



## CONVERSÃO DE VEÍCULOS *FLEX* PARA O GÁS NATURAL: PROBLEMA DE ESCASSEZ E CONTRIBUIÇÃO À SUSTENTABILIDADE

### **SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA BASTOS**

*Doutor em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).*

*Professor associado do Departamento de Administração da Fucape Business School.*

*Avenida Fernando Ferrari, 1.358, Boa Vista, Vitória – ES – Brasil – CEP 29075-505*

*E-mail: sbastos@fucape.br*

### **GRAZIELA FORTUNATO**

*Doutora em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).*

*Professora associada do Departamento de Administração da Fucape Business School.*

*Avenida Fernando Ferrari, 1.358, Boa Vista, Vitória – ES – Brasil – CEP 29075-505*

*E-mail: grazielafortunato@fucape.br*

## RESUMO

Dentre as fontes de energia menos poluentes tem-se o gás natural veicular (GNV). Seu uso como fonte de energia no setor de transportes vem crescendo – há projeções de expansão de consumo na ordem de 52% em âmbito mundial entre 2008 e 2035 – e representa uma alternativa para redução do dano ambiental decorrente do uso crescente de fontes energéticas poluentes. Considerando o contexto social, político e econômico, ações sustentáveis são esperadas por parte dos indivíduos e das empresas. Com isso, este estudo objetiva valorar a opção da conversão de veículos leves *flex* para o gás natural veicular (GNV) tendo a contribuição para a sustentabilidade como principal motivador. A metodologia de opções reais e a simulação de Monte Carlo foram empregadas para modelar a opção europeia, já que a decisão de abastecer com GNV, gasolina ou etanol, a cada período, é totalmente independente da decisão dos períodos anteriores, de acordo com Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010), admitindo a capilaridade dos postos de gasolina como um fator adicional de incerteza. Assim, é calculado o valor da flexibilidade obtida pela conversão, considerando incertezas quanto à evolução dos preços dos combustíveis e à escassez do GNV devido a pouca capilaridade de postos com oferta deste combustível. Os resultados mostram que para uma escassez de 25% – aproximadamente a parcela dos postos do estado do Rio de Janeiro em que há oferta de GNV – é requerido um mínimo de 1.200 quilômetros de distância percorrida por mês para que o valor da opção seja positivo. Além disso, o valor da opção pode chegar a 416,8% de retorno sobre o custo da conversão, ou 31% do valor do veículo, mesmo desconsiderando eventual benefício fiscal dado a esse combustível pelas normas brasileiras. Os resultados evidenciam também que existe ganho incorporado à opção analisada, relacionado à sustentabilidade, dado que o GNV é um tipo de energia mais limpa.

## PALAVRAS-CHAVE

Gás natural veicular. Escassez de combustível. Opções reais. Sustentabilidade. Conversão de combustível.

# 1 INTRODUÇÃO

O setor de energia destaca-se pelo porte e pelo potencial impacto econômico que qualquer alteração em sua estrutura pode provocar. As consequências de uma oferta de energia que não seja segura, abrangendo tanto garantia de fornecimento quanto modicidade de preços e danos ao meio ambiente, causados por fontes de energia poluidoras, são questões centrais nas esferas sociais, políticas e econômicas contemporâneas. A potencializá-las, há inúmeros fatores, por exemplo: 1. eventos geopolíticos desestabilizadores em áreas produtoras de energéticos, notadamente o petróleo; 2. correlação entre consumo de energia e crescimento econômico; 3. baixa segurança institucional e regulatória em diversos países potencialmente fornecedores de energéticos. O setor encontra-se num momento importante em que os padrões de suprimento e de consumo são insustentáveis (International Energy Agency, 2008) e em que os governos e suas ações de mitigação das mudanças climáticas terão papel fundamental (International Energy Agency, 2010). O contexto exige a integração de políticas energéticas e ambientais.

Dentre as fontes de energia menos poluentes, vem crescendo o uso do gás natural. Há projeções de expansão de consumo da ordem de 52% em âmbito mundial entre 2008 e 2035, com o gás natural mantendo-se como fonte importante em diversas regiões do mundo nos setores industrial e de geração de energia elétrica (Energy Information Administration, 2011). No Brasil, de 2011 a 2021 é esperado um crescimento de 11% para 15,5% na participação do gás natural na oferta de energia (EPE, 2013).

O uso do chamado gás natural veicular (GNV) como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma das alternativas que contribui para a redução do dano ambiental decorrente da utilização crescente de fontes energéticas poluentes (Yeh, 2007). O gás natural é um energético encontrado de forma abundante na natureza e suas propriedades químicas são tais que permitem vários usos possíveis, por exemplo, substituir combustíveis de motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento, como é o caso daqueles movidos a gasolina e etanol (álcool combustível).

Veículos leves, como automóveis particulares ou comerciais, podem ser fabricados com a possibilidade de utilização de mais de um combustível. Esses veículos são chamados *flex* e usualmente utilizam gasolina e etanol, podendo ser convertidos ao GNV. A conversão é o processo de adaptação do veículo que consiste na adição de um conjunto de equipamentos, chamado *kit* gás, que compreende: reservatório para o GNV, rede de tubos de alta e baixa pressão, regulador de pressão, válvula de abastecimento, dispositivo de troca de combustível e indicadores de condições do sistema (Schwob, Morales, Henriques, & Esteves, 2003).

Um veículo movido a gasolina ou etanol (*flex*) embute a opção de conversão para o GNV. Feita a conversão, o veículo passa a ter mais uma opção de uso de combustível. Do ponto de vista do proprietário do veículo, a cada abastecimento pode-se tomar a decisão de qual combustível utilizar, já que por meio de um simples mecanismo o sistema pode ser alterado para receber o combustível escolhido. De forma simplificada, podem-se admitir decisões sobre o combustível a cada abastecimento ou a cada uso (Bastian-Pinto, Brandão, & Alves, 2010).

Existem vários benefícios econômicos potenciais do uso do GNV: 1. menor custo de combustível; 2. redução do IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) em alguns municípios brasileiros; 3. menor custo de manutenção dos motores em função do menor desgaste; 4. menor custo de lubrificantes em função de maiores intervalos de troca; 5. redução de perdas de combustível que, por ser gasoso, necessita ser manipulado e armazenado isoladamente da atmosfera. Além disso, há uma redução da poluição atmosférica, pois a combustão tende a ser completa, liberando apenas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O) (Hilgemberg & Guilboto, 2006; Bermann, 2002; Praça, 2003; Santos, 2002).

O custo da conversão de veículos leves movidos a gasolina ou etanol para o GNV varia de R\$ 2,5 mil a R\$ 3,6 mil, dependendo do modelo do veículo. Esses valores são os resultados de uma pesquisa realizada pelos autores em diversas empresas, em abril de 2011, que prestam tal serviço, como a GásPoint. Como pontos negativos à conversão, veículos movidos a GNV tendem a perder potência e espaço interno devido ao peso e volume ocupado pelo cilindro do reservatório de gás.

A decisão de conversão depende de vários fatores, como: 1. o custo de conversão; 2. a evolução futura dos preços dos combustíveis; 3. a possibilidade de escassez do GNV. A possibilidade de escassez refere-se à baixa capilaridade dos postos de abastecimento de GNV em cada cidade ou estrada em comparação com os postos de abastecimento de gasolina e etanol. Portanto, em caso de escassez, ou seja, em função de sua indisponibilidade nos postos de abastecimento, o proprietário pode ser forçado a abastecer o veículo com gasolina ou etanol em detrimento do GNV, independentemente da decisão econômica baseada no preço dos combustíveis (mesmo quando o GNV se mostrar mais barato). O problema da escassez, conceituada probabilidade de o proprietário não encontrar um posto que forneça GNV a cada necessidade de abastecimento, foi destacado como um dos impeditivos ao avanço do uso de combustíveis alternativos por Yeh (2007) e Melaina e Bremson (2008).

Dado que existe flexibilidade de escolha do combustível devido às incertezas de preço e possibilidade de escassez, a análise tradicional pelo método do fluxo de caixa descontado já não se apresenta mais como o método mais indicado para avaliação desse investimento de conversão. Portanto, o método de avaliação por

opções reais se torna o mais indicado, pois leva em consideração a flexibilidade (escolha do combustível) e as incertezas (preço e escassez do combustível).

Dessa forma, o objetivo deste estudo é responder à seguinte pergunta: Qual é o valor da flexibilidade obtida pela conversão de um veículo leve *flex* – movido a gasolina ou etanol – para o gás natural veicular (GNV), utilizando a metodologia de opções reais, considerando a escassez do combustível, tendo como principal motivador a contribuição para a sustentabilidade?

Este artigo está organizado da seguinte forma: no item 2, é apresentado um breve levantamento dos trabalhos acadêmicos relacionados ao tema em questão e uma retrospectiva sobre o mercado brasileiro de GNV. No item 3 são mostradas a modelagem e a aplicação propostas. Em seguida, são apresentados os resultados e uma análise de sensibilidade no item 4. Por fim, no item 5, é apresentada a conclusão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Veículos *flex*, ou multicomcombustível, são uma realidade no Brasil. Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) calcularam o valor da flexibilidade de troca entre gasolina e etanol em veículos de combustível *flex*, demonstrando, por meio da metodologia de opções reais, o valor adicionado ao ativo. Assumindo um veículo de porte médio, o valor da opção calculado foi de 8% a 12% do valor do veículo, dependendo do processo estocástico adotado. Para veículos mais caros, com maior consumo de combustível, o valor da opção foi de 10,4% com o uso do Movimento de Reversão à Média (MRM) e de 6,4% no caso da utilização do Movimento Geométrico Browniano (MGB). O mesmo estudo foi realizado na Suécia por Krüger e Haglund (2013), dada a importância dos carros *flex*, valorizados pelo apelo ecológico, e dada a diferença de estrutura de oferta de combustível em relação ao Brasil: na Suécia, o etanol é importado e faz-se necessário avaliar se o valor da opção permanece positivo.

Considerando que a restrição de oferta é o maior empecilho à maior utilização do GNV, Coutinho, Prata, Arruda e Nobre (2005) utilizam a teoria dos jogos para analisar o conflito de interesses entre fornecedor e distribuidor, que contribui para tal limitação de oferta. Já Royer, Fettermann e Silva (2007) procuram contextualizar o processo decisório de taxistas no Rio Grande do Sul ao optar pelo GNV por meio da comparação de percepções das vantagens e desvantagens deste combustível em dois momentos: 2001 e 2006. Alguns atributos associados ao serviço do gás natural foram levantados nesse estudo: espera em postos, garantia de preço, redução de IPVA, oferta de postos, continuidade do abastecimento e confiabilidade do abastecimento. Além disso, foram tratados: preço, impacto

ambiental, segurança, custo de conversão, garantia de fábrica após conversão e fabricação com motor a gás e, também, a restrição de oferta ou escassez do GNV.

O problema da escassez foi apontado por Yeh (2007) como um dos principais fatores impeditivos para os governos promoverem a adoção do GNV, dado que a adoção de veículos de combustíveis alternativos, neste caso o GNV, requer a coexistência de fornecedores e postos de abastecimento. No caso do Brasil especificamente, Yeh (2007) aponta que a capilaridade é baixa e que o governo provê incentivo para a construção de infraestrutura a fim de reduzir tal problema. Destaca-se ainda que, apesar das possíveis vantagens do uso do GNV, o maior desafio se concentra mesmo na escassez, ou em atingir a razão ótima entre postos de abastecimento e veículos movidos a gás natural. Melaina e Bremson (2008) defendem que os consumidores podem deixar de comprar carros de combustíveis alternativos se perceberem que não conseguem abastecer, independentemente do custo ou da *performance* advinda do combustível. Esses autores usam o termo “disponibilidade de abastecimento” em detrimento do termo “escassez” e afirmam que isso é um fator importante a ser avaliado para alguns combustíveis.

Brandão Filho (2005) desenvolveu uma metodologia para estudar as preferências dos consumidores de combustível, com enfoque no gás natural veicular, utilizando dados conjuntos de preferências reveladas e declaradas, concluindo que o uso de GNV tem um grande potencial de crescimento. Esse estudo também indica que a acessibilidade aos postos é um ponto relevante na expansão da demanda por GNV, enquanto que o preço já contribuiu para essa expansão, revelando que a demanda reprimida atual não é influenciada pelo preço. Esse ponto já havia sido levantado por Praça (2003), que se preocupou com a infraestrutura de distribuição de gás natural e desenvolveu um modelo matemático com vistas a reduzir o custo de distribuição.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2012, ano base 2011, (Empresa de Pesquisa Energética, 2012), a participação do gás natural na oferta de energia interna evoluiu da seguinte forma: 0,3% em 1970; 1% em 1980; 3,1% em 1990; 5,4% em 2000 e 10,1% em 2011, tendo um pico de 10,3% em 2008. É importante destacar que, embora a parcela de energia renovável na oferta de energia brasileira seja relevante (44,1% em 2011), ela já chegou a patamares mais elevados (47,2% em 2009).

Segundo Prates, Pierobon, Costa e Figueiredo (2006), o gás natural deixou de ser um simples subproduto na produção de petróleo e tornou-se uma alternativa energética estratégica para o país. Seu estudo mostra ainda que, em 2005, o maior consumidor de gás natural em volume de vendas foi o segmento industrial (57%), seguido dos segmentos de geração e cogeração de eletricidade (27,1%), consumo automotivo (13,2%), consumo residencial (1,5%) e consumo comercial (1,2%). De 2000 a 2009, a oferta interna de gás natural no país cresceu 106,2%, enquanto a oferta total de energia cresceu 28%.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2011, é apresentada na Tabela 1 a evolução do segmento automotivo no consumo total de gás natural no Brasil. A participação do GNV evolui de um patamar de 3,1% em 2000 para 7% em 2010, tendo apresentado um patamar ainda maior em 2007 (11,2%).

TABELA 1

PRODUÇÃO E CONSUMO DE GÁS NATURAL

FLUXO	1970	1980	1990	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Produção	1.264	2.205	6.279	13.283	17.706	18.152	21.593	21.142	22.938
Importação	0	0	0	2.211	9.789	10.334	11.348	8.543	12.647
Perdas e ajustes <sup>(a)</sup>	-1.147	-1.123	-2.116	-5.403	-5.458	-5.526	-6.105	-8.063	-6.829
Consumo total	117	1.082	4.163	10.091	22.037	22.960	26.836	21.620	28.757
Transformação	37	79	749	2.126	5.957	5.721	8.284	4.693	9.588
Consumo final	80	1.003	3.414	7.965	16.080	17.239	18.552	16.927	19.169
Não energético	3	452	1.010	831	863	877	807	795	836
Energético	77	551	2.404	7.134	15.217	16.363	17.745	16.132	18.332
Setor energético	74	188	859	2.278	3.712	4.013	5.227	5.414	5.236
Residencial	0	0	5	114	236	251	260	271	290
Comercial/público	0	0	3	86	364	377	197	204	297
Transportes	0	0	2	313	2.307	2.559	2.453	2.106	2.008
Industrial	3	363	1.535	4.343	8.595	9.149	9.605	8.137	10.499

Nota: Valores em  $10^6 \text{ m}^3$ . <sup>(a)</sup> Inclui energia não aproveitada e reinjeção.

Fonte: Balanço Energético Nacional 2011. Recuperado em 25 junho, 2012, de <http://ben.epe.gov.br>.

Destaca-se também a dependência brasileira em relação ao gás importado, como no estudo de Prates *et al.* (2006). Essa dependência relevante mostra que a importação de 2010 representou 44% do consumo, tendo chegado a um patamar máximo de 45% em 2007.

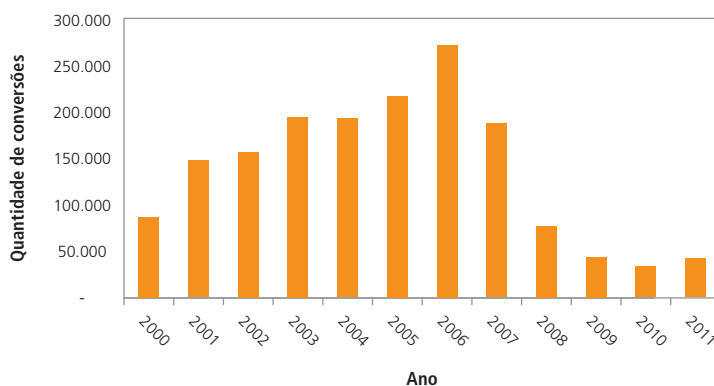
Existem dois fatores que têm impacto significativo sobre a incerteza do mercado de GNV: a garantia de fornecimento de gás e o desenvolvimento de um marco regulatório para o setor. Quanto ao primeiro, destaca-se a necessidade de importação de gás da Bolívia e as características políticas desse país que, conforme

observado nos últimos anos, indicam risco de abastecimento (Prates *et al.*, 2006). Quanto ao segundo, destaca-se a discussão dos projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional que pretendem estabelecer um marco regulatório para o gás natural. Configura-se, dessa forma, um cenário de incertezas para as empresas do setor e para os clientes.

A despeito das incertezas, a conversão de veículos movidos a gasolina ou a etanol para o GNV foi grande nos últimos anos, como destacado no Gráfico 1, embora já não sejam presenciados os patamares elevados existentes até 2006. Em março de 2012, a frota brasileira de veículos convertidos a GNV era de 1.713.979 unidades (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, 2012). A avaliação custo  $\times$  benefício, ainda que realizada em termos simplistas, é considerada, de forma geral, favorável à conversão. No entanto, a ausência de veículos saídos de fábrica com a opção de combustível a gás é uma barreira ao desenvolvimento do mercado do GNV.

GRÁFICO 1

### EVOLUÇÃO DAS CONVERSÕES PARA GNV NO BRASIL



Fonte: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2012).

Outra barreira ao desenvolvimento do mercado é a rede de distribuição pouco extensa, destacada como ponto crítico por Prates *et al.* (2006). Mesmo assim, seu estudo mostra que o crescimento do mercado de GNV tem permitido que as redes de distribuição cheguem a várias cidades e estados, e tem funcionado como âncora para a sua extensão. Já Yeh (2007) mostra que o governo brasileiro tem todos os motivos para incentivar esse crescimento por meio de investimentos de infraestrutura de rede de GNV. Lemoine (2010) segue a mesma linha de estudo ao avaliar veículos elétricos que permitem alternar o uso de combustíveis



entre eletricidade e gasolina, diesel ou etanol. Essa flexibilidade, avaliada pela metodologia de opções reais, está condicionada à aquisição de bateria adicional.

Pesquisas sobre avaliação de formas alternativas de energia ou energia renovável têm sido desenvolvidas também por opções reais. O mesmo acontece com investimento em infraestrutura ou planta de geração de energia. Davis e Owens (2003) observam que reduzir a vulnerabilidade do combustível gerador de energia elétrica era uma das prioridades do governo americano, apesar do preço baixo do combustível fóssil (gerador de energia). A manutenção de gastos no programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) nessa área foi altamente questionada por analistas de mercado. Esse questionamento desconsidera a preocupação do governo com a garantia do fornecimento de energia e fatores externos ao mercado de energia. Com a aplicação da metodologia de avaliação por opções reais, foi levado em consideração o valor de seguro. Com isso, é possível defender que os gastos do governo no programa de P&D na área de energia elétrica renovável estão subotimizados e que são altamente justificáveis.

Na mesma linha, Lee e Shih (2010) destacam que investimentos em energia renovável em Taiwan devem ser suportados por políticas governamentais, principalmente porque o desenvolvimento de energia renovável é afetado por incertezas, tais como: condições naturais, variação do preço do combustível fóssil e tecnologia em geração de energia. Dessa forma, não há incentivo em investir em P&D. Os investimentos em P&D nessa área ainda esbarram nos altos custos e na dificuldade de recuperação do recurso empregado, especialmente por ser de longo prazo, configurando risco alto e incerteza de retorno, além de pouca independência por parte dos gestores no *timing* desses investimentos. O modelo de opções reais, empregado por Lee e Shih (2010), quantifica a flexibilidade gerencial que impacta a política de desenvolvimento em energia renovável e integra também a curva de eficiência de custos, que simula a relação de custo de geração de energia renovável com a redução dos custos de energia elétrica.

A literatura aponta para o uso da metodologia de opções reais na avaliação de projetos de investimento (Minardi, 2000), assim como para a avaliação de contratos (Brandão, Bastian-Pinto, Gomes, & Salgado, 2012; Martinez, 1998), as interações com a flexibilidade financeira (Trigeorgis, 2007), dentre muitas outras aplicações. Há um destaque para o uso dessa metodologia em avaliação de projetos nos setores de energia e mineração, dada sua natureza de incerteza, notadamente na fase de exploração.

Os estudos que avaliam plantas de geração de energia e aplicam a metodologia de opções reais aproveitam a flexibilidade de preços no mercado, tanto de energia quanto de combustível, ou a flexibilidade de operar a planta para uma melhor avaliação do investimento. Tseng e Barz (2002) e Tseng e Lin (2007), por

exemplo, analisam a possibilidade de criação de valor pelo *spread* entre o preço do combustível e o valor da energia no mercado à vista. Quando o preço da eletricidade está alto e o preço do combustível está baixo, a planta entra em operação e aproveita as condições de mercado. Quando o *spread* é negativo, a planta não opera. Esse cenário configura uma série de opções de compra.

A literatura sobre GNV ou mesmo sobre energias renováveis associadas a opções reais não é tão vasta e oferece oportunidades de evolução. Portanto, contribuir para esse desenvolvimento é objetivo deste estudo. O olhar sobre esses temas está se estendendo e pode ser caracterizado pela demanda de melhorias e sofisticação das metodologias aplicadas, principalmente no que se refere às justificativas de investimentos.

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este estudo consiste em aplicar a metodologia de opções reais para avaliar a flexibilidade obtida pela conversão de um veículo leve movido a gasolina ou etanol (*flex*) para gás natural veicular (GNV), levando em consideração o problema da escassez deste último. Para isso, considerou-se o caso de um consumidor que possui o veículo convertido, uma vez que passa a ter uma opção adicional de combustível que seja mais vantajoso economicamente para o seu uso entre três possíveis, caso não tenha de enfrentar a dificuldade de encontrar o posto de abastecimento de GNV no momento em que decide por este. A escassez é fator impeditivo para uso do GNV (Melaina e Bremson, 2008; Yeh, 2007). O modelo de opções reais é empregado com simulação de Monte Carlo, considerando que a opção do combustível pode ser modelada como uma opção europeia, já que a decisão do combustível (GNV e gasolina ou etanol), a cada período, é totalmente independente da decisão dos períodos anteriores.

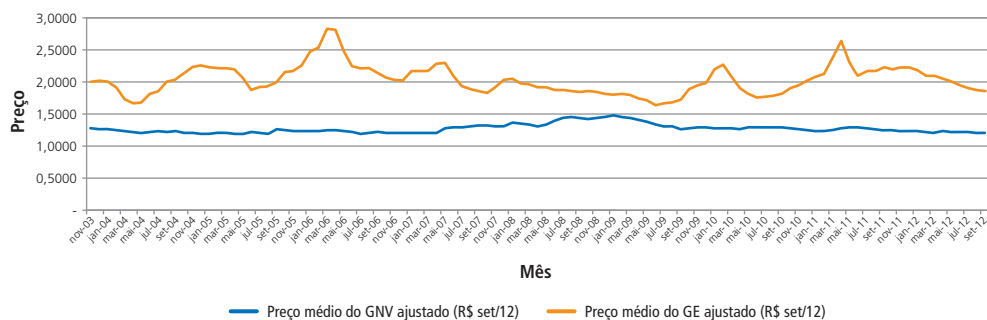
As séries de preços de GNV, gasolina e etanol utilizadas neste estudo são as divulgadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), correspondendo a valores médios mensais no Brasil. Os preços, que compreendem o período de novembro de 2003 a setembro de 2012, são trazidos a valores reais pelo IGP-M com base em setembro de 2012. Além disso, para fins de comparabilidade, os preços de GNV são ajustados considerando esse combustível com rendimento 25% superior ao da gasolina e a gasolina 14,29% superior ao etanol. Ou seja, o rendimento do GNV é 42,9% superior ao do etanol (NGV Communications Group, 2010). Como o ponto de partida foi o carro *flex* – gasolina e etanol –, foi considerada a série dos menores preços ajustados mensais entre gasolina e etanol para fins de comparação com o GNV, o que foi chamado de combustível

GE (gasolina ou etanol). Portanto, a série GE é composta pelo menor preço entre gasolina e etanol no período considerado, levando em consideração a diferença de rendimento entre os dois combustíveis. Admitindo tais tratamentos, a série de preços é apresentada no Gráfico 2. Os valores se encontram em reais por litro de gasolina.

É importante destacar que no período de novembro de 2003 a setembro de 2012, em todos os meses, o preço médio do etanol foi menor em relação ao da gasolina, o que significa que a decisão do possuidor do carro *flex* seria sempre utilizar o etanol, na condição de rendimento utilizada de 87,5% (NGV Communications Group, 2010). Caso esse rendimento fosse de 70% do etanol em relação à gasolina (Bastian-Pinto, Brandão e Alves, 2010), haveria 23 meses em que a gasolina ficaria mais barata. A razão para a adoção, neste estudo, do rendimento de 87,5% do etanol em relação à gasolina foi usar uma única fonte de informação para o rendimento relativo entre os combustíveis.

GRÁFICO 2

EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS AJUSTADOS DE GNV E GASOLINA OU ETANOL (GE)



Valores em R\$ de setembro de 2012/litro de gasolina.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença de preços entre GNV e GE é flagrante. Também por uma simples observação do Gráfico 2, nota-se que a volatilidade dessas séries é baixa. Esse comportamento suporia uma unanimidade na adoção do GNV. No entanto, o que se coloca como relevante na decisão de conversão é o fator escassez. Atualmente, são 39.450 postos de abastecimento no Brasil, dos quais 9.057 no estado de São Paulo e 2.230 no estado do Rio de Janeiro (ANP, 2013). Destes, apenas 1.850 ofertam o GNV, sendo 478 postos no estado de São Paulo e 529 no estado do Rio de Janeiro (GasNet, 2013). A rede de GNV, portanto, é muito pequena

comparada à rede de postos de abastecimento de gasolina e etanol (Brandão Filho, 2005; Praça, 2003; Prates *et al.*, 2006).

Portanto, esse cenário se caracteriza por uma opção que o consumidor tem a cada abastecimento do veículo convertido entre GNV e gasolina ou etanol (GE), o que for melhor. O fator decisão não está baseado somente no preço, mas na escassez dos pontos de abastecimento, o que difere de Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) e torna o tópico escassez relevante para avaliação. O conceito de escassez neste estudo se baseia na baixa capilaridade dos postos de combustíveis de GNV e se dá pela probabilidade de não encontrar um posto que forneça GNV a cada necessidade de abastecimento. No Rio de Janeiro, por exemplo, dado o tamanho da rede de postos de abastecimento (529 de GNV em um total de 2.230), a probabilidade de não encontrar o GNV é em torno de 76%.

Para determinar o valor da opção de um veículo movido a GNV, devem-se levar em consideração o benefício da incorporação da flexibilidade do GNV, ou seja, o ganho mensal provocado pela conversão, e o problema da escassez. O ganho resulta dos seguintes componentes: 1. diferença de preço entre GNV e gasolina ou etanol (GE) dado um determinado consumo mensal; 2. o rendimento do veículo dado o combustível escolhido; 3. redução do IPVA, da seguinte forma:

$$\pi = \left[ \frac{\delta \cdot \Delta \text{preço}}{\theta} \right] + [IPVA \cdot \kappa_{IPVA} \cdot \kappa_{Vo}] \quad (I)$$

em que:

$\pi$  = ganho mensal obtido pela conversão do veículo para GNV;

$\delta$  = distância total percorrida por mês (km/mês);

$\Delta \text{preço}$  = diferença de preço médio entre gasolina ou etanol (GE) e GNV;

$\theta$  = consumo do veículo *flex* (km/l);

IPVA = valor do veículo  $\times$  alíquota do imposto (IPVA);

$\kappa_{IPVA}$  = redução do IPVA;

$\kappa_{Vo}$  = fator de redução de valor do veículo para cálculo do IPVA.

A relação de consumo entre GNV, gasolina ou etanol, considerando um veículo de porte médio, é de, respectivamente, 10 km/m<sup>3</sup>, 8 km/l e 7 km/l (NGV Communications Group, 2010). Pode-se então trabalhar com o GNV ajustado para litros de gasolina numa proporção de 125% de rendimento. Já entre o etanol e a gasolina o rendimento é de 87,5%. O potencial benefício de redução de IPVA pode chegar a 75%, como no caso do município do Rio de Janeiro.

Considerando a escassez do GNV, ou seja, a probabilidade de o consumidor não encontrar um posto que lhe permita abastecer seu veículo com o GNV, foi

acrescentado ao cálculo do diferencial de preços dos combustíveis ( $\Delta\text{preço}$ ) um componente aleatório de escassez  $x$  que segue uma distribuição de Bernoulli com probabilidade  $p$  de ocorrer. A cada abastecimento, a variável  $x$  assume valores entre zero e 1. Quando  $x$  for 1, gera um impacto de elevação do preço de GNV a valores superiores aos da gasolina ou etanol (GE), induzindo a valores impeditivos de aquisição do GNV, forjando um cenário de escassez. Dessa forma, toda vez que  $x$  for igual a zero, haverá disponibilidade de abastecimento com GNV e o ganho será baseado em  $\Delta\text{preço}$ . Quando a realização de  $x$  igual a 1, haverá escassez e  $\Delta\text{preço}$  será igual a zero, pois o GE terá de ser realmente escolhido, mesmo que não haja ganho no preço. Portanto:

$$\pi = \frac{\delta}{\theta} [(1 - p) \times \Delta\text{preço}] + [IPVA \cdot \kappa_{IPVA} \cdot \kappa_{Vo}] \quad (2)$$

Os parâmetros utilizados para calcular o ganho mensal estão apresentados na Tabela 2.

Para fins de cálculo do benefício da opção da conversão para o GNV, no âmbito deste estudo, foi desprezado o benefício da redução de IPVA, por conservadorismo e por não ser uma prática generalizada nos municípios brasileiros.

**TABELA 2**

**PARÂMETROS PARA A APLICAÇÃO DO MODELO**

Distância percorrida diária (km)	120
Quantidade de uso mensal (dias)	20
Distância total percorrida (km/mês)	2.400
Consumo do carro a gasolina (km/l)	8,0
Valor do veículo (R\$)	R\$ 50.000
Custo da conversão (R\$)	R\$ 3.000
Custo de oportunidade livre de risco (%a.a)	4%
Custo de oportunidade livre de risco (%a.m)	0,327%
IPVA (% do valor do carro/ano)	4%
Redução do IPVA (%)	75%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a determinação do processo de difusão estocástico, seguido pela gasolina ou etanol (GE), o que tiver o menor preço médio mensal (considerando o rendimento), e pelo GNV, analisou-se a hipótese nula de existência de raiz unitária das séries de variação de preços como  $\ln(GNV_t/GNV_{t-1})$  ou  $\ln(GE_t/GE_{t-1})$  (desazonalizados) pelo teste Dickey-Fuller (Wooldridge, 2003).

**TABELA 3**

**RESULTADO DO TESTE DE RAIZ UNITÁRIA  
PARA AS SÉRIES DE PREÇOS GNV E GE**

Hipótese Nula: $\ln(GNV_t/GNV_{t-1})$ e $\ln(GE_t/GE_{t-1})$ possuem raiz unitária			
Exógeno: Constante			
Defasagem: 0 (Automático, baseado em SIC, MAXLAG = 12)			
		ESTATÍSTICA t	PROB.*
Teste de Dickey-Fuller Estendido	$\ln(GNV_t/GNV_{t-1})$	-8,487814	0,0000
Teste de Dickey-Fuller Estendido	$\ln(GE_t/GE_{t-1})$	-6,288266	0,0000
Valores críticos do teste:	1% level	-3,493747	
	5% level	-2,8892	
	10% level	-2,581596	

\* Estatística *p unicaudal* (MacKinnon, 1996).

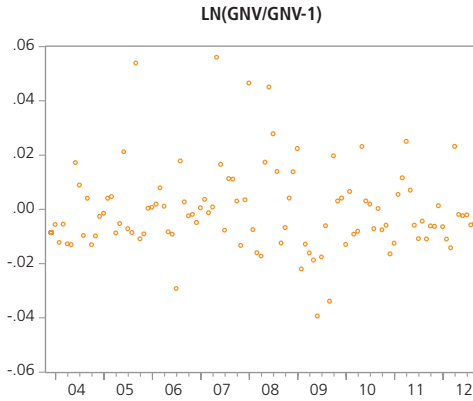
Fonte: Elaborada pelos autores com dados rodados no Eviews 6.0.

Ao aplicar o teste a um nível de significância de 5% (valor crítico de  $-2,889$ ), há evidências de que as séries de variação dos preços de GNV e GE não possuem raiz unitária. O comportamento das séries está ilustrado nas figuras 1 e 2.

Desse modo, as séries de variação de preços do GNV e GE podem ser modeladas pelo Movimento de Reversão à Média (MRM). O MRM é um processo de Markov no qual a direção e a intensidade do desvio dependem do preço corrente e devem reverter a uma média de equilíbrio, a qual é adotada como sendo o preço médio de longo prazo. O MRM, portanto, é considerado como o movimento mais adequado que descreve o comportamento de preços de *commodities* e taxa de juros, que, no longo prazo, acabam retornando ao nível médio de preço. Neste trabalho, a série de tempo é longa e refere-se à variação dos preços de gás natural veicular, gasolina e etanol, ou seja, *commodities*.

FIGURA 1

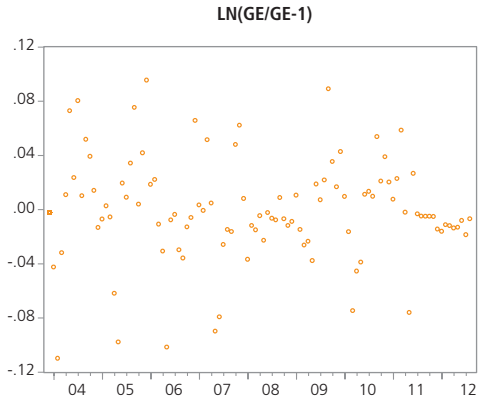
COMPORTAMENTO  
DA SÉRIE GNV



Fonte: Elaborada pelos autores com dados rodados no Eviews.

FIGURA 2

COMPORTAMENTO  
DA SÉRIE GE



Fonte: Elaborada pelos autores com dados rodados no Eviews.

A forma mais simples de MRM é o processo de fator único Ornstein-Uhlenbeck, também chamado de MRM Aritmético, definido por:

$$dP_t = \eta(\bar{P} - P_t)dt + \sigma dz_t \quad (3)$$

em que:

$P_t$  = variável estocástica de preço do combustível no período de tempo  $dt$ , dada por  $\ln(GNV)$  ou  $\ln(GE)$ ;

$\bar{P}$  = média de longo prazo da variável estocástica o preço do combustível, dada por

$$\ln(\overline{GNV}) - \sigma_{GNV}^2 / 2\eta \text{ ou } \ln(\overline{GE}) - \sigma_{GE}^2 / 2\eta;$$

$\eta$  = velocidade de reversão à média da variável estocástica;

$\sigma_{Pt}$  = volatilidade do processo;

$dz_t = \varepsilon \sqrt{dt}$ ; processo de Wiener em que  $\varepsilon_t \approx N(0,1)$ ;

$dt$  = incremento de tempo do processo.

Os parâmetros de média e a variância do processo MRM Aritmético (Ornstein-Uhlenbeck) são, respectivamente (Dixit & Pindyck, 1994):

$$E[P_t] = \bar{P} + (P_o - \bar{P}) e^{-\eta t} \quad (4)$$

$$\sigma^2_{P_t} = \frac{\sigma^2}{2\eta} (1 - e^{-2\eta t}) \quad (5)$$

Discretizando o parâmetro da média da Equação 4:

$$P_t = \bar{P} + (P_{t-1} - \bar{P})e^{-\eta t} \text{ e adicionando } (-P_{t-1}): \quad (6)$$

$$P_t - P_{t-1} = \bar{P}(1 - e^{-\eta t}) + P_{t-1}(e^{-\eta t} - 1) \quad (7)$$

Se  $P_t = \ln(GNV)$  ou  $\ln(GE)$  e  $\bar{P} = \ln(\overline{GNV}) - \sigma_{GNV}^2/2\eta$  ou  $\ln(\overline{GE}) - \sigma_{GE}^2/2\eta$ , então:

$$\ln(GNV_t/GNV_{t-1}) = (\ln(\overline{GNV}) - \frac{\sigma_{GNV}^2}{2\eta_{GNV}}) \times (1 - e^{-\eta_{GNV}\Delta t}) + \ln(GNV_{t-1}) \times e^{-\eta_{GNV}\Delta t} \quad (8)$$

$$\ln(GE_t/GE_{t-1}) = (\ln(\overline{GNV}) - \frac{\sigma_{GE}^2}{2\eta_{GE}}) \times (1 - e^{-\eta_{GE}\Delta t}) + \ln(GE_{t-1}) \times e^{-\eta_{GE}\Delta t} \quad (9)$$

As equações 8 e 9 têm a mesma estrutura da equação utilizada para testar a raiz unitária dos preços, escrita da seguinte forma:

$$\ln(GNV_t/GNV_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(GNV_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (10)$$

$$\ln(GE_t/GE_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(GE_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (11)$$

Como os parâmetros  $a$  e  $(b - 1)$  das equações 10 e 11 já foram estimados, pode-se então definir  $\eta$ ,  $\overline{GE}$  e  $\overline{GNV}$  ao igualar tais parâmetros às equações 8 e 9, ressaltando que a velocidade de reversão à média ( $\eta$ ) é igual a  $\eta = -\ln b/\Delta t$ . Portanto, o processo estocástico das séries de preço dos combustíveis (GNV e GE) é obtido pela parcela determinística de média (4), discretizada como na Equação 6 e pela parcela estocástica da Equação 5, obtendo-se (12) e (13), aplicando-se em seguida a simulação de Monte Carlo.

$$GNV_t = \exp(\ln(GNV_{t-1}) \times e^{-\eta_{GNV}\Delta t} + (\ln(\overline{GNV}) - \frac{\sigma_{GNV}^2}{2\eta_{GNV}}) \times (1 - e^{-\eta_{GNV}\Delta t}) + \sigma_{GNV} \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_{GNV}\Delta t}}{2\eta_{GNV}}} \varepsilon_{GNV}) \quad (12)$$



$$GE_t = \exp(\ln(GE_{t-1}) \times e^{-\eta_{GE}\Delta t} + (\ln(\overline{GE}) - \frac{\sigma_{GE}^2}{2\eta_{GE}}) \times (1 - e^{-\eta_{GE}\Delta t}) + \sigma_{GE} \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_{GE}\Delta t}}{2\eta_{GE}}} \varepsilon_{GE}) \quad (13)$$

Como os processos foram modelados com neutralidade a risco, foi utilizada a taxa de juros de longo prazo como taxa livre de risco ( $r$ ) de 0,165% a.m. ou 2% a.a. para a obtenção do valor presente dos benefícios da incorporação da flexibilidade do GNV, da seguinte forma:

$$VP_{\pi} = \sum_{t=1}^n \frac{\max(0; \pi)}{(1+r)^t} \quad (14)$$

em que:

$VP_{\pi}$  = valor presente dos ganhos mensais;

$r$  = taxa livre de risco.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

A partir de simulação com 10 mil interações, o valor da flexibilidade obtido foi de R\$ 25.815,06 ou 760,5% de retorno sobre o custo da conversão, para uma distância percorrida de 4.000 quilômetros e sem escassez do GNV. Excluindo-se o benefício do IPVA, que varia substancialmente de município para município do Brasil, tem-se o valor da flexibilidade de R\$ 20.693,77 ou 589,79% de retorno sobre o custo da conversão.

A decisão de conversão por parte de um proprietário do veículo se dará considerando a intensidade de uso do veículo e a percepção de escassez do GNV. Cabe, portanto, uma análise de sensibilidade que apresente o valor da flexibilidade a partir da conjugação de níveis de distância percorrida mensalmente com a probabilidade de ocorrência da escassez ( $p$ ), lembrando que o conceito de escassez é não encontrar um posto de abastecimento de GNV quando necessário. Desconsiderando o benefício do IPVA, os valores são apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 3 em termos gráficos.

Os resultados mostram que, considerando uma conversão de R\$ 3.000,00, a flexibilidade decorrente da conversão tem valor positivo a partir de uma combinação de 50% de ocorrência de escassez com uma distância percorrida de no mínimo 1.200 quilômetros por mês. Quando a ocorrência de escassez for alta,

chegando a 75%, o mínimo de distância percorrida para que o valor da opção se torne positivo deve ser em torno de 1.800 quilômetros por mês.

Caso não houvesse problema de escassez, assumindo somente a flexibilidade baseada na diferença de preço dos combustíveis, o valor da opção chegaria a 58% do valor da conversão numa distância percorrida de 800 quilômetros por mês. Considerando a ocorrência de escassez, é necessário aumentar a distância percorrida por mês para que o valor da opção seja compensador, pois esse problema é um agravante na decisão de conversão (Melaina e Bremson, 2008; Yeh, 2007).

**TABELA 4**

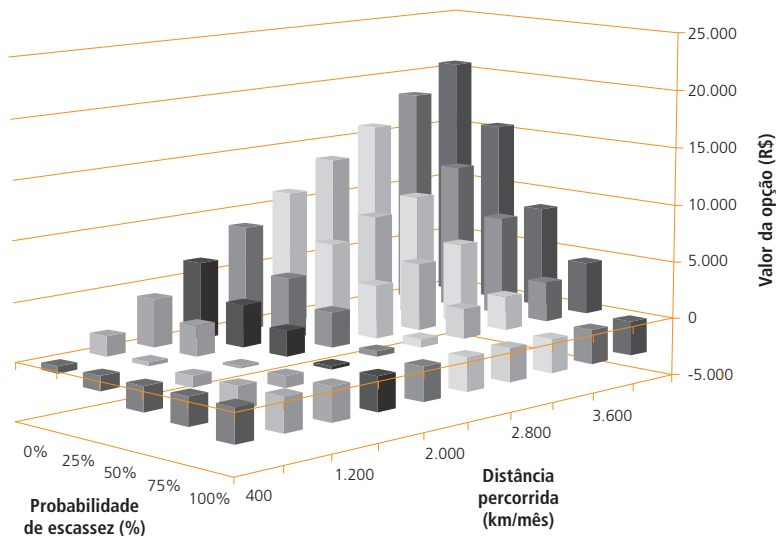
**O VALOR DA OPÇÃO DE CONVERSÃO – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA ESCASSEZ E INTENSIDADE DO USO DO VEÍCULO**

DISTÂNCIA PERCORRIDA (KM/MÊS)	PROBABILIDADE DE ESCASSEZ				
	0%	25%	50%	75%	100%
400	-632,72	-1.287,10	-2.186,83	-2.481,19	-3.000,00
800	1.738,69	361,71	-961,22	-1.969,30	-3.000,00
1.200	4.105,85	2.615,83	-196,11	-1.001,76	-3.000,00
1.600	6.483,72	3.615,87	2.200,54	-273,48	-3.000,00
2.000	8.855,56	5.186,20	2.977,61	476,84	-3.000,00
2.400	11.235,07	7.398,50	4.550,90	708,17	-3.000,00
2.800	13.582,49	9.135,74	5.705,39	2.557,09	-3.000,00
3.200	15.952,17	10.279,00	6.750,13	2.877,42	-3.000,00
3.600	18.303,27	12.342,84	8.404,47	3.452,34	-3.000,00
4.000	20.693,77	15.503,39	8.675,88	4.482,27	-3.000,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

GRÁFICO 3

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE QUANTO À INTENSIDADE DE USO DO VEÍCULO E À ESCASSEZ DO GNV



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização do gás natural como combustível de veículos no Brasil passou a ter relevância a partir de 1998. Atualmente é uma fonte de energia importante em grandes cidades brasileiras, notadamente São Paulo e Rio de Janeiro, em especial no segmento de transporte comercial (táxis e ônibus). Seu uso é uma alternativa que contribui para a redução do dano ambiental, por ser menos poluente que outros energéticos fósseis, além de ser encontrado de forma abundante na natureza. O gás natural é uma opção que contribui para a sustentabilidade. E é economicamente viável, o que se mostrou neste artigo, em termos de sua utilização em veículos leves, tanto melhor como argumento ao uso.

A opção pela conversão de um veículo movido a gasolina ou etanol para o GNV embute uma opção de flexibilidade, já que o veículo poderá utilizar tanto o combustível original quanto o GNV. Neste artigo analisou-se o valor de tal flexibilidade considerando um veículo *flex* convertido para o GNV, levando em conta a metodologia de opções reais e considerando o Movimento Geométrico Browniano para modelar as incertezas do preço do GNV e da gasolina ou etanol, sendo o GNV sempre o mais vantajoso. Considerando a possibilidade de

escassez do GNV, ainda não disponível para consumo com a capilaridade das redes de abastecimento da gasolina e do etanol, agregou-se uma parcela aleatória para refletir essa escassez na apuração do benefício da utilização do GNV. Essa parcela de escassez segue uma distribuição de Bernoulli com probabilidade  $p$  de ocorrer que, ao assumir valor 1, torna o preço do GNV impeditivo, simulando o efeito da escassez.

Os resultados indicam que para um veículo de R\$ 50.000,00 e um consumo de combustível relativo a 4.000 quilômetros percorridos mensalmente, o valor presente líquido da conversão adiciona R\$ 20.693,77 de valor, ou seja, 41,4% do valor do veículo, sem considerar qualquer benefício de redução no IPVA e desde que não haja escassez. Considerando ocorrência de escassez de 25%, este ganho monta 31% do valor do veículo ou 416,8% sobre o valor da conversão. Essa destacada vantagem econômica tem sido refletida na grande aceitação da conversão de veículos de uso intensivo, como táxis, em grandes cidades brasileiras em que há oferta do GNV. Para esses consumidores, a perda de espaço em bagageiro em função da alocação do cilindro do GNV não chega a ser um inconveniente. O ritmo de conversão tem-se dado mesmo num contexto em que os riscos de escassez ainda são relevantes.

Por simplificação, não foram considerados outros custos e benefícios associados à conversão, como o menor custo de manutenção dos motores, o menor custo de lubrificantes, a redução da poluição atmosférica, a redução de perdas de combustível, a perda de potência e a perda de espaço de bagageiro. Tampouco modelou-se uma variável macroambiental que pode influenciar o comportamento dos preços dos combustíveis: o marco regulatório. O efeito dessas variáveis pode ser considerado como sugestão para estudos futuros.

Por fim, vale novamente destacar que os resultados mostram que há um ganho econômico incorporado na opção de conversão de veículos *flex* para o gás natural que contribui para a sustentabilidade. A conversão é uma técnica simples e efetiva, no sentido de atender a um retorno econômico positivo com benefício ambiental.

## FLEX FUEL VEHICLES CONVERSION FOR NATURAL GAS: SHORTAGE PROBLEM AND CONTRIBUTION TO SUSTAINABILITY

190

### ABSTRACT

Among the existing cleaner energy sources, there is the vehicular natural gas (NGV). Its usage as an energy source in the transportation sector – consumption

is projected to increase around 52% worldwide between 2008 and 2035 – and it represents an alternative to reduce environmental damages caused by the increasing use of polluting energy sources. In the social, political and economic contexts, sustainable actions are expected by individuals and firms. Thus, this study aims to evaluate the option of flexible fuel vehicles conversion to natural gas (NGV), considering the contribution for the sustainability as the primary motivator. The real option methodology and Monte Carlo Simulation are employed to model it as an European option, since the decision to fuel the tank with NGV, gasoline or ethanol, in each period is independent of the previous one, such as Bastian-Pinto, Brandão and Alves (2010), regarding the low capillarity of NGV gas stations as an additional factor of uncertainty. Therefore, we calculate the value of the flexibility, as a result of such conversion, taking into account the uncertainties related to the fuel prices and the NGV shortage due to the low capillarity of NGV gas stations. The results show that for a 25% NGV shortage – considering the number of NGV gas stations in Rio de Janeiro – a minimum driving distance of 1.200 km is required per month in order to have a positive option value. Besides, the option value can reach 416.8% over the cost of conversion, or 31% of the vehicle value, without taking into account the tax benefits on this fuel given by the Brazilian regulation. The results also suggest that there is a gain embedded in the option related to sustainability, since NGV is a cleaner energy source.

## KEYWORDS

Natural gas vehicle. Fuel shortage. Real options. Sustainability. Fuel conversion.

## CONVERSIÓN DE VEHÍCULO FLEX PARA GAS NATURAL: PROBLEMA DE ESCASEZ Y APORTE A LA SOSTENIBILIDAD

### RESUMEN

Entre las fuentes de energía menos contaminantes, tiene el gas natural vehicular (GNV). Su uso como fuente de energía en el sector transporte – se proyecta el consumo en el orden del 52% a nivel mundial entre 2008 y 2035 – y representa una alternativa a reducir los daños al medio ambiente como resultado de la creciente utilización de fuentes de energía contaminantes. Teniendo en cuenta los contextos sociales, políticos y económicos, acciones sostenibles se espera de

los individuos y empresas. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo valorar la opción de convertir los vehículos flex para gas natural vehicular (GNV), teniendo la contribución a la sostenibilidad como un motivador primario. La metodología de las opciones reales y la simulación de Monte Carlo fueron empleadas para modelar la opción europea, ya que la decisión de llenar el tanque con GNV, gasolina o etanol, en cada período, es totalmente independiente la decisión de los períodos anteriores, como Bastian-Pinto, Brandão y Alves (2010), suponiendo la capilaridade de de estaciones de servicios como un factor de incertidumbre adicional. Así, se calcula el valor de la flexibilidad, obtenida por la conversión, teniendo en cuenta las incertidumbres sobre la evolución de los precios del combustible y la escasez de GNV por baja capilaridade de estaciones de servicios en ofrecer este combustible. Los resultados muestran que para una escasez de 25% – proporción aproximada de las estaciones de servicio en el estado de Rio de Janeiro en que hay oferta de GNV – hay una distancia mínima de 1200 kilómetros por mes para que el valor de la opción se convierte en positivo. Además, el valor de la opción puede alcanzar 416,8% de retorno sobre el costo de la conversión, o 31% del valor del vehículo, sin tener en cuenta el beneficio fiscal otorgado al combustible por la legislación brasileña. Los resultados muestran también que hay un beneficio incrustado en la opción analizada, relacionado con la sostenibilidad, ya que el GNV es una forma de energía más limpia.

## PALABRAS CLAVE

Gas natural vehicular. Escasez de combustible. Opciones reales. Sostenibilidad. Conversión de combustible.

## REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural de Biocombustíveis (2013). *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2013*. Recuperado em 22 setembro, 2013, de <https://www.anp.gov.br>.

Bastian-Pinto, C., Brandão, L., & Alves, M. L. (2010). Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. *Annual of Operating Research*, 176(1), 333-348.

Bermann, C. (2002). *Energia no Brasil. Para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C. L., Gomes, L. L., & Salgado, M. S. (2012). Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, 52(1), 10-23.

Brandão Filho, J. E. (2005). *Previsão de demanda por gás natural vehicular: uma modelagem baseada em dados de preferência declarada e revelada*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

- Coutinho, E. J. R., Prata, B. A., Arruda, J. B. F., & Nobre Jr, E. F. (2005, outubro) Teoria dos jogos: uma técnica de auxílio à tomada de decisão no setor de gás natural. *Anais do Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, Salvador, BA, Brasil, 3.
- Davis, G. A., & Owens, B. (2003). Optimizing the level of renewable electric R&D expenditures using real options analysis. *Energy Policy*, 31(15), 1589-1608.
- Dixit, A., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University: Press Princeton.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2012). *Balanço Energético Nacional 2012 Preliminar: ano base 2011*. Recuperado em 26 junho, 2012, de <https://ben.epe.gov.br>.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2021*. Recuperado em 22 setembro, 2013, de [https://www.epe.gov.br/PDEE/20130326\\_1.pdf](https://www.epe.gov.br/PDEE/20130326_1.pdf).
- GasNet. (2013). Postos de GNV. Recuperado em 22 setembro, 2013, de [http://www.gasnet.com.br/postos\\_gnv.asp](http://www.gasnet.com.br/postos_gnv.asp).
- Hilgemberg, E. M., & Guilboto, J. J. M. (2006). Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. *Nova Economia Belo Horizonte*, 16(1), 49-99.
- International Energy Agency. (2008). *World energy outlook 2008: executive summary*. Recuperado em 5 abril, 2011, de <http://www.iea.org>.
- International Energy Agency. (2010). *World energy outlook 2010: executive summary*. Recuperado em 5 abril, 2011, de <http://www.iea.org>.
- Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP. (2012). Radiografia do Setor: Mercado de GNV – Posição Atual. Recuperado em 26 junho, 2012, de <http://www.ibp.org.br>.
- Krüger, N. A., & Haglund, A. (2013). Consumer value of fuel choice flexibility – a case study of the flex-fuel car in Sweden. *European Transport Research Review*, 5(4), 207-215. doi: 10.1007/s12544-013-0104-2.
- Lee, S. C., & Shih, L. H. (2010). Renewable energy policy evaluating using real option model – the case of Taiwan. *Energy Economics*, 32(1), 567-578.
- Lemoine, D. M. (2010). Valuing plug-in hybrid electric vehicle's battery capacity using a real options framework. *The Energy Journal*, 31(2), 113-143.
- Martinez, A. L. (1998). Opções reais na análise de contratos de leasing. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, 28(2), 36-48.
- Melaina, M., & Bremson, J. (2008). Refueling availability for alternative fuel vehicles markets: sufficient urban station coverage. *Energy Policy*, 36, 3233-3241.
- Minardi, A. M. A. F. (2000). Teoria de opções aplicada a projetos de investimento. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, 40(2), 74-79.
- NGV Communications Group (2010). *Folha do GNV: Setembro de 2010*. Recuperado em 24 abril, 2011, de [www.ngvgroup.com](http://www.ngvgroup.com).
- Praça, E. R. (2003). *Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Prates, C. P. T., Pierobon, E. C., Costa, R. C., & Figueiredo, V. S. (2006). Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil. *BNDES Setorial*, 24, 35-68.
- Royer, R., Fettermann, D., & Silva, C. M. F. (2007, setembro). Processo decisório: atributos relevantes para taxistas optarem pelo GNV. *Anais do Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 31.

- Santos, E. M. (2002). *Gás natural – estratégias para uma energia nova no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Annablume.
- Schwob, M., Morales, M. E., Henriques, M., & Esteves, R. (2003, junho). Avaliação e otimização de dispositivos de conversão e adaptação de motores para o gás natural. *Anais do Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2.
- Trigeorgis, L. (2007). Opções reais e interações com a flexibilidade financeira. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, 47(3), 95-120.
- Tseng, C. L., & Barz, G. (2002). Short-term generation asset valuation: A real options approach. *Operations Research*, 50(2), 297-310.
- Tseng, C. L., & Lin, K. Y. A. (2007). Framework using two-factor price lattices for generations asset valuation. *Operations Research*, 55(2), 234-251.
- U. S. Energy Information Administration – EIA (2011). *International energy outlook 2011*. Recuperado em 26 junho, 2012, de <https://www.eia.gov>.
- Wooldridge, J. M. (2003). *Introductory econometrics: a modern approach*. Michigan State: Thomson South Western.
- Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: the case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 35, 5865-5875.