da indústria automobilística nacional e, sobretudo, do pioneirismo das pesquisas e do uso de etanol como combustível desde os anos de 1930, passando pelo Pró-álcool e chegando ao motor *flex*. Procura-se demonstrar que talvez o país tenha perdido a oportunidade de tornar o etanol o principal combustível automotivo, mesmo tendo a tecnologia *flex-fuel* como grande aliada nessa iniciativa.

O estudo está estruturado em três seções, além desta introdução. A primeira trata do pioneirismo do país na investigação e uso de etanol como combustível alternativo à gasolina desde a primeira metade do século XX, em sucessivas iniciativas. A segunda seção resgata a história do motor a combustão e sua evolução técnica, conformando trajetórias tecnológicas que o asseguraram como o projeto dominante na indústria do automóvel. A terceira seção aborda em maior detalhe a tecnologia *flex-fuel* e o processo do seu desenvolvimento no país, especialmente do ponto de vista técnico e das estratégias das empresas do setor automotivo. Fecha-se o artigo com as considerações finais.

2. GERAÇÃO E USO DE COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO: OS PRIMÓRDIOS DO ETANOL E O AVANÇO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO PAÍS

Há anos, o Brasil faz parte das estratégias das empresas automobilísticas internacionais. Foi um dos primeiros a receber filiais da Ford e da Chevrolet, com grande reforço para a ocupação do mercado interno a partir da metade dos anos 1950, contribuindo fortemente para a política de industrialização do país por meio da substituição de importações. Além disso, o país é pioneiro no uso do álcool como combustível, assim como no desenvolvimento de motores a álcool, com altos e baixos nessa iniciativa. Esses assuntos são tratados nesta seção.

¹ Professores Francisco Nigro (Poli/USP) e Sérgio Queiroz (DPCT/Unicamp).

2.2. 1920-1950: da indústria nascente ao álcool carburante

Os primeiros automóveis chegaram ao território brasileiro na virada do século XIX para o XX. Em São Paulo, em 1901, havia 5 carros; em 1903, eram 16 veículos e no ano seguinte 84; também em 1904 foi inaugurada a primeira concessionária automotiva. Em paralelo, o Rio de Janeiro, então capital federal, possuía 6 carros em 1903, em 1905 chegou a 12 automóveis e em 1907 totalizava 99 veículos (WOLFE, 2010).

As primeiras montadoras a se instalarem em território brasileiro o fizeram na década de 1920, a saber, Ford e Chevrolet. A primeira começou a importar o conhecido modelo "T" em 1919 e passou a montá-lo na cidade de São Paulo em 1921; já a Chevrolet desembarcou no país em 1925, também, em São Paulo e, posteriormente, em 1930, a fábrica de São Caetano do Sul foi inaugurada. É necessário distinguir que nesse momento os veículos chegavam desmontados, porém, as peças vinham prontas em *kits* para ser encaixados e colocados em pleno funcionamento. Esse sistema de trabalho ficou conhecido como *completely knock-down* (CKD). O sistema CKD possibilitou ganhos de escala, no âmbito de um sistema fordista de produção, uma vez que esses *kits*, exportados pelas matrizes, possibilitavam a instalação de plantas produtivas mais simples e que necessitavam de menores investimentos, de modo a tornar atraente o nascente mercado brasileiro.

Ao lado da indústria automobilística nascente e no tocante à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação em cana-de-açúcar, a movimentação dá-se desde o final do século XIX, com a atuação do então Imperial Estação Agrônômica de Campinas (1887), a instalação da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM), em 1921, no Rio de Janeiro, e do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1933, em São Paulo, bem como com o surgimento de indústrias dedicadas ao processamento industrial da cana, como a Dedini (fundada em 1920, em Piracicaba). Apesar dessas instituições terem por finalidade principal a produção e comercialização de açúcar, esse momento também se configura como suporte da fabricação de álcool combustível e da indústria pesada no país.

Na EECM, que deu origem ao Instituto Nacional de Tecnologia (INT), as investigações visavam à utilização de álcool etílico como combustível automotivo. Já em 1925, testes de campo indicavam a viabilidade do uso de etanol em substituição à gasolina. A preocupação era que o petróleo se esgotasse antes mesmo do término do século XX, o que alardeou buscas por carburantes alternativos. As pesquisas sobre o então chamado álcool-motor – mistura entre gasolina e álcool anidro em qualquer proporção – estão nas mãos de Eduardo Sabino de Oliveira e Heraldo de Souza Mattos, tanto em testes de bancada como em automóveis de passeio nas décadas de 1920 e 1930, além dos testes e

ensaios realizados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e no atual Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (MAGALHÃES, 1994).

Em 1931, o então presidente Getúlio Vargas passou a obrigar a adição de 5% de álcool anidro à gasolina e, nos tempos da Segunda Guerra Mundial, uma alternativa ao desabastecimento de derivados do petróleo foi a adição de maiores quantidades de álcool à gasolina², cuja mistura passou a 20%. Essas formas de atuação direta do IAA, que tinha por objetivo justamente equilibrar, por meio de estímulos ou medidas de controle a produção de açúcar para os mercados interno e voltados à exportação, a produção de álcool anidro para mistura na gasolina, bem como garantir a produção, distribuição e comercialização de álcool-motor, ou álcool carburante (hidratado). Visava-se a garantir o funcionamento adequado dos automóveis, o rendimento e a conservação dos motores, reforçando a necessidade e legitimando as pesquisas e ensaios anteriormente colocados. Nessa época, a produção de álcool etílico estava ligada a uma nova utilização para o melaço, então um subproduto do processo de produção do açúcar; essa iniciativa contribuiu para agregar valor à produção canavieira (como hoje ocorre com a palha e outros resíduos e a produção, entre outros, de bioenergia). Por sua vez, na virada da década de 1940 para 1950 começa a se conformar uma massa crítica sobre alternativas ao petróleo, claramente dirigidas por políticas governamentais estaduais ou federais, as quais suportaram diretamente a crescente frota automotiva brasileira (BRASIL, 1933).

Esse universo de iniciativas, seja em pesquisa, desenvolvimento ou inovações, é o início da organização que Furtado, Scandiffio e Cortez (2011) chamarão de sistema nacional de inovação em cana-de-açúcar. Mais adiante, ocorre a organização da pesquisa em motores a álcool, com a atuação do professor Urbano Ernesto Stumpf, ora na Escola de Engenharia de São Carlos (1959-1964), ora na Universidade de Brasília (UnB) (1965-1972) e, por fim, no Instituto de Tecnologia Aeronáutica (ITA), a partir de 1972 até a década de 1990.

1.1. Anos 1950: a modernização da indústria e a pesquisa organizada em álcool combustível

O Estado Novo traz uma série de modificações na estrutura produtiva brasileira, com a criação de diversas instituições cuja finalidade estava em dar subsídios e apoiar a modernização industrial relacionada (direta ou indiretamente) ao setor automotivo, como o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), de 1938, a Companhia Siderúrgica Nacional

² Outra alternativa encontrada foi o uso de gasogênio como combustível automotivo. Ver <<http://bestcars.uol.com.br/ct/gasogenio.htm>>.

(CSN), de 1941, a Fábrica Nacional de Motores (FNM) (1942), a Companhia Vale do Rio Doce (1943) e a Petrobras (1953), como um desdobramento do CNP. Também nesse momento, tem-se a consolidação da produção da cana-de-açúcar na região Sudeste e a criação da Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool de São Paulo (Copersucar), em 1959, e do Centro Tecnológico da Copersucar, hoje Centro de Tecnologia Canaveieira (CTC), em 1969, fundado por um conjunto de usinas com o objetivo de desenvolver variedades de cana-de-açúcar mais produtivas e de melhor qualidade tanto para produção de açúcar como álcool (SZMRECSÁNYI, 1979).

Esse período também marca o início da consolidação do mercado interno brasileiro, cujo ator central foi a indústria automobilística (com a produção de partes e peças e não apenas na montagem do tipo CKD). Não sendo possível fechar o mercado às empresas estrangeiras, uma vez que não havia montadoras efetivamente brasileiras e com o anseio de produzir bens de consumo em território brasileiro, reforçou-se a política de industrialização baseada na substituição de importações. Na prática, coube às mudanças institucionais de estímulos fiscais o papel de forçar crescentes percentuais de nacionalização das peças e componentes dos automóveis, para o estabelecimento de um conjunto de empresas do ramo no país. Como se sabe, esse processo ocorreu praticamente em separado do início da institucionalização da Política de Ciência e Tecnologia do país, pela qual um grande arcabouço institucional foi organizado para dar suporte às atividades de ciência e tecnologia, incluindo as de ensino e pesquisa, com apoio legal e financeiro.

O carro de passeio tornou-se um dos principais símbolos de modernidade do governo Juscelino Kubitschek (JK) e, do ponto de vista produtivo, a capacidade da indústria automobilística no Brasil deu um importante salto em termos de robustez (SANTOS; BURITY, 2002). O país deixou de ser apenas um montador e ajustador de *kits* de peças. Inicialmente, os carros aqui produzidos eram modelos já fora de linha no exterior, cujos ferramentais e estampos utilizados³ foram remetidos ao país para colocar em funcionamento as plantas produtivas locais, de modo a cumprir o marco legal induzido pelo Plano de Metas. E, assim, em intervalo relativamente curto, entre 1956 e 1957, um total de 18 diferentes projetos para produção de automóveis e veículos pesados

³ Alguns exemplos são o Aero Willys, lançado em 1960 em território brasileiro, que corresponde ao fracassado Aero Wing americano de 1958; posteriormente, o Ford Galaxie, lançado em 1967 no Brasil, cuja carroceria é a mesma do modelo americano fabricado até 1966 (WOLFE, 2010).

foram aprovados pelo Grupo Executivo da Indústria Automobilística (Geia)⁴ e 11 deles foram implementados nos anos subsequentes (SHAPIRO, 1994).

A década de 1950 marca a chegada de outras montadoras ao país, entre elas a Willys-Overland, em 1952, a Volkswagen, em 1953, a Vemag⁵, com a produção do DKW, em 1956, e, nesse mesmo ano, a alemã Mercedes-Benz; em 1958 se instalaram no Brasil a Simca, a Toyota e a Scania; já a International Harvester instalou-se em 1959. O capital nacional esteve presente ao menos na instalação de 5 montadoras a partir de financiamentos públicos, por exemplo, via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (SANTOS; BURITY, 2002). Quanto à indústria de autopeças, observa-se um processo de implantação bastante semelhante às montadoras (devido à reconhecida interdependência dessas empresas): em 1942, a atual Delphi se instalou em São Paulo e, em 1954, a alemã Bosch. Mais tarde chegam a italiana Magneti Marelli (em 1978, junto com a Fiat) e a japonesa Denso (em 1980).

Com a crescente frota automotiva brasileira, aumenta-se a demanda por combustíveis e aquece-se a discussão sobre alternativas reais à importação de petróleo, cujo principal receio estava em uma diminuição drástica da oferta, causada por um possível esgotamento das reservas, além do efeito inflacionário que a importação de gasolina e diesel provocavam na balança comercial. E, nesse contexto, mais uma vez vislumbrou-se a utilização de etanol como o combustível nacional. Um dos principais centros de pesquisa, nesse caso, é o ITA, fundado no início dos anos 1950. Desde seus primórdios, dedica-se a questões de motores, primeiramente aeronáuticos, e, com espaço crescente, automotivos. O engenheiro Urbano Ernesto Stump (que foi professor na Escola de Engenharia de São Carlos, na UnB e, por fim, retornou ao ITA nos anos 1970) se debruça em pesquisas sobre combustíveis automotivos alternativos e sobre um motor inteiramente desenvolvido para o uso de etanol.

Tais investigações mostravam que, para um melhor funcionamento dos motores abastecidos com álcool, estes deveriam trabalhar em temperatura um pouco mais elevada, seriam necessárias mudanças no diâmetro e na superfície dos pistões, em regimes com maiores taxas de compressão, as peças que entram em contato com etanol teriam de receber um banho diferenciado para não sofrer corrosão, entre outros fatores. Ou seja, idealmente, era necessário produzir um novo motor, fabricado com materiais diferentes e calibrado de modo distinto dos carros movidos a gasolina para o sucesso do álcool

⁴ A Romi-Isetta, lançada em setembro de 1956, poderia ser considerada o primeiro automóvel fabricado no Brasil; entretanto, para o Geia, um automóvel tinha por características básicas ao menos duas portas, quatro lugares e espaço para bagagem. Assim, o primeiro carro lançado no Brasil foi o DKW Universal ou Vemaguet (WOLFE, 2010).

combustível (JOSEPH JR., 2010; STUMPF, 1978). Assim, chega-se à década de 1970, que representa uma inflexão no Brasil com a venda e utilização de etanol puro nos motores da frota nacional.

Portanto, em um intervalo de 20 anos, o Brasil estabelece uma base industrial, com destaque para o setor automobilístico, a pesquisa em combustíveis e motores alternativos ao petróleo se intensifica e ganha massa, embora ainda ficasse restrita ao contexto dos institutos de pesquisa e universidades, e, na outra ponta, a produção de cana-de-açúcar ganha em volume e desloca-se em direção aos maiores centros consumidores. Entretanto, em curto espaço de tempo, uma crise energética de escala mundial levaria a uma importante discussão e movimentaria as atividades de pesquisa, e mesmo produtivas, no sentido de ir além do petróleo.

1.2. Anos 1970: Motores a álcool e seus desdobramentos

Até o primeiro quarto da década de 1970, as questões que permeavam os estímulos acerca do uso de etanol combustível estavam relacionadas à dependência externa de petróleo e, por vezes, ao preço proibitivo da gasolina. Nesse contexto, o Programa Nacional do Álcool (Pró-álcool ou PNA) surge em 1975, como resposta à crise do petróleo, ocorrida dois anos antes. A gasolina, até então o combustível dominante da frota de veículos leves no país, tornou-se um grande problema na matriz energética brasileira, devido à escalada dos custos de importação e de comercialização, desse modo, o governo brasileiro procurou diminuir a dependência externa de carburantes, o que, em parte, materializou-se com o aprofundamento das pesquisas e com o desenvolvimento de um mercado interno para o álcool combustível.

O acúmulo de experiências e conhecimentos adquiridos desde os anos 1920 e, sobretudo, com o trabalho de Stumpf e seus colaboradores desde as décadas 1950 e 1960, mostrou ser possível transformar a frota veicular nacional em curto espaço de tempo. O Brasil, nesse sentido, é pioneiro na utilização de carburantes alternativos à gasolina e o primeiro país a usar etanol combustível em larga escala.

Nos quatro anos do intervalo entre 1975 e 1979, a produção de etanol passou por um período de crescimento estimulado, em parte, por carros transformados para transitar com álcool combustível e, em grande parte, por interferências diretas do governo

⁵ A fundação da Vemag ocorreu em 1945, quando era uma autorizada da Studebaker, e trabalhava de acordo com o regime CKD (SANTOS; BURITY, 2002).

brasileiro como parte do Pró-álcool na substituição da gasolina. A produção de álcool combustível quadruplicou, inclusive ao ir além das metas iniciais traçadas.

Dá-se um grande avanço da produção sucroalcooleira, em cuja base está um conjunto de maiores produções oriundo de usinas mais modernas com processos que resultaram em maior produtividade, na expansão das áreas plantadas e, também, a partir de melhorias na própria cana-de-açúcar. O Gráfico 1 ilustra a rápida resposta na produção de álcool. O tracejado no ano de 1975 representa a publicação do Pró-álcool. Nota-se que em um período de 4 anos, até 1979, a produção de etanol cresceu mais de quatro vezes desde a promulgação do PNA. Entretanto, a quebra de produção em 1985 colocou em xeque toda a trajetória anterior, que ganharia novo fôlego com a introdução dos veículos *flex-fuel* em 2003, indicado pelo segundo tracejado, ponto que é analisado adiante.

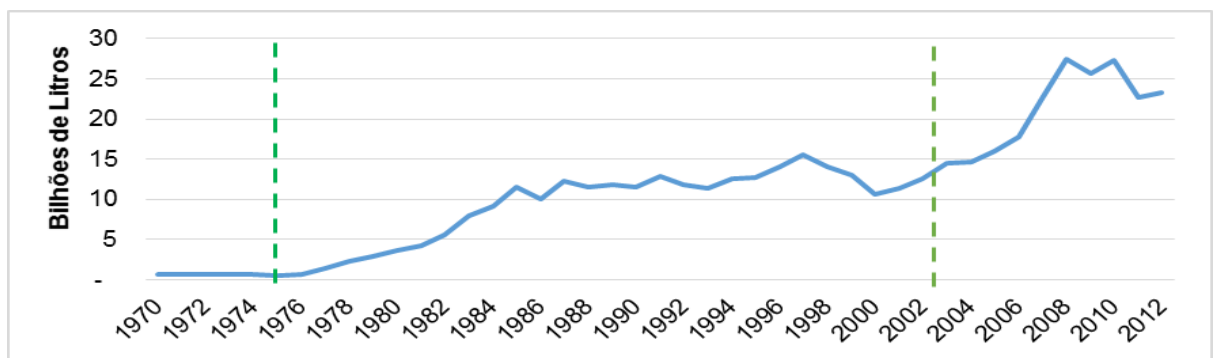


Gráfico 1 Produção total de álcool combustível, Brasil, 1970-2012.

Fonte: elaborado pelos autores.

Uma constatação é que a produção de etanol sempre esteve diretamente vinculada à indústria automobilística, no sentido de que, em dois momentos de crescimento da fabricação de veículos capazes de utilizar álcool como combustível, a produção sucroalcooleira respondeu de modo rápido. Entretanto, nos momentos de preços favoráveis ao açúcar, a queda da produção se dá de modo rápido e essa incerteza é um ponto fundamental até os dias atuais para a utilização veicular dedicada e em larga escala – questões diretamente ligadas ao rendimento econômico das unidades produtoras, aos limites para reverter a produção de álcool em açúcar (ou de açúcar em álcool) e, sobretudo, à minimização dos riscos para os atores do setor. Questões que podem ser compreendidas tanto como um paralelo da adição de 5% de álcool nos anos 1930 como nas tecnologias de segunda geração mais recentes.

Do ponto de vista da infraestrutura de distribuição de álcool combustível, esta foi colocada em prática por uma regulação governamental, via CNP, em 1979. Basicamente, a distribuição de etanol pegou carona na logística já existente para gasolina;

assim, o etanol chegou aos postos de abastecimento por decisão do Estado brasileiro. Essa questão está descrita na própria Resolução n. 9, do CNP (1979): “Considerando o sistema de abastecimento já implantado no País para a distribuição e revenda dos combustíveis automotivos e a conveniência do seu aproveitado para operar com álcool hidratado como combustível automotivo”.

A partir de 1975, uma prática que se tornou corrente foi a transformação de motores a gasolina em motores a álcool, o que buscava tornar o motor funcional em relação ao novo combustível, uma vez que a mecânica desses automóveis não possuía comando eletrônico e, portanto, necessitava de ajustes mais específicos que envolviam o desmonte do motor e a calibração de diferentes partes para o trabalho com etanol puro. Exatamente nesse ponto ocorreu um processo fundamental para a consolidação do motor a álcool, devido à atuação de profissionais oriundos de diferentes institutos de pesquisa paulistas e universidades, que se dedicaram a treinar e orientar tecnicamente oficinas mecânicas e retíficas, as quais eram responsáveis pela conversão dos motores a gasolina em álcool, até que os veículos saíssem de fábrica preparados para o combustível alternativo (NIGRO; SZWARC, 2010).

Os primeiros veículos comercializados com motores a álcool propriamente ditos chegaram às concessionárias da Fiat no segundo semestre de 1979. Assim, o Fiat 147 foi o primeiro carro a álcool em linha do Brasil. E, já no início da década de 1980, as principais montadoras presentes no mercado nacional, a saber, Volkswagen, Chevrolet e Ford, além da supracitada Fiat, tinham seus modelos equipados com motores já adaptados de fábrica para utilizar álcool combustível. Com o mercado favorável, não só pelo preço dos combustíveis, mas, também, pela menor carga tributária aplicada aos veículos a álcool, a difusão destes se deu de modo rápido, até que, em 1985 e 1986, praticamente 80% dos veículos novos vendidos estavam equipados com motores a álcool.

Uma expansão rápida, baseada em estímulos governamentais, e que passava uma ideia de autonomia do petróleo, teve vida curta. Em um momento seguinte, no mercado internacional, o preço do barril passa a recuar a níveis competitivos e, assim, arrefeceu a trajetória do álcool combustível (BNDES; CGEE, 2008). No final da década de 1980, acreditava-se na viabilidade do Pró-álcool com preços do barril do petróleo acima da casa dos U\$ 30,00 (SEROA DA MOTTA; ROCHA FERREIRA, 1988).

O Pró-álcool se expandiu até meados da década de 1980; entretanto, com o preço da gasolina em queda somado à maior rentabilidade do açúcar, e com os sucessivos episódios de desabastecimento de álcool combustível, a descrença da população no projeto aumentou. Na virada para os anos 1990, a gasolina já havia se reestabelecido como

o principal combustível automotivo do país. Até os anos 2000, praticamente se extinguiram os carros novos a álcool no Brasil.

Essa quebra de produção do álcool em meados dos anos 1980 ocorre em um período no qual já se havia vencido diferentes gargalos tecnológicos, por exemplo, relativos a questões que permeiam a durabilidade e manutenção dos automóveis, com o emprego de novos materiais em partes críticas, como válvulas, sede de válvulas, até nos tanques de combustível (sempre em peças que entram em contato direto com o combustível). Uma importante massa de aprendizado ocorreu nesse período dentro das montadoras e autopeças. Ou seja, o revés que atingiu o carro a álcool não se deveu à inviabilidade dos motores e ao uso de combustível alternativo.

O início da década de 1990 também marca o início da desregulamentação do setor sucroalcooleiro, sobretudo com o fechamento do IAA. Assim, os produtos da cana-de-açúcar passam a responder a diferentes órgãos do governo: o controle sobre o etanol passa a ser feito pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, enquanto o açúcar fica sob as orientações do Departamento de Cana-de-Açúcar e Agroenergia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ao álcool combustível incide também uma modificação na estrutura de preços, dado que, em 1998, libera-se o preço do álcool anidro e em 1999 o preço do álcool hidratado, até então regulados pelo Estado.

3. O MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA: TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS E APERFEIÇOAMENTOS

Conhecer a história do desenvolvimento do motor a combustão, desde sua origem, contribui para a compreensão do que vem a ser o motor *flex-fuel*. Tal evolução e desenvolvimento encarnam o processo de coevolução técnico-institucional e a construção de trajetórias tecnológicas, assuntos tratados nesta seção.

O início da indústria automobilística revela uma série de tentativas para estabelecer modelos funcionais de automóveis e, por isso, muito dos protótipos construídos nos dias de hoje podem estabelecer paralelo com experiências do passado. A Figura 1 ilustra os diferentes mecanismos de propulsão para automóveis, cujas iniciativas destacadas, exceto para a célula a combustível, possuem experimentos que datam do primeiro quarto do século XX (em vermelho estão os paradigmas tecnológicos e em verde as trajetórias tecnológicas).

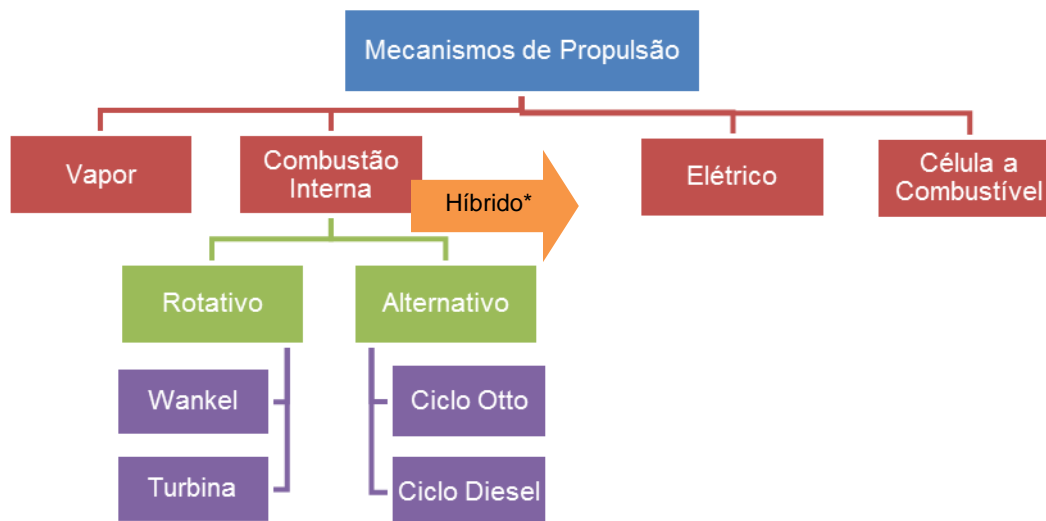


Figura 1 Tipos de motores/mecanismos de propulsão para automóveis.

* Transição de paradigmas.

Fonte: Adaptado de Mowery e Rosenberg (2005) e MacLean e Lave (2003).

É possível entender a evolução desses mecanismos a partir da concepção de trajetórias tecnológicas, considerando que o estado das tecnologias inspira seu desenvolvimento futuro e oferece indícios dos caminhos a ser percorridos pelas melhorias nos processos e produtos, com base nos entendimentos de G. Dosi (1982). Uma trajetória pode avançar a partir da superação de um gargalo produtivo ou tecnológico e despontar no mercado, apresentando-se como um aproveitamento das oportunidades (tecnológicas) junto com a atuação das pressões de seleção atuantes no mercado e com o processo de coevolução entre avanço técnico e institucional – quadro legal e regulatório, preferências do consumidor, por exemplo (NELSON, 1994). Assim, novos produtos podem influenciar diretamente a criação de mercados, a regulação governamental pode direcionar os desenvolvimentos posteriores – secundários ou mesmo fundamentais – e os *trade-offs* relacionados (ou seja, as escolhas por certas variáveis em detrimento de outras na consideração de vários elementos e situações).

Esse é o caso da indústria automobilística, devido à relação entre os avanços em segurança e em eficiência, algumas vezes abrindo-se mão do *design* ou do peso do veículo, e na redução das emissões de poluentes, com o avanço do marco regulatório, ou mesmo com oportunidades de mercado, como os motores *flex-fuel*. Uma mostra de que mesmo dentro de um paradigma tecnológico, como os automóveis (ao lembrar do conjunto chassis de aço com motor de combustão interna, que remete aos tempos de H. Ford), há espaço para alterações, inclusive disruptivas.

Esse contexto mostra que a adoção dos motores de combustão interna em automóveis não é um dado sem concorrência ou uma escolha ao acaso. No início, diferentes tentativas buscaram se consolidar como dominantes. Esse ambiente com

diversas possibilidades e soluções para o *powertrain* dos automóveis é ilustrado por Mowery e Rosenberg (2005, p.63):

Na verdade, o importante papel dos Estados Unidos como primeiro grande mercado de automóveis pode ter também contribuído para o triunfo do motor de combustão interna sobre o vapor e a eletricidade, as fontes competidoras de propulsão automotiva nos primórdios do século XX. O surgimento da combustão interna como tecnologia de propulsão dominante não era, de modo algum, um efeito previsível em 1900, quando 1681 automóveis movidos a vapor, 1575 carros elétricos e 936 automóveis utilizando gasolina como combustível foram fabricados nos Estados Unidos [...] os automóveis movidos a gasolina eram então ultrapassados em número por carros elétricos e a vapor nos dados registrados em Nova York e Los Angeles no início de 1902. Já em 1905, entretanto, o motor de combustão interna havia se tornado a tecnologia de propulsão dominante na indústria automobilística dos EUA.

Entretanto, por que o motor a combustão interna foi o selecionado? Mais de um século depois da difusão do Ford T, o paradigma tecnológico se mantém, mas poderia ser diferente ao elencar alternativas ao modelo dominante. Reforça-se a afirmação de que esse não foi um movimento sem concorrência e, para entender o sucesso dos motores de ciclo Otto, deve ser realizada uma análise mais aprofundada sobre seu funcionamento, bem como quais são as alternativas ao uso de gasolina⁶ como carburante principal da frota mundial de automóveis.

Resumidamente, os motores de ciclo Otto trabalham em ciclos de quatro tempos e a ignição se dá por centelha; os motores de ciclo Diesel são caracterizados pela ignição por compressão. Cada uma dessas trajetórias tecnológicas possui vantagens e desvantagens e, ao focalizar questões como eficiência, durabilidade, custo e facilidade de manutenção, os motores de ciclo Otto tradicionais (quatro tempos) saíram em vantagem e tornaram-se o paradigma do *powertrain* automotivo⁷ (GALLO, 2012; PENIDO FILHO, 1980; HEYWOOD, 1988).

Cada carburante possui características físico-químicas específicas que podem ser mais bem aproveitadas por meio de adaptações nas estruturas mecânicas dos motores, basicamente em relação à taxa de compressão (relação entre o ponto morto superior e o ponto morto inferior) e ao ponto de ignição (relação entre a posição do pistão e a centelha). Motores dedicados ao uso de etanol, por exemplo, utilizam uma maior taxa de compressão que os dedicados à gasolina, e um dos desafios do motor *flex-fuel* é uma taxa de compressão intermediária funcionar de modo eficiente com as mais diversas misturas de etanol e gasolina, como será visto adiante. Um resumo histórico das tecnologias

⁶ Para maior detalhe sobre a escolha da gasolina diante do álcool como combustível em automóveis ver Dimitri e Effland (2007).

⁷ Motores a diesel são tipicamente voltados à frota pesada no Brasil (em países europeus são utilizados motores a diesel em carros de passeio; já em território nacional não se pode comercializar automóveis movidos a diesel – essa produção é voltada apenas à exportação); já os motores de ciclo Wankel têm uso muito restrito, em pequenas produções e modelos

relacionadas ao sistema de alimentação de combustível introduzidas no mercado em geral e seu respectivo período de adoção, além dos carburantes utilizados no Brasil, encontra-se na Figura 2.

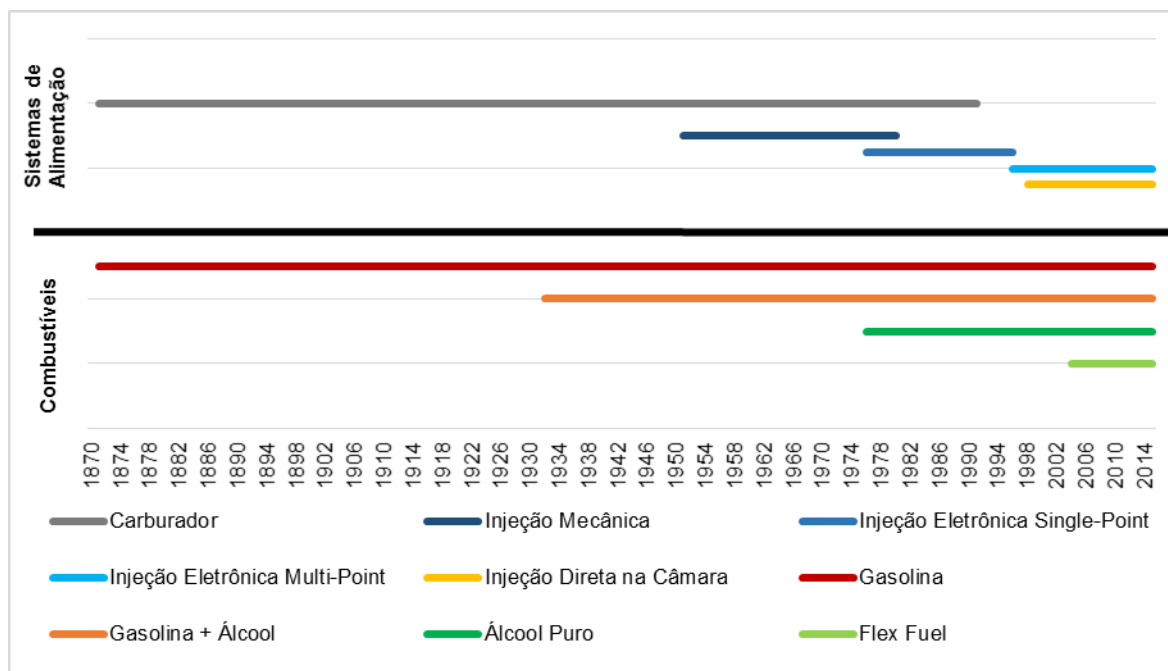


Figura 2 Evolução dos sistemas de alimentação de combustível e do uso de combustíveis em larga escala, 1870-2014.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Esses cinco sistemas de alimentação ilustrados na Figura 2 foram ou estão embarcados nos motores de ciclo Otto, fato que reforça a robustez desse paradigma tecnológico. Por mais que diferentes possibilidades para os veículos e seus mecanismos de propulsão tenham sido testadas e que alguns nichos de mercado tenham sido conformados, os motores de combustão interna representam um paradigma robusto e capaz de incorporar melhorias que aumentam ainda mais o tempo de vida útil de sua trajetória.

Um desafio colocado, portanto, é construir um motor cuja eficiência energética seja relativamente alta para as diversas misturas entre etanol e gasolina. E, nesse sentido, o motor *flex-fuel* pode ser um fim em si, na direção em que a indefinição do combustível a ser utilizado pelo carro *a priori* dificulta o desenvolvimento de um *powertrain* de rendimento elevado. Isso não quer dizer que o carro *flex* não seja uma solução satisfatória para os proprietários de automóveis. De todo modo, há um *trade-off* entre desempenho e possibilidade de escolha entre dois combustíveis – ou seja, o proprietário do carro não está preso a uma única alternativa de combustível e sujeito a crises de desabastecimento

com vendas restritas, e os casos mais conhecidos são produzidos fora das fronteiras brasileiras; automóveis equipados com turbinas chegaram a ser introduzidos no mercado nas décadas de 1960 e 1970, porém, sem sucesso comercial.

como as ocorridas nos anos 1980 com o álcool; entretanto, ao ter essa possibilidade de escolha no ato do abastecimento, abriu-se mão (até o momento) de motores mais eficientes.

4. RESSURGIMENTO DO ETANOL AUTOMOTIVO NO BRASIL E A TECNOLOGIA FLEX-FUEL

O início dos anos 2000 retrata um novo fôlego ao uso de álcool combustível no Brasil, com a introdução no mercado automobilístico do primeiro modelo *flex-fuel*. Esta seção traça um histórico do desenvolvimento dessa tecnologia, analisa os avanços obtidos ao longo do tempo e aponta os limites da expansão desse projeto para além das fronteiras nacionais.

4.1. 2003: Uma novidade no mercado automobilístico nacional

Em março de 2003, uma nova etapa na história da indústria automobilística e do uso de combustível alternativo à gasolina teve início no país, com a Volkswagen comercializando o primeiro carro *flex-fuel*, o Gol 1.6. Ao olhar um dos problemas que causaram a desaceleração do Pró-álcool – quais sejam, o aumento do preço do açúcar no mercado internacional, o recuo do preço do barril do petróleo e as decorrentes crises de desabastecimento de álcool combustível – a tecnologia embarcada nos motores *flex-fuel* soluciona o gargalo dos motores dedicados de modo assertivo, ao possibilitar um funcionamento estável dos automóveis independentemente do combustível, ou mistura, presente no tanque. Esse é um dos motivos da rápida difusão dos modelos *flex*, como ilustrado no Gráfico 2.

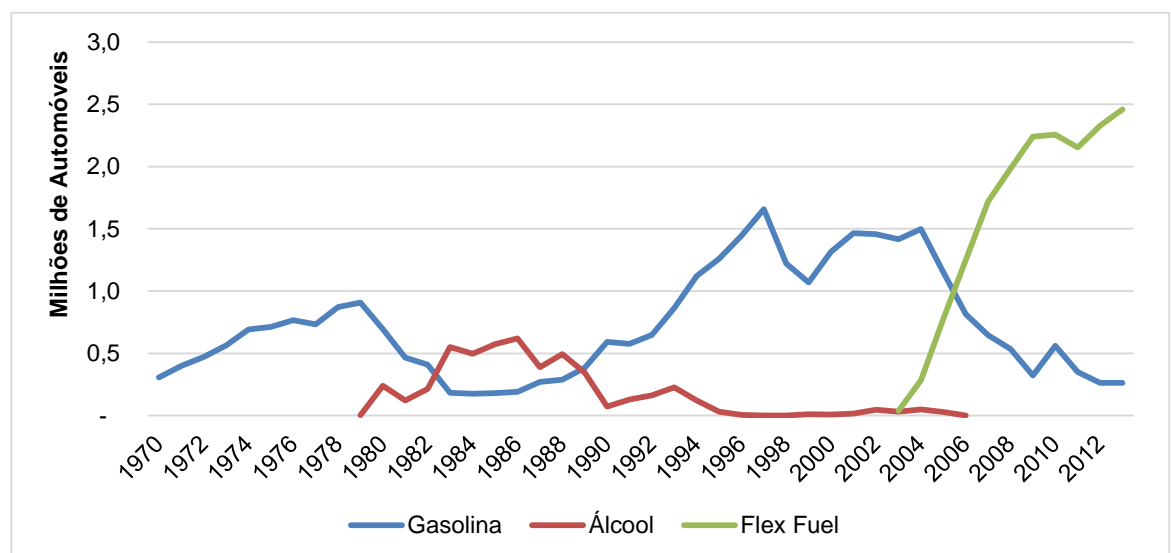


Gráfico 2 Produção de automóveis por tipo de combustível, Brasil, 1970-2013.

Fonte: Anfavea (2014).

Uma diferença básica entre a tecnologia *flex-fuel* e os motores a álcool dos anos 1980 está no sistema de alimentação de combustível. Os motores do Pró-álcool contavam com carburadores, cujo controle de entrada de combustível é realizado de modo mecânico, enquanto que os atuais motores *flex* contam com injeção eletrônica, cujo funcionamento básico está atrelado a uma unidade eletrônica de controle (ECU) e aos *softwares* específicos de monitoramento do motor, os quais possibilitam que os ajustes eletrônicos e mecânicos ocorram de modo mais rápido e eficaz, permitindo ao motor funcionar mais próximo da curva ideal de consumo e rendimento de acordo com a mistura de combustível presente no tanque (GATTI, 2011; NASCIMENTO et al., 2009a).

A injeção eletrônica, desse modo, é capaz de adequar o regime de funcionamento do motor em razão do acompanhamento de diferentes parâmetros e a partir de ajustes finos (por exemplo, de temperatura, da mistura de combustível-ar, do ponto de ignição etc.), que resultam em melhores desempenhos momentâneos e na redução das emissões de gases e partículas poluentes. Esse é um avanço que se difundiu no Brasil a partir da década de 1990, e a junção desse novo aparato técnico nos motores com a experiência anterior com álcool combustível se mostrou como um balão de ensaio perfeito para o desenrolar dos veículos *flex-fuel* nacionais (GATTI, 2011). Como contexto e estopim para essa junção de fatores, Nascimento et al. (2009b) sugerem três condicionantes: 1) em 1998, o governo federal aprovou a Lei “Frota Verde”, que exigia a troca de toda a frota de veículos oficiais para veículos a etanol em um prazo de cinco anos; 2) em 2000, foi realizado no IPT um seminário técnico voltado à tecnologia *flex-fuel*, que reuniu as principais empresas do setor automotivo nacional e os principais engenheiros destas para debates técnicos sobre a viabilidade da solução *flex-fuel*. Esse evento se tornou um marco na história da corrida tecnológica do sistema *flex-fuel*, pois houve compartilhamento de conhecimento entre os presentes, inclusive com a demonstração de um veículo Chevrolet Omega 2.0 equipado com sistema *flex-fuel* com sensor capacitivo desenvolvido pela Bosch; 3) em 2000, o preço do etanol caiu a patamares mais viáveis para uso em grande escala como combustível nacional (NASCIMENTO et al., 2009b, p. 3). Para os autores, esses fatos deram o impulso definitivo para que as empresas do setor automotivo intensificassem seus esforços de desenvolvimento da solução *flex-fuel*.

Assim, é interessante observar a estratégia adotada pelas autopeças e montadoras diante de outros desafios para superar os gargalos técnicos da mistura álcool e gasolina e reduzir custos das descobertas e inovações. Ao invés de utilizar um sensor capacitivo no tanque (capaz de reconhecer o combustível antes da queima – utilizado no *flex-fuel vehicle* norte-americano e cujo custo, no início dos anos 2000, era próximo aos US\$

100) junto com o sensor de oxigênio (ou sonda lambda), a tecnologia *flex-fuel* brasileira se materializou como uma solução mais simplificada e barata, por conta da reprogramação da injeção eletrônica por meio dos dados coletados pela sonda lambda.

Esse momento, portanto, mostrou-se bastante propício para a introdução e difusão dessa nova tecnologia em território brasileiro. Por um lado, a iniciativa privada detinha a solução técnica/tecnológica que tornava os veículos funcionais com os dois combustíveis (ou mistura deles) e, além disso, havia uma imagem positiva ao focar o *flex-fuel* pela ótica ambiental. Do outro lado, a academia tinha anseios de não deixar esmorecer toda a dedicação à pesquisa e ao conhecimento acumulado, majoritariamente, desde a década de 1970.

Assim, a volta do etanol combustível com os automóveis *flex-fuel* ocorreu, em grande parte, por iniciativa privada, sem o estabelecimento de pressões de um marco regulatório específico que forçasse um desenvolvimento tecnológico mais aprofundado. Pode-se dizer, ainda, que a rápida difusão dos veículos *flex* está diretamente relacionada à já citada infraestrutura disponível no que toca à distribuição e comercialização de álcool, mas, também, ao fato de corroborar a ideia de que o não aprisionamento ao combustível alternativo torna o veículo *flex* uma espécie de carro a álcool com seguro e, assim, há pouca margem para desconfiança ou descrédito tanto do automóvel como do combustível.

Entretanto, essa troca ou confiança tem limite. É verdade que é possível que as vendas de veículos *flex-fuel* continuem crescendo; porém, o álcool como combustível tem ainda muito a avançar – não apenas do ponto de vista da eficiência técnica, mas, ainda, como resultado das políticas do governo. As ações e sinalizações governamentais têm de ir muito além das vantagens pontuais e ser efetivas na forma de apresentar continuidade e consistência para consolidar toda a cadeia do álcool como combustível, alcançando a tecnologia e o veículo *flex-fuel*.

4.2. Tecnologia flex-fuel: um autêntico processo de desenvolvimento tecnológico?

Historicamente, o Brasil não criou um motor a álcool nem mesmo durante o Pró-álcool; este chegou ao mercado por uma série de adaptações dos motores a gasolina, em mais um caso que se pode denominar “tropicalização” – melhorias e adaptações do projeto original às condições do mercado brasileiro. Já no caso do veículo *flex-fuel*, não se trata exatamente de um processo de “tropicalização”, dado que não se está importando a tecnologia do exterior ou das matrizes das empresas automobilísticas, mas, sim, de um avanço da

engenharia automotiva nacional, a partir de um processo de desenvolvimento tecnológico, no qual as atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) são importantes. Não se trata de ruptura e a base está mais assentada em atividades de desenvolvimento e menos em atividades de pesquisa, mas, de toda forma, é algo que vai além do trabalho rotineiro. Nesse caso, as perguntas, os questionamentos, as barreiras e as oportunidades imprimem o avanço técnico-científico das questões que envolvem a tecnologia *flex*.

Do ponto de vista dos projetos de motores, os produzidos para trabalhar com álcool requerem uma construção mais robusta e reforçada; assim, são necessários materiais mais resistentes, além de ajustes mecânicos que já são conhecidos, com o intuito de melhor aproveitar o rendimento proporcionado pela utilização de etanol combustível. Nessa linha, diferentes soluções podem ser empregadas para uma maior durabilidade do motor, sem ser excludentes e por apresentar viabilidade técnica, mas com restrições do ponto de vista econômico pelo custo de adoção. Duas frentes de pesquisa estão ligadas aos lubrificantes: óleos com menor viscosidade e novos materiais para a produção de válvulas e sede de válvulas, bem como o redesenho desses componentes. São avanços e novas posições que, em última análise, visam a aumentar a vida útil e o desempenho global dos motores.

Igualmente, desgaste e dissipação de energia são pontos de interesse na pesquisa sobre o consumo de energia e os desafios colocados estão ligados a dificuldades do trânsito em grandes cidades, quando o motor não é usado em plena carga, dadas as condições de mobilidade e de distâncias não muito longas (o problema não está em casos de uso de carros constantemente em estradas, mas, sim, no dia a dia das capitais – cujo tamanho da frota é consideravelmente grande⁸). Junta-se o fato de que os carros estão muito mais robustos e pesados, o que influi fatalmente nos *trade-offs* quando se busca eficiência e desempenho de uma nova tecnologia sem grandes alterações no *design* padrão da manufatura. Assim, novas temáticas de pesquisa partem em direção à diminuição do atrito,

⁸ Dois problemas emergem por esse tipo de utilização dos automóveis: o primeiro é conhecido por “*ciclo frio*”, veículos que percorrem pequenas distâncias e, assim, não atingem a temperatura ideal de funcionamento do motor, o que pode levar à formação de borra, espuma no óleo lubrificante, o que acelera o processo de corrosão dos componentes mecânicos; o segundo é o “*ciclo de marcha lenta*”, veículos que passam a maior parte do tempo em engarrafamentos e congestionamentos, assim, mesmo com o motor na temperatura ideal, tem-se um maior desgaste por constantes trocas de marcha e a geração de problemas de lubrificação.

cujo produto pode auxiliar na resolução dos dois problemas apontados. O espaço para melhoria no rendimento global dos motores, e, por tabela, dos veículos, é razoavelmente grande e tem-se uma noção bastante exata de onde focar atividades para esse fim.

Ao lado dessa discussão estão as possibilidades de redesenhar o sistema de admissão, com o intuito de aplicar a injeção de combustível diretamente na câmara de combustão, técnica já utilizada em motores de alto desempenho que diminui perdas e aumenta o rendimento, também, na aplicação de sistemas tipo *turbocharger*, tecnologia que proporciona ganhos de eficiência e rendimento nos motores. Segundo os especialistas consultados, para que se obtenha sucesso com sua aplicação, necessita-se de motores mecanicamente mais robustos, caso dos projetos de motor com 3 cilindros recém-introduzidos no mercado nacional.

De todo modo, o ponto central está no fato de que o desenvolvimento dos motores e de diferentes mecanismos pode indicar os possíveis caminhos ou mesmo acelerar o processo de mudança técnica. Uma questão de importância passa a ser, portanto, como realizar atividades de PD&I mais focadas na tecnologia *flex-fuel*, de modo a gerar melhorias substanciais aos veículos produzidos e comercializados no país? Nota-se que o país passou a sediar centros de pesquisa e desenvolvimento em biocombustíveis de grandes empresas, o que é um importante indicador de que há atenção às atividades e ao mercado automobilístico nacional e de que o uso de etanol em automóveis não é trivial.

E o mais recente avanço do marco regulatório, em 2012, com o Inovar-Auto, busca desenvolver tecnologias em território nacional para a obtenção de veículos com maior qualidade e segurança, bem como motores que apresentem melhor eficiência do ponto de vista energético. Especificamente no que toca aos motores, respeitam-se as características de cada montadora e de seus respectivos modelos, dado que a melhora é relativa ao modelo comercializado no ano de promulgação do decreto. Contudo, uma controvérsia está em não admitir vantagens ao uso de etanol, visto que, teoricamente, é menos complexo desenvolver um motor dedicado (no caso a gasolina) que um com a tecnologia *flex-fuel* embarcada.

Nota-se que tratar de álcool etílico como combustível não é novidade alguma no país, uma vez no início do século XX já se buscava trabalhá-lo como carburante nos poucos veículos que existiam no território nacional. Nesse sentido, então, muito já foi pesquisado e aprendido para uma utilização mais eficiente e racional do derivado da

cana-de-açúcar, mas, mesmo assim, há melhoras latentes a ser realizadas, sobretudo na parte mecânica dos automóveis.

5. CONCLUSÕES

É possível compreender a experiência brasileira em álcool combustível como um processo evolutivo, de construção de trajetórias tecnológicas e de coevolução técnica-institucional, cujo início se dá no início do século XX, após a instalação da indústria automotiva nacional, passando pelo Pró-álcool nos anos 1970 e, por fim, alcançando os anos 2000 com a difusão da tecnologia *flex*.

Entretanto, mesmo com tal pioneirismo e políticas industrial e de inovação voltadas ao setor, há dificuldades para impor a tecnologia *flex-fuel* de modo a integrá-la aos projetos globais da indústria automobilística. Entre as razões, pode-se apontar que o contexto global mudou fortemente nos últimos 5 anos: saiu-se de um quadro em que o Brasil despontava como um centro inovador em relação às alternativas aos combustíveis fósseis e como um possível exportador não apenas de etanol combustível, mas da própria tecnologia *flex*, e passou-se a um cenário de retração da oferta de etanol e de cautela e mesmo desconfiança diante dessa iniciativa. Houve desde a retração do investimento na renovação dos canaviais e a queda da produtividade da principal matéria-prima do etanol – necessitando até de sua importação –, assim como um arrefecimento da pressão internacional quanto à busca de combustíveis alternativos aos fósseis, graças às revisões dos Painéis do IPCC. Por sua vez, as filiais brasileiras das empresas multinacionais do setor ainda têm dificuldades de aprovar seus projetos quando da “concorrência interna” com projetos de outras filiais pelo mundo. Ou seja, a tecnologia *flex-fuel* poderia ter ido além, entretanto, não há, no momento, uma pressão maior por alterações na matriz de combustível automotivo.

Dessa forma, mesmo sendo atração de várias políticas públicas há quase um século – e vivenciando uma das mais importantes, o Inovar-Auto –, o país não tem sido capaz de alçar o setor automobilístico a um lugar de destaque, de modo a romper com o pacto tradicionalmente estabelecido, mesmo com as oportunidades abertas com a tecnologia *flex*, dado que tais políticas ainda se movem mais para proteger o mercado interno que para projetá-lo como elo fundamental para mudanças substanciais tanto no mercado de combustíveis como no próprio setor, em termos de desenvolvimento tecnológico dos motores.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário Estatístico 2014**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>, acesso em 01/04/2014.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- BRASIL. **Decreto n. 22.789/33, de 1º de junho de 1933**. Cria o Instituto do Açúcar e do Alcool e dá outras providências. 1933. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-22789-1-junho-1933-503228-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 20 out. 2014.
- CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO - CNP. **Resolução CNP n. 9, de 28 de março de 1979**. Estabelece a sistemática de abastecimento de Álcool Hidratado para uso como combustível automotivo e dá outras providências. 1979. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cnp/1979/rcnp%209%20-%201979.xml. Acesso em: 20 out. 2014.
- DIMITRI, C.; EFFLAND, A. Fueling the automobile: an economic exploration of early adoption of gasoline over ethanol. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, Lincoln, v. 5, n. 2, p.1-17, 2007.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.
- FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 156-166, 2011.
- GALLO, W. L. R. A evolução dos motores de combustão interna no Brasil. In: DUAILIBE, A. K. (Org.). **Combustíveis no Brasil: desafios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Synergia/Centro de Estudos de Energia e Desenvolvimento, 2012, p.212-235.
- GATTI, W. O envolvimento de fornecedores no desenvolvimento da tecnologia *flex fuel* nas montadoras brasileiras. **Revista Gestão & Tecnologia**, Pedro Leopoldo, v. 11, n. 1, p. 87-105, 2011.
- HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: McGraw-Hill, 1988.
- JOSEPH JR., H. Questões relativas ao uso final do etanol (combustível e química): o motor a álcool - passado, presente e futuro. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). **Bioetanol da cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010, p.829-840.
- MACLEAN, H. L.; LAVE, L. B. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 29, n. 1, p. 1-69, 2003.
- MAGALHÃES, G. Energia e tecnologia. In: VARGAS, M. (Org.). **História da técnica e tecnologia no Brasil**. São Paulo: Ed. Unesp, 1994, p.343-373.
- MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. **Trajетórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2005.
- NASCIMENTO, P. T. S. et al. Exogenous factors in the development of flexible fuel cars as a local dominant technology. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 4, n. 4, p.110-119, Santiago (Chile), 2009a.
- _____. Competência compartilhada na determinação da trajetória tecnológica do sistema *flex-fuel*: o caso da Delphi. In: **SEMINÁRIO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA - ALTEC. Anais...** p. 1-18, Cartagena de Índias, Colômbia: ALTEC, 2009b.
- NELSON, R. The co-evolution of technology, industrial structure and supporting institutions. **Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 1, p. 47-63, 1994.
- NIGRO, F.; SZWARC, A. O etanol como combustível. In: SOUSA, E. L.; MACEDO, I. C. (Org.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010, p.154-189.
- PENIDO FILHO, P. **O álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores**. São Paulo: Nobel, 1980.

SANTOS, A.; BURITY, P. O complexo automotivo. In: SÃO PAULO, E. M. e KALACHE FILHO, J. (Orgs.) **BNDES 50 anos: histórias setoriais**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002, p.1-20.

SEROA DA MOTTA, R.; ROCHA FERREIRA, L. The Brazilian national alcohol programme. An economic reappraisal and adjustments. *Energy Economics*, v. 12, p. 229-234, 1988.

SHAPIRO, H. **Engines of growth: the State and transitional auto companies in Brazil**. New York: Cambridge University Press, 1994.

STUMPF, U. E. Aspectos técnicos de motores a álcool. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 428-435, 1978.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975)**. São Paulo: Hucitec, 1979.

WOLFE, J. **Autos and progress: the Brazilian search for modernity**. New York: Oxford University Press, 2010.

Luiz Fernando Rigacci Vazzolér

Geógrafo (IG/Unicamp, 2011) e Mestre em Política Científica e Tecnológica (DPCT/Unicamp, 2014). É Pesquisador Associado do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (GEOPI/DPCT).

Maria Beatriz Machado Bonacelli

Professora Livre-docente do Departamento de Política Científica e Tecnológica. Graduada em Ciências Econômicas (IE/Universidade Estadual de Campinas, 1985), com especialização em Economia do Sistema Agroalimentar (CeFAS, Viterbo, Itália, 1988), mestrado em Política Científica e Tecnológica (DPCT/IG/Unicamp, 1992), DEA em Economie Industrielle (Université des Sciences Sociales de Toulouse, França, 1993) e doutorado em Ciências Econômicas (Université des Sciences Sociales de Toulouse, França, 1996). Coordenadora Geral da Pós-Graduação do Instituto de Geociências (IG) (2013-2015). É Pesquisadora Associada do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (GEOPI/DPCT), membro indicado pelo MCTI na Comissão de Avaliação do Contrato de Gestão entre o CNPEM e o MCTI e membro do Comitê de Avaliação dos Projetos do Programa Casadinho/Procad do CNPq e Capes. Participa da elaboração do Plano Diretor de CT&I do Estado de São Paulo.