

## 1 Introdução

O automóvel *Flex-fuel* foi lançado no mercado nacional em março de 2003, seu desenvolvimento e popularização se deram principalmente pela experiência brasileira gerada durante três décadas de exploração de etanol. Com essa nova tecnologia, o consumidor passou a escolher o combustível no momento do abastecimento e não mais no momento da compra do veículo. O carro *Flex* é capaz de funcionar com gasolina C<sup>1</sup> (com uma proporção de etanol anidro<sup>2</sup>), etanol hidratado ou qualquer mistura desses dois combustíveis em qualquer proporção. Desde seu lançamento suas vendas só crescem, no ano de 2010 já foram responsáveis por mais de 85% dos veículos comercializados no Brasil.

A flexibilidade proporcionada por esse automóvel é vantajosa para o seu proprietário, pois ele passa a escolher o combustível mais barato em cada abastecimento. Esta opção de escolha pode ser entendida como um projeto sob ambiente de incerteza, já que os preços são livres e incertos no mercado, sendo adequada a aplicação da Teoria de Opções Reais para avaliar o valor da opção de troca de insumo (*Switch Input*).

Na teoria do investimento sob incerteza três importantes características devem ser consideradas: irreversibilidade, incerteza e *timing*. Segundo Dias (1996), a irreversibilidade pode ser parcial ou total, ou seja, depois de feito o investimento, não é possível recuperar todo ou a maior parte do capital investido. Na compra de um automóvel, caso haja arrependimento não é possível recuperar totalmente o dinheiro investido, se esse bem for vendido, seu valor no mercado será abaixo do de compra. A segunda característica é a incerteza e essa é principal fonte de riscos. No automóvel *Flex* ela está presente nos preços dos dois combustíveis, etanol hidratado e gasolina C, os quais possuem seus preços livres no mercado. E finalmente o *timing*, que neste trabalho é tratado como uma decorrência de opções europeias, cada vez que forem percorridos 1.500 km<sup>3</sup> no

---

<sup>1</sup> Gasolina que possui um percentual de etanol misturado em sua composição, o etanol utilizado nessa mistura é o anidro. Hoje essa mistura pode variar entre 18% e 20%.

<sup>2</sup> A diferença entre o etanol anidro e o hidratado é o teor de água. Enquanto no anidro esse teor é de 0,5% do volume, no hidratado ele chega a 5%. O etanol anidro é produzido a partir de um processo para a retirada da maior parte da água do etanol hidratado (que sai diretamente das colunas de destilação das usinas produtoras).

mês (50 km diários) estará expirando uma opção desse tipo, ou seja, existe uma sequência de opções europeias para toda a vida do ativo.

A abordagem por opções reais em investimentos sob incerteza enfatiza a importância da incerteza para o valor de um projeto. A valoração de um projeto de investimento em recursos naturais e a determinação da regra de quando é ótimo o investimento depende do processo estocástico assumido para o preço da *commodity*. Segundo Dias (1996), os três principais processos estocásticos de aplicações em finanças são: o Movimento Geométrico Browniano (MGB); o Movimento de Reversão à Média (MRM); e o Movimento de saltos (*jump*) ou processo de *Poisson*, geralmente associado ao MGB.

Neste trabalho será estudado o valor que a flexibilidade do carro *Flex* atribui ao proprietário do veículo, se comparado a um automóvel movido somente a gasolina. O valor da flexibilidade será calculado através da Teoria de Opções Reais, utilizando o Movimento de Reversão à Média (MRM) para modelar os preços. Este modelo será utilizado porque captura o fato estilizado de que os preços das *commodities* não financeiras reverterem no longo prazo para o preço de equilíbrio. Esse argumento é defendido nos trabalhos de Bessembinder et al. (1995), Schwartz (1997), Kulatilaka (1993), Brennan (1991), Gibson e Schwartz (1990), entre outros. A previsão dos preços e o valor da opção serão obtidos através da Simulação de Monte Carlo, sendo aplicada para cada região geográfica do Brasil: Nordeste, Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, a fim de agrupar características de variação de preços de cada combustível, etanol hidratado e gasolina C. Serão também atendidas as preferências regionais do consumidor no momento da compra do automóvel (tomando como exemplos de veículos *Flex* o VW Gol e o Fiat Uno), o qual se supõe ter uma vida útil de cinco anos.

Na literatura é possível encontrar outros trabalhos que valoram a opção do carro *Flex*, mas nenhum deles considera as particularidades e preços por região geográfica do Brasil. Em Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008), a Teoria de Opções Reais é aplicada utilizando dois processos estocásticos: o Movimento Geométrico Browniano e o Movimento de Reversão à Média. Os autores

---

<sup>3</sup> Este valor foi utilizado assim como em Camargo Jr et al.(2011). Poderia ter sido considerada outra premissa, como por exemplo o tanque no nível de reserva. Neste trabalho a vida do ativo considerada é de 5 anos (60 meses), desta forma estará expirando uma opção europeia em cada mês da vida útil desse ativo após rodados 1.500 km (50 km diários).

concluem que o valor da opção é significativo pelos dois métodos e é duas vezes superior ao prêmio *Flex* cobrado pelos fabricantes dos automóveis. Os autores também apontam que os consumidores estão dispostos a comprar um carro com motor *Flex-fuel* mesmo pagando um preço maior.

O mesmo assunto é abordado por Camargo Jr et al.(2011). Em seu artigo os autores utilizam o Movimento Geométrico Browniano (MGB) para valorar a opção de um automóvel *Flex-fuel*. Para isto utilizam uma análise comparativa de dois modelos de automóveis, Fiat Palio *Flex* e Volkswagen Gol City *Flex* com um período de vida de 5 e 10 anos. Os autores concluem que a economia gerada para os proprietários de ambos os veículos está em torno de 10% e 20% em relação ao seu preço de compra, para um ciclo de vida de 5 e 10 anos, respectivamente. Aplicação semelhante é feita em Alves (2007), que também valora a opção do automóvel *Flex* através do MGB.

Em Kulatilaka (1993), a opção de troca de insumos é analisada e calculada através da Teoria de Opções Reais. O autor calcula o valor de uma caldeira que pode usar óleo residual ou gás com combustível em um projeto de investimento em que há grandes níveis de incerteza quanto ao preço de ambos os insumos no mercado. O autor conclui que quanto maior a incerteza nos preços, maior é o valor dessa opção de troca.

A presente dissertação contribui para a difusão de estudos de opções reais aplicadas a motores bicombustíveis, demonstrando suas vantagens econômicas sobre os motores movidos exclusivamente a combustíveis fósseis. O diferencial é a regionalização do estudo e aplicação do MRM para valorar a economia do consumidor.

## 1.1 O Problema

A incerteza associada ao preço dos combustíveis para o consumidor que possui um carro *Flex* apresenta um impacto positivo se considerada uma abordagem através de Opções Reais. A opção de troca de insumo é utilizada no momento do abastecimento, o qual o proprietário tem a opção de escolha do combustível, etanol hidratado ou gasolina C, com o melhor custo-benefício. Defensores dessa nova tecnologia argumentam que essa é a maior vantagem de possuir esse tipo de automóvel, além da sensação de segurança associada a essa

possibilidade de troca. Mas qual o custo de abastecer um veículo *Flex*? A opção de troca de combustível é vantajosa para o proprietário? Qual o benefício financeiro do proprietário de um carro *Flex-fuel* em comparação a um carro movido somente a gasolina (valor da opção)? Regionalmente, onde se localiza o proprietário que se beneficia mais dessa flexibilidade?

## 1.2 Objetivo

A finalidade do presente estudo é calcular os diferentes valores de opções reais que possui um proprietário de um carro *Flex-fuel* em diferentes regiões geográficas do Brasil: Nordeste (NE), Norte (N), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S). Como simplificação, e para melhor expor a análise, são considerados unicamente dois modelos de automóveis VW Gol e Fiat Uno. São também computados os valores dos custos de abastecer os automóveis *Flex-fuel* e a gasolina C a fim de estabelecer o valor da flexibilidade da opção real de troca. Através dos resultados será possível determinar:

1. O Valor Presente do custo do carro *Flex* por região geográfica, calculado através da Simulação de Monte Carlo aplicada sobre os preços dos combustíveis que seguem o MRM;
2. O valor da opção do carro *Flex* por região geográfica em comparação ao carro movido somente a gasolina;
3. Em qual das cinco regiões geográficas encontra-se o consumidor que possui maiores benefícios da flexibilidade dada pelo automóvel *Flex-fuel*.

Neste estudo será considerado que o proprietário do automóvel *Flex-fuel* tentará sempre maximizar a sua riqueza e o rendimento do automóvel, ou seja, ele sempre irá escolher o combustível mais barato respeitando a regra de não abastecer com etanol sempre que seu custo de abastecimento for maior que o da gasolina. Considera-se que a opção expira no final de cada mês após percorridos 1.500 km (50 km diários), como sucessivos vencimentos de opções europeias até o final da vida útil do veículo.

Este trabalho também pretende analisar o panorama brasileiro de combustíveis, do consumo do etanol incentivado pelo Proálcool, a nova geração de motores *Flex-fuel*, o comportamento do preço dos combustíveis que abastecem esse tipo de automóvel e os benefícios ambientais de se utilizar o etanol frente à gasolina.

### 1.3 Posicionamento da dissertação e Estado da Arte

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos que defendem a utilização o Modelo de Reversão à Média (MRM) para o cálculo do preço de *commodities* não financeiras.

Em Bessembinder et al. (1995), os autores revelaram evidências estatísticas de reversão à média no preço de *commodities* agrícolas e do preço *spot* do petróleo. Para o preço de metais, no entanto, o grau de reversão foi substancialmente menor, mas não rejeitado estatisticamente. Por outro lado, para o preço de ativos financeiros foi detectada uma fraca evidência de reversão à média.

Schwartz (1997) valora projetos de investimentos em recursos usando três diferentes modelos que consideram a natureza de reversão à média do preço *spot* de *commodities* não financeiras, óleo e cobre. O primeiro modelo por ele utilizado é o de um fator, considerando um processo de Ornstein-Uhlenbeck, o segundo é uma variação do modelo de dois fatores de Gibson e Schwartz (1990) e, o terceiro, uma versão estendida de Gibson e Schwartz com a inclusão de um novo fator estocástico. O autor destaca a importância de considerar o MRM para os preços de *commodities* na valoração de projetos.

Para Dias (1996) a idéia do MRM pode ser entendida com microeconomia, pois em um mercado competitivo, se o preço estiver muito abaixo da média de longo prazo, várias firmas deixarão de produzir a *commodity* e seu preço irá subir devida sua escassez no mercado. E o mesmo se entende no sentido oposto, se o preço estiver muito acima da média, novos produtores ou produtos substitutos entrarão no mercado, o que provocará a queda de seu preço. De onde se pode concluir que a série de preços de *commodities* possui uma tendência natural de reverter ao seu preço médio de longo prazo, ou seja, à média de equilíbrio de mercado, por mais que esse processo de reversão seja lento.

Kulatilaka (1993) defende a utilização do MRM na modelagem do preço do óleo residual e do gás natural que alimentam caldeiras bicomustíveis, devido ao alto grau de substituição entre os dois combustíveis. O que leva as forças competitivas a dirigir os preços relativos para um equilíbrio em um longo prazo, em que os usuários ficarão indiferentes entre as duas fontes de energia. O autor conclui que uma maior volatilidade no preço relativo aumenta o valor da flexibilidade, ou seja, da opção real de troca. No entanto, o aumento da presença dessa tecnologia flexível (aquisição de caldeiras bicomustíveis pela indústria) diminui a volatilidade das mudanças dos preços relativos (há um aumento de correlação entre os preços), reduzindo potencialmente o valor futuro da flexibilidade.

Bastian-Pinto (2009), dentre várias análises realizadas, modela os preços do etanol e açúcar em uma árvore bi-variável de dois MRMs e MGB que são aplicados na análise da flexibilidade de uma usina de açúcar. O autor conclui que a flexibilidade adiciona valor ao negócio. O autor também mostra que, apesar do MGB ser mais simples de implementar em uma árvore discreta bi-variável comparativamente a um MRM, o MGB retorna valores mais altos se comparados ao MRM que retrata mais fielmente a evolução dos preços do etanol e açúcar.

Seguindo recomendações de Bastian-Pinto (2009), Pessoa (2011) também valora a flexibilidade de uma usina de açúcar, ou seja, calcula o valor da opção de conversão da cana-de-açúcar em açúcar e/ou etanol, para isso utiliza o MRM com saltos de *Poisson* como processo estocástico dos preços. Novamente, é concluído que a flexibilidade da planta adiciona valor ao usineiro, sendo um bom negócio investir em uma planta flexível ao invés de uma dedicada.

O aumento do valor da opção devido à flexibilidade de opção na escolha de insumo também pode ser observado em Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008). Neste trabalho, a TOR é aplicada para analisar o valor da opção do automóvel *Flex-fuel* utilizando dois processos estocásticos: o Movimento Geométrico Browniano e o Movimento de Reversão à Média. É utilizada como ferramenta a Simulação de Monte Carlo e, dos resultados obtidos, é concluído pelos autores que o valor da opção é significativo pelos dois processos estocásticos, representando uma economia para os proprietários de cerca de 15% em relação a um carro movido exclusivamente a gasolina durante o tempo de vida de 10 anos

do veículo. Os resultados também indicaram que os consumidores estão dispostos a comprar um carro com motor *Flex-fuel*, mesmo pagando um preço maior.

O mesmo assunto é abordado por Alves (2007) e Camargo Jr et al.(2011), utilizando o Movimento Geométrico Browniano para valorar a opção de um automóvel *Flex-fuel*. Alves (2007) utiliza a série de preços ao consumidor do mercado brasileiro para a estimação dos parâmetros do modelo, e calcula o valor da opção para um automóvel com período de vida de 10 anos. O resultado obtido através do método de Simulação de Monte Carlo com fluxos de caixa dinâmicos e, com a presença de opções reais, indica que a flexibilidade atribuída ao carro *Flex* aumenta o seu valor, se comparando com um automóvel sem essa tecnologia. Camargo Jr et al.(2011), que também utilizam os preços ao consumidor no mercado brasileiro e a Simulação de Monte Carlo para representar a evolução dos preços, utilizam uma análise comparativa para dois modelos de automóveis, Fiat Palio *Flex* e Volkswagen Gol City *Flex* em um período de vida útil de 5 e 10 anos. Esses autores concluem que a economia gerada para os proprietários de ambos os veículos está entre 10% e 20% em relação ao seu preço de compra, para um ciclo de vida útil de 5 e 10 anos, respectivamente.

No presente estudo, assim como em Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008), Alves (2007), Camargo Jr et al.(2011), serão analisados os benefícios da flexibilidade ao consumidor do carro *Flex*, que pode ser abastecido com etanol, gasolina ou qualquer mistura desses dois combustíveis no mesmo tanque. Para isso será considerada a natureza de reversão à média dos preços das *commodities* modeladas, como proposto por Bessembinder et al. (1995), Schwartz (1997) Kulatilaka (1993). Os cálculos serão realizados atendendo as particularidades de preços cada região do Brasil, Nordeste, Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, bem como a preferência regional do consumidor quanto ao modelo de carro utilizado, VW Gol e Fiat Uno.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

O presente estudo divide-se em 5 capítulos, sendo o primeiro uma breve introdução onde é apresentado o problema, o objetivo do trabalho e analisado o estado da arte sobre o assunto. No capítulo 2 é tratado o contexto para a aplicação da TOR. Nesse capítulo é analisado o panorama do mercado de etanol no Brasil, com um breve histórico da produção de etanol e a inserção de automóveis *Flex-fuel* no mercado. Além disso, é apresentada a estrutura de preços do etanol e da gasolina no país, a competição entre estes combustíveis no ano de 2011, e os benefícios ambientais do consumo do etanol frente à gasolina. No capítulo 3 é dada a base teórica para o entendimento da dissertação. Nele é introduzida a Teoria de Opções Reais (TOR), bem como descritos e caracterizados alguns processos estocásticos e o Lema de Itô, ambos relacionados à TOR. Também são detalhadas metodologias para a escolha do processo estocástico correto e explicado o funcionamento da Simulação de Monte Carlo. No capítulo 4 o MRM é aplicado para o cálculo do valor da opção do carro *Flex*, permitindo uma visão prática do emprego desse processo. Para este propósito serão apresentadas as premissas, fonte de dados, limitações, resultados e discussões acerca do trabalho. Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões e perspectivas futuras do assunto tratado na dissertação.