

# 1 Introdução

A tecnologia do carro *flex fuel* foi desenvolvida pelo Centro de Pesquisas da Bosch do Brasil e lançado comercialmente no país em 2003. O conceito desse automóvel originou-se da possibilidade do carro utilizar como combustível álcool, gasolina ou qualquer proporção de mistura entre os dois em um mesmo tanque de combustível.

Desde a década de 1980 a Bosch já pesquisava a tecnologia do motor a álcool no Brasil, investindo no desenvolvimento de um sistema que permitisse o uso simultâneo de álcool e gasolina em proporções variadas, sendo que o primeiro protótipo deste tipo de automóvel lançado em 1994. Apesar do grande interesse demonstrado por parte das montadoras, não existia ainda a motivação comercial necessária para que se iniciasse a comercialização em série do produto. Em 1999, outra empresa de tecnologia automobilística, a Magneti Marelli, anunciou também a tecnologia *flex fuel* (SFS – *Software Flex fuel Sensor*), totalmente desenvolvido no Brasil, que utilizava um programa de computador inserido no módulo de comando da injeção eletrônica, também conhecido como centralina. Esta tecnologia faz com que o veículo possa rodar com álcool, gasolina, ou qualquer mistura dos dois combustíveis, sem perda de potência ou aumento da emissão de poluentes.

No início da década de 2000, com a redução do preço do álcool, aumento nos preços do petróleo, e com a decisão do governo de que os automóveis *flex fuel* pagariam alíquota de IPI mais baixa (com os mesmos incentivos dos veículos a álcool), a produção em série de veículos do gênero passou a ser viável no Brasil. Em abril de 2003 foi lançado o primeiro automóvel *flex fuel*, o Gol Total *Flex* da Volkswagen, ao mesmo preço do modelo comum, o que ajudou a quebrar as resistências ao novo produto. O automóvel *flex fuel* que marcou a estréia da tecnologia Bosch, um modelo Fox 1.6, também da Volkswagen, foi lançado em outubro do mesmo ano. A partir então, a aceitação desta tecnologia tem sido

crescente, sendo que os veículos *flex fuel* chegaram a representar quase 60% da produção brasileira de automóveis novos em 2006. (ANFAVEA, 2007).

O sucesso do automóvel *flex fuel* no mercado brasileiro é inédito no mundo, e tem sido citado com um exemplo de substituição do combustível fóssil por fontes renováveis de energia, ao mesmo tempo em que reduz o dano de emissões de gases ao meio ambiente. Parte deste sucesso se deve as vantagens competitivas da agricultura brasileira e a maior eficiência da produção de álcool a partir da cana de açúcar do que de outras fontes, como por exemplo, o etanol de milho produzido nos EUA. Na Figura I podemos ver distribuição da produção de veículos no Brasil por tipo de combustível.

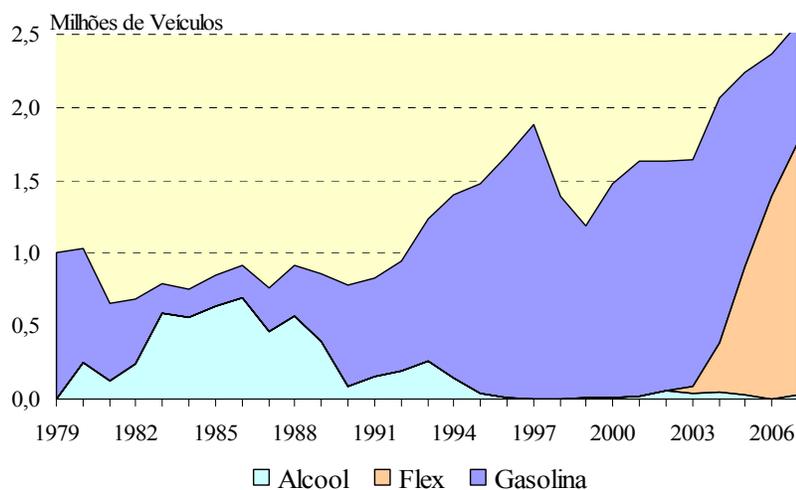


Figura I - Produção Acumulada por tipo de Combustível

A vantagem da tecnologia *flex fuel*, quando comparada ao automóvel tradicional a gasolina, oferece uma flexibilidade ao seu proprietário com relação a escolha do combustível a ser utilizado, permitindo a escolha da alternativa mais econômica cada vez que o automóvel é reabastecido. No início do lançamento desta tecnologia, o valor desta flexibilidade não era cobrado pelas montadoras, que comercializavam o carro *flex fuel* ao mesmo preço que o carro a gasolina. Dessa forma, a opção inerente ao carro *flex fuel* era cedida gratuitamente para o comprador, com o intuito de atrair os consumidores para esta tecnologia nova e ainda pouco conhecida na época. A partir de 2006, no entanto, as montadoras passaram a cobrar um prêmio por esta opção de flexibilidade, comercializando os

automóveis *flex fuel* por um valor maior do que o mesmo modelo movido apenas a gasolina.

A análise da flexibilidade de um carro *flex* é um problema de opções reais, que não pode ser modelada através dos métodos tradicionais como o Fluxo de Caixa Descontado. Para que uma opção tenha valor, no entanto, são necessárias três condições: irreversibilidade, incerteza e flexibilidade. A irreversibilidade diz respeito ao custo do investimento inicial, que é ao menos parcialmente perdido caso haja mudança de idéia quanto à decisão de investir. No caso do carro *flex fuel*, o conceito de irreversibilidade se aplica à compra do automóvel, onde o consumidor tem um custo inicial, o valor do veículo, que é parcialmente perdido no caso do consumidor desistir do carro, uma vez que o preço de revenda do veículo é sempre menor que o preço de compra. A incerteza do carro *flex fuel* é em relação à evolução dos preços futuros do combustível, uma vez que o proprietário do veículo não sabe que níveis de preços de gasolina e álcool irão vigorar ao longo do tempo. Por fim, existe a flexibilidade de escolher o tipo de combustível que apresenta a melhor relação custo benefício cada vez que o veículo é abastecido.

As opções reais podem ser de diversos tipos, como opção de investimento, adiamento, expansão, abandono, retração, suspensão, retomada, crescimento, etc. A opção de investimento e de adiamento são equivalentes a uma *call* americana, onde existe a flexibilidade de exercer o investimento ou não, ou de poder adiar este investimento para uma data futura mais propícia. A opção de abandono equivale a uma *put* americana, onde o projeto pode ser abandonado para receber o valor de liquidação dos seus ativos. A opção de retração é também uma *put* americana, onde apenas parte do projeto pode ser abandonado caso ocorram condições adversas. As opções de expansão, prorrogação e crescimento são modeladas como uma *call* americana que permite o aumento do investimento ou projeto, mediante novos investimentos, prorrogação do tempo de vida do projeto contra o pagamento de um preço de exercício. Adicionalmente, pode-se considerar a opção de alternância, ou conversão, (*switch option*), onde existe a flexibilidade para substituir inputs, *outputs* ou ambos.

A opção de alternar operações de um projeto é, em termos práticos, uma carteira de opções que consiste tanto em opções de compra quanto de venda. Por

exemplo, reiniciar uma operação quando um projeto está temporariamente suspenso, equivale a uma opção americana de compra. Da mesma forma, encerrar as operações quando condições desfavoráveis surgem, é equivalente a uma opção americana de venda. Um exemplo clássico de opção de alternância de usos de matéria-prima é a operação de uma termoelétrica que pode ser movida a gás, óleo ou carvão. Assim, a opção de conversão existe quando o ativo aceita vários insumos, pode produzir vários produtos ou as operações podem ser dinamicamente interrompidas e reiniciadas, com um custo de conversão que não seja proibitivo.

A flexibilidade de um carro *flex* pode ser modelada como uma opção de alternância dos dois tipos de combustíveis possíveis, que são os inputs do processo: gasolina e álcool. Gonçalves (2006) e Pinto e Brandão (2007) analisam a flexibilidade de uma usina de cana de açúcar como uma opção de alternância, onde a produção da usina pode ser convertida para açúcar ou álcool dependendo de qual alternativa é a mais vantajosa economicamente, mas usam metodologias e modelagens estocásticas. Copeland e Antikarov (2001) propõe uma metodologia discreta para a solução de problemas de opções de alternância e apresentam alguns exemplos. Outra interessante fonte de análise das opções de alternância é o trabalho de Kulatilaka e Trigeorgis (1994). Não foi encontrado na literatura, no entanto, nenhuma referência à análise da valoração da opção do automóvel *flex fuel*, provavelmente por se tratar de uma inovação recente no cenário mundial.

## 1.1. O Problema

Como visto anteriormente, a idéia do automóvel *flex fuel* tem como origem a possibilidade do carro utilizar como combustível álcool, gasolina ou qualquer proporção de mistura entre os dois combustíveis em um mesmo tanque do automóvel. Essa possibilidade de escolher o combustível mais barato toda as vezes em que o veículo é abastecido associado à imprevisibilidade dos preços do álcool e da gasolina geram um valor para o carro *flex fuel*.

No lançamento dessa tecnologia as montadoras não cobraram nada a mais pela flexibilidade do combustível, ou em outras palavras, a opção inerente ao

carro *flex fuel* saía de graça para o seu comprador. Atualmente, os automóveis *flex fuel* possuem um valor maior quando o comparamos com um mesmo modelo movido apenas a gasolina.

O sucesso do automóvel *flex fuel* no mercado brasileiro, a sua participação cada vez maior nas vendas e o ineditismo desta solução no mundo criam um estímulo para a reflexão sobre o tema. Assim, essa dissertação tenta solucionar o seguinte problema: Quando um cliente compra um automóvel *flex fuel*, juntamente com o veículo, os fabricantes estão vendendo uma opção, que o cliente pode exercer toda vez em que abastecer o carro. Através da teoria de opções reais, propomos determinar o preço da opção inerente ao carro *flex fuel*.

## 1.2. Objetivo

Neste trabalho analisamos o valor da flexibilidade proporcionada por um automóvel *flex fuel* do ponto de vista do seu proprietário, com o intuito de compará-lo ao prêmio cobrado pelas montadoras por esta tecnologia. Para tanto, modelamos o problema através da metodologia das opções reais utilizando modelos de simulação, considerando a incerteza dos preços da gasolina e do álcool e levando em conta a flexibilidade que o consumidor tem para escolher o combustível mais barato a cada reabastecimento.

Para a precificação do ativo pela teoria de opções reais, esta dissertação propõe a aplicação da avaliação por simulação de fluxos de caixa dinâmicos para estruturar matematicamente o problema, mostrando através de um exemplo hipotético, que essa metodologia é mais simples que a tradicional abordagem da árvore de decisão quadrinomial. Este modelo será aplicado para avaliar o automóvel *flex fuel* por um período de tempo finito e distribuído de maneira discreta.

Dessa forma, será investigado o preço da opção dos carros *flex fuel*, levando em consideração a vantagem gerada pela flexibilidade que o cliente tem em escolher o combustível mais barato, dada a incerteza dos preços tanto da gasolina como do álcool. Assim, o objetivo da dissertação é mostrar como a teoria de opções reais pode ser aplicada de forma mais simples e intuitiva a casos reais, contribuindo para o maior uso dessa teoria.

### **1.3. Relevância do Estudo**

A teoria das opções reais ainda é pouco utilizada nas avaliações de investimento e, nesse sentido, os métodos considerados tradicionais ainda são dominantes.

No problema do automóvel *flex fuel*, existe grande incerteza com relação aos preços dos combustíveis, mais especificamente álcool e gasolina. Além disso, a existência de flexibilidade na escolha do combustível mais barato e a irreversibilidade do investimento geram um ambiente propício para o uso da teoria das opções reais.

Com a utilização de um método mais simples e de fácil aplicação para a solução de problemas envolvendo opções reais, espera-se contribuir ao estudo do tema, que permanece pouco pesquisado e divulgado entre os profissionais de finanças brasileiros.

### **1.4. Histórico do Carro *Flex Fuel***

O transporte de mercadorias e pessoas no Brasil é concentrado no meio rodoviário, tornando-se vulnerável a variações nos preços dos combustíveis. Por isso, o primeiro choque do petróleo, que ocorreu em 1973, teve forte efeito no balanço de pagamentos do Brasil. Nesse período o Brasil produzia 170 mil barris/dia de petróleo, correspondendo a apenas 20% do consumo nacional, e em um ano, as despesas com importação de combustíveis saltaram do patamar de US\$ 600 milhões para mais de US\$ 2 bilhões (UNICA, 2004).

Para responder a esse desafio, em 1975 o governo lançou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o objetivo de abastecer o país com um combustível alternativo e menos poluente que os derivados de petróleo. Inicialmente, o programa se limitava à adição de álcool anidro à gasolina. Em 1979, com o segundo choque do petróleo, teve início o investimento no desenvolvimento e comercialização de automóveis movidos somente a álcool hidratado. Em 1985 e 1986, chega ao auge a produção de veículos movidos a

álcool que passaram a ser responsáveis por 96% dos veículos novos comercializados no país.

Na década de noventa, a ocorrência simultânea de preços atrativos no mercado internacional de açúcar e o baixo preço do álcool incentivou grande parte da produção de cana-de-açúcar a ser direcionada para a produção e exportação de açúcar, desabastecendo o mercado interno de cana voltada para a produção de álcool. Devido à falta do produto nas bombas dos postos de abastecimento, começou uma descrença generalizada no produto, o que provocou uma queda acentuada na produção de veículos a álcool, que chegaram a apenas 13% da produção total de veículos no país. No final da década de 90, existia uma frota remanescente de pouco mais de 4 milhões de veículos movidos a álcool e os automóveis a álcool passaram a ser produzidos apenas sob encomenda.

A tecnologia bicombustível nasceu de pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão no final da década de 80, quando se buscava uma solução para o problema da falta de infra-estrutura de distribuição e abastecimento para o uso de metanol e etanol, que inviabilizava o uso e expansão desses combustíveis. Nos Estados Unidos, uma lei de 1988, denominada Ato dos Combustíveis Automotivos Alternativos, estimulou o desenvolvimento dessa tecnologia, que possibilitou o uso de misturas de álcool-gasolina, até o limite de 85% de álcool. Tal limite foi estabelecido com o propósito de facilitar a partida do motor em condições extremas de frio, comuns em diversas regiões daquele país. Assim, na tecnologia bicombustível norte-americana os veículos bicombustíveis usam um sensor físico de combustível com uma proporção fixa entre álcool e gasolina. Em 1992, a General Motors introduziu a tecnologia bicombustível no mercado norte-americano e em seguida, outros fabricantes passaram também a disponibilizar produtos com características semelhantes.

Desde a década de 80 a Bosch já pesquisava o álcool no Brasil, e decidiu investir na criação de um sistema que queimasse ao mesmo tempo tanto álcool como gasolina. Dessa forma, os proprietários não precisariam converter o motor de seus carros em virtude de dificuldades de abastecimento ou grandes oscilações no preço de um ou de outro. Em 1994 ficou pronto o primeiro protótipo *flex fuel* no Brasil, um Omega a álcool modificado pela Bosch. As montadoras se

interessaram e experimentaram o carro, mas não existia motivação para iniciar a comercialização do produto em série.

Em 1999, uma outra importante empresa de tecnologia automobilística, a Magneti Marelli, anunciou também a tecnologia *flex fuel* (SFS – *Software Flex Fuel Sensor*), totalmente nacional e tendo como principal vantagem a liberdade de escolha do combustível na hora do abastecimento, em qualquer proporção entre álcool e gasolina. O SFS é um programa de computador inserido no módulo de comando da injeção eletrônica, também conhecido como centralina. Esta tecnologia faz com que o veículo possa rodar com álcool, gasolina, ou qualquer mistura dos dois combustíveis, sem perda de potência ou aumento da emissão de poluentes. Nesta visão, a Magneti Marelli também oferece a possibilidade de poluir menos.

As pesquisas realizadas no Brasil resultaram em uma concepção tecnológica superior à norte-americana. Enquanto nos Estados Unidos os veículos bicombustíveis foram derivados dos veículos a gasolina aceitando uma proporção fixa de álcool e gasolina, no Brasil se aproveitou a experiência com os veículos a álcool, que são equipados com motores de taxa de compressão mais elevada. Dessa forma, o conceito *flex fuel* nacional se mostrou melhor em termos de desempenho e economia de combustível, além de possibilitar o uso de até 100% de álcool.

É importante ressaltar a grande diferença entre os veículos *flex fuel* e os bicombustíveis. O motor bicombustível funciona de maneira similar a um motor a gasolina convencional, aceitando apenas uma proporção fixa de álcool e gasolina. No carro *flex fuel*, o que muda é a central eletrônica que gerencia o seu funcionamento. O gerenciador reconhece automaticamente qual o combustível ou mistura que está sendo utilizado em qualquer proporção e ajusta o funcionamento do motor, alterando o ponto de ignição, o tempo de injeção de combustível e a abertura e o fechamento das válvulas. Para compensar o menor poder de detonação do álcool, a unidade de comando eletrônico adianta o ponto de ignição. Um sensor detecta o combustível utilizado e a proporção da mistura álcool-gasolina no tanque, a partir de variáveis como temperatura e velocidade de rotação. A central memoriza a última proporção utilizada e se encarrega de acionar a partida a frio, caso o tanque contenha mais de 80% de álcool e a

temperatura externa seja inferior a 20° C. O ajuste no funcionamento do motor é feito a partir dos gases coletados por um sensor que informa à central eletrônica o ajuste a ser feito para o seu funcionamento. Além disso, para esse processo todo funcionar outras mudanças são necessárias: o coletor de admissão foi alterado para receber a partida a frio (como no modelo à álcool), o tamanho e a vazão dos bicos injetores é maior, as válvulas de escape, a linha de alimentação e a bomba de gasolina receberam revestimento anti-corrosão e o tempo de abertura e fechamento das válvulas foi modificado.

Com a redução do preço do álcool e com a definição do governo de que os automóveis *flex fuel* pagariam alíquota de IPI mais baixa (com os mesmos incentivos dos veículos a álcool), a produção em série de veículos do gênero passou a ser viável no Brasil. Assim, o primeiro modelo *flex fuel* a chegar às vendas foi o Gol Total *Flex*, da Volkswagen, lançado em abril de 2003 ao mesmo preço do modelo comum, o que acabou ajudando a quebrar as resistências ao novo produto. O automóvel *flex fuel* que marcou a estréia da tecnologia Bosch saiu em outubro do mesmo ano: o Fox 1.6, também da Volkswagen. Dessa forma, em meados de 2003, com o lançamento comercial dos carros *flex fuel*, um novo impulso à produção de álcool iniciou-se no Brasil. A aceitação desta tecnologia tem sido crescente, com esses carros representando 39% da produção brasileira de automóveis novos em 2005. ANFAVEA, (2006).

### **1.5. Estrutura da Dissertação**

Nesse primeiro capítulo foi apresentada a introdução, são identificados o problema, os objetivos, a relevância do estudo e a estrutura do trabalho. O restante da dissertação foi dividida como a seguir. No segundo capítulo é feito um panorama da teoria de opções reais e é apresentado um comparativo de duas metodologias possíveis para o cálculo da opção *flex fuel*: árvore quadrinomial e simulação. No terceiro capítulo, através de um exemplo hipotético, são comparados os resultados da aplicação de dois modelos: árvore quadrinomial e simulação de fluxos de caixa dinâmicos. No quarto capítulo é aplicado o modelo de simulação proposto, são definidas as variáveis operacionais e financeiras do projeto e têm-se os resultados, ou seja, é utilizada a modelagem por simulação de

fluxos de caixa dinâmicos para a valoração da opção do carro *flex fuel*. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões, limitações e recomendações para possíveis trabalhos futuros.