

O Valor da Flexibilidade de Veículos Convertidos para o Gás Natural Veicular (GNV)

Autoria: Graziela Fortunato, Sergio Augusto Pereira Bastos

Resumo

Este estudo tem como objetivo valorar a opção de compra na conversão de veículos leves *flex* para gás natural veicular, considerando a pouca capilaridade dos postos na oferta deste combustível. O uso do gás natural como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma alternativa menos danosa ao meio ambiente, além deste energético ser encontrado de forma abundante na natureza. Embora não seja uma fonte renovável, é uma alternativa ao uso de gasolina e etanol em veículos leves, uma vez que as propriedades químicas do gás natural permitem sua utilização como combustível em motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento. Há inúmeros outros fatores que têm influência na questão energética e que contribuem para a validação de formas alternativas de energia, como, por exemplo, o uso de gás natural como combustível (International Energy Agency, 2010). Veículos leves (automóveis particulares ou comerciais) podem ser fabricados com a possibilidade de uso de mais de um combustível (*flex*), usualmente gasolina e etanol, e, posteriormente, serem convertidos ao Gás Natural Veicular (GNV), configurando-se uma opção tripla de uso de combustíveis a cada abastecimento. A decisão de conversão depende de fatores econômicos e da disponibilidade do combustível, dada pela capilaridade dos postos que o oferecem. Neste estudo, utiliza-se a metodologia de opções reais para valorar a flexibilidade obtida pela conversão de veículos leves *flex*, movidos a gasolina e etanol, para o GNV, considerando que existem incertezas quanto à evolução dos preços dos combustíveis alternativos e o risco de escassez do GNV. Este estudo seguiu Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) ao reconhecer o valor da opção dos veículos *flex* dada a diferença de preços dos combustíveis, gasolina e etanol. O diferencial é a consideração do GNV e principalmente a escassez dos pontos de abastecimento, tornando um item relevante na avaliação. A decisão de conversão por parte de um dono de veículo se dará considerando a intensidade de uso do veículo e a percepção de escassez do GNV. Com isso, aplicou-se uma análise de sensibilidade que apresente o valor da flexibilidade a partir da conjugação de níveis de distância percorrida mensalmente com a probabilidade de escassez. Os resultados evidenciam que quando a escassez for alta, chegando a 70%, o mínimo de distância percorrida para que o valor da opção se torne positiva deve ser em torno de 2.000 km por mês. Além disso, há uma vantagem significativa nessa decisão, tanto em relação ao valor de conversão, como em relação ao valor do automóvel. O valor da opção chegou a R\$12.726,28 ou 324,21% de retorno sobre o custo da conversão, ou 25% do valor do veículo de R\$50.000 com 10% de escassez e considerando-se o benefício de redução no IPVA. Sem considerar o benefício de redução do IPVA, esse valor chega a R\$9.476,09 ou 215,87% de retorno sobre o custo da conversão ou 19% do valor do veículo de \$50.000.

1. Introdução

O setor de energia destaca-se por sua complexidade e pela amplitude econômica e social de qualquer movimento a que seja submetido. Dentre as inúmeras implicações da questão energética para a vida humana destacam-se duas grandes ameaças: (i) a inexistência de uma oferta segura de energia, incluindo tanto aspectos de garantia de fornecimento quanto de preços acessíveis e (ii) danos ao meio ambiente causados por fontes poluentes de energia (International Energy Agency, 2006). Ambas as ameaças impactam o bem estar e a qualidade de vida da população em geral; a primeira em sua relação direta com o crescimento econômico e a segunda em função dos desequilíbrios ambientais decorrentes de uma matriz energética poluente e não renovável.

Há inúmeros fatores que influenciam a problemática da energia como, por exemplo: (i) os eventos geopolíticos que desestabilizam as áreas produtoras de energia, com destaque para o petróleo; (ii) a importância do uso de energia para o crescimento econômico das nações; e (iii) a baixa segurança institucional e regulatória em alguns países produtores importantes. O setor de energia encontra-se num momento crucial em que os padrões de suprimento e de consumo são notadamente insustentáveis (International Energy Agency, 2008) e em que os governos e suas ações de mitigação das mudanças climáticas terão papel fundamental na modelagem do futuro do setor de energia (International Energy Agency, 2010). Neste contexto, a necessidade da integração de políticas energéticas e ambientais como, por exemplo, o incentivo à produção mais eficiente e menos danosa ao meio ambiente, é de extrema relevância.

O uso do gás natural como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma das alternativas que menos dano causa ao meio ambiente, sendo um energético encontrado de forma abundante na natureza. Dentre vários usos possíveis, as propriedades químicas do gás natural são tais que permitem substituir combustíveis de motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento, como é o caso daqueles movidos a gasolina e etanol. No Brasil, este combustível é o chamado Gás Natural Veicular (GNV).

Veículos leves, como automóveis particulares ou comerciais, podem ser fabricados com a possibilidade de uso de mais de um combustível (os chamados *flex*), usualmente gasolina e etanol, e, posteriormente, serem convertidos ao GNV. Conversão é o processo de adaptação do veículo que consiste na adição de um conjunto de equipamentos, chamado *kit* gás, que compreende um 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 *et al.*, 2003).

Um veículo movido a gasolina ou etanol embute a opção de ser convertido para o GNV. Feita a conversão, o veículo passa a ter mais uma opção da troca de uso de combustível. Do ponto de vista do dono do veículo, a cada utilização do mesmo a opção pelo combustível pode ser tomada, já que por meio de um simples mecanismo o sistema pode ser alterado para receber um ou outro combustível. De forma simplificada, podem-se admitir decisões sobre o combustível a cada abastecimento ou a cada uso (Bastian-Pinto, Brandão e Alves, 2010).

Existem vários benefícios econômicos do uso do GNV: (i) menor custo de combustível; (ii) redução do IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores, em alguns municípios; (iii) menor custo de manutenção dos motores em função do menor desgaste; (iv) menor custo de lubrificantes em função de maiores intervalos de troca; (v) redução de perdas de combustível que, por ser gasoso, necessita ser manipulado e armazenado isolado da atmosfera. Além disso, há uma redução da poluição atmosférica, pois a combustão tende a ser completa liberando apenas dióxido de carbono (CO₂) (Hilgemberg & Guilboto, 2006) e água (H₂O) (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 (fonte: <http://gaspoint.com.br>, acessado em 24/04/2011), dependendo do modelo do veículo. 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: (i) o custo de conversão, (ii) a evolução futura dos preços dos combustíveis em consideração e (iii) a possibilidade de escassez do GNV. Postos de abastecimento de GNV não são encontrados a cada cidade ou estrada com a mesma capilaridade dos postos de abastecimento de gasolina e etanol. Independentemente da decisão econômica baseada no preço dos combustíveis, o proprietário pode ser forçado a abastecer e utilizar a gasolina, que é um combustível mais caro, em detrimento do GNV que é mais barato, porém indisponível. A análise tradicional pelo método do Fluxo de Caixa Descontado não permite determinar o valor desta opção de conversão, portanto, o método de apreçamento por opções reais é mais indicado para esta avaliação, pois leva em consideração a flexibilidade e incertezas dos investimentos.

Dessa forma, o objetivo desse estudo é responder à seguinte pergunta: qual o valor da flexibilidade obtida pela conversão de um veículo leve movido a gasolina ou etanol para o gás natural veicular (GNV), utilizando a metodologia de opções reais?

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, é apresentado um breve levantamento dos trabalhos acadêmicos relacionados e uma retrospectiva sobre o mercado de GNV. Na seção 3 são mostradas a modelagem e a aplicação proposta, em seguida, a discussão dos resultados e uma análise de sensibilidade. Por fim, na seção 5, a conclusão.

2. Revisão Literatura

Veículos *flex* ou multi-combustível 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 através da metodologia de opções reais, o valor adicionado ao ativo. Assumindo um veículo de porte médio, o valor da opção calculado foi de 8% e 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% no caso de reversão à média e 6,4% no caso do Movimento Geométrico Browniano.

Considerando que a restrição de oferta é o maior impedimento à maior utilização do GNV, Coutinho *et al.* (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 do GNV em dois momentos: 2001 e 2006. Alguns atributos associados ao serviço do gás natural foram levantados no estudo: espera em postos, garantia de preço, redução de IPVA, oferta de postos, continuidade do abastecimento e confiabilidade do abastecimento; e associados ao produto gás natural: preço, impacto ambiental, segurança, custo de conversão, garantia de fábrica após conversão e fabricação com motor a gás e, novamente, a restrição de oferta ou escassez do GNV.

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 e concluiu que o uso de GNV possui um grande potencial de crescimento. Este 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 infra-estrutura de distribuição de gás natural e desenvolveu um modelo matemático e programação linear a ponto de reduzir o custo de distribuição.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2010, emitido pelo Ministério das Minas e Energia, a participação do gás natural na oferta de energia interna evoluiu da seguinte forma: 0,3% em 1970; 1,0% em 1980; 3,1% em 1990; 5,4% em 2000 e 8,7% em 2009, tendo um pico de 10,3% em 2008. Além disso, destaca-se uma evolução da parcela das fontes renováveis de 2004 (43,8%) para 2009 (47,3%). A Tabela 1 mostra a participação do gás natural na matriz energética brasileira, em termos de oferta interna de energia, comprovando sua importância e sua evolução.

Tabela 1 – Oferta Interna de Energia do Brasil

Fontes	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Energia não renovável	120.104	121.349	124.465	129.103	136.615	128.573
Petróleo e derivados	83.648	84.553	85.545	89.239	92.410	92.422
Gás natural	19.061	20.526	21.716	22.199	25.934	21.145
Carvão mineral e derivados	14.225	13.721	13.537	14.356	14.562	11.572
Urânio e derivados	3.170	2.549	3.667	3.309	3.709	3.434
Energia renovável	93.642	97.314	101.879	109.656	115.980	115.358
Hidráulica e eletricidade (*)	30.804	32.379	33.537	35.505	35.412	37.064
Lenha e carvão vegetal	28.203	28.468	28.589	28.628	29.227	24.610
Derivados da cana-de-açúcar	28.775	30.147	32.999	37.847	42.866	44.447
Outras renováveis	5.860	6.320	6.754	7.676	8.475	9.237
Total	213.746	218.663	226.344	238.759	252.595	243.931

Fonte: Balanço Energético Nacional 2010, <https://ben.epe.gov.br>, acessado em 24/04/2011.

Valores em mil tep (tonelada equivalente de petróleo).

(*)1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica).

Segundo Prates *et al.* (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 venda foi o segmento industrial (57%), seguido do segmento de geração e co-geração de eletricidade (27,1%), consumo automotivo (13,2%), residencial (1,5%) e 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 28,0%.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2010 da Tabela 2, nota-se a evolução do segmento automotivo no consumo total do gás natural no Brasil. A participação do GNV evolui de um patamar de 3,1% em 2000 para 9,7% em 2009, tendo apresentado um patamar ainda maior em 2007 (11,1%). Destaca-se também a dependência brasileira em relação ao gás importado, também destacado no estudo de Prates *et al.* (2006). Essa dependência ainda relevante mostra que a importação de 2009 que representou 39,5% do consumo está claramente em queda, tendo chegado a um patamar máximo de 45,0% em 2007.

Tabela 2 – Produção e Consumo de Gás Natural

Fluxo	1970	1980	1990	2000	2007	2008	2009
Produção	1.264	2.205	6.279	13.283	18.152	21.593	21.142
Importação	0	0	0	2.211	10.334	11.348	8.543
Perdas e ajustes (*)	-1.147	-1.123	-2.116	-5.403	-5.573	-6.105	-8.063
Consumo total	117	1.082	4.163	10.091	22.900	26.833	21.620
Transformação	37	79	749	2.126	5.627	8.284	4.693
Consumo final	80	1.003	3.414	7.965	17.273	18.549	16.927
Não-energético	3	452	1.010	831	877	807	795
Energético	77	551	2.404	7.134	16.396	17.742	16.132
Setor energético	74	188	859	2.278	4.013	5.227	5.414
Residencial	0	0	5	114	251	260	271
Comercial / público	0	0	3	86	377	197	204
Transportes	0	0	2	313	2.559	2.453	2.106
Industrial	3	363	1.535	4.343	9.196	9.605	8.137

Fonte: Balanço Energético Nacional 2010, <https://ben.epe.gov.br>, acessado em 24/04/2011.

Valores em 10⁶ m³.

(*) Inclusive não-aproveitada e reinjeção.

Existem dois fatores que têm maior impacto 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 grande dependência brasileira do gás importado da Bolívia e os problemas decorrentes, conforme observado nos últimos anos, e que indicam um risco de abastecimento futuro (Prates *et al.*, 2006). Quanto ao segundo, destaca-se 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 na Figura 1, embora tenha recuado em 2007 e 2008 devido ao risco de desabastecimento elevado durante aquele período. Há crescente aceitação do uso do GNV em veículos particulares e a conversão de veículos para o gás natural já é uma realidade para táxis e transporte público, no entanto o patamar de conversões caiu em 2009 e 2010 para pouco mais de 2.000 conversões / mês (fonte: Folha do GNV). Em setembro de 2010, a frota brasileira de veículos convertidos a GNV era de 1.646.955 (fonte: Folha do GNV, www.ngvgroup.com, acessado em 24/04/2011). A avaliação custo x benefício, ainda que realizada em termos simplistas, é considerada generalizadamente 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, apesar da frota de veículos a gás natural ser a segunda maior do mundo, atrás somente da Argentina.

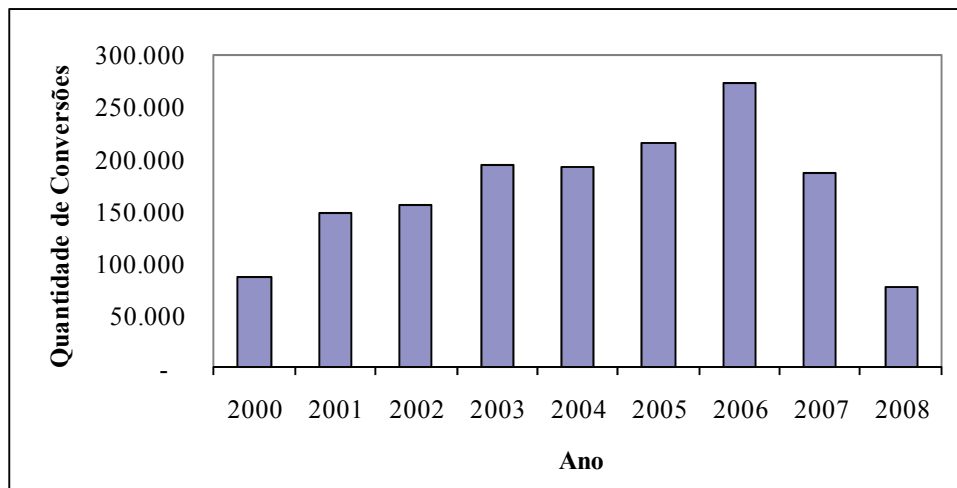


Figura 1. Evolução das Conversões para GNV

Fonte: IBP – Instituto Brasileiro do Petróleo.

Outra barreira ao desenvolvimento do mercado é a rede de distribuição pouco extensa, destacado 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. Lemoine (2010) segue a mesma linha de estudo ao avaliar veículos elétricos que permitem alternar entre eletricidade e gasolina, diesel ou etanol como combustíveis. Essa flexibilidade está condicionada à aquisição de bateria adicional que com a metodologia de opções reais é considerada.

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 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) nesta área foi altamente questionada por analistas de mercado. Esse questionamento desconsidera a preocupação do governo na 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. Com isso, não há incentivo em investir em P&D. Os investimentos em P&D nesta área ainda esbarram nos altos custos, 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.

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 (Deng *et al.*, 2001). 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 na questão de GNV ou mesmo energia renovável não é tão vasta, mas é um campo que pode ser explorado, principalmente na aplicação da metodologia de opções reais. Portanto, as pesquisas estão longe de ser esgotadas. 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. Metodologia

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 para gás natural veicular (GNV). Para isso, considerou-se o caso de um consumidor que possui um veículo convertido para GNV. Uma vez convertido, o consumidor passa a ter a opção, que é a de escolher o combustível mais vantajoso economicamente para o seu uso. Emprega-se o modelo de opções reais, através da simulação de Monte Carlo, considerando que a opção de escolha 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 ANP (Agência Nacional de Petróleo), correspondendo a valores médios mensais no Brasil. Os preços são trazidos a valores equiparáveis pelo IGP-M, índice de preços mais usado no Brasil. Logo, as séries utilizadas de preços históricos, que compreendem o período de novembro de 2003 a março de 2011, se encontram em Reais de março de 2011. 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 (fonte: Folha do GNV – Setembro de 2010, www.ngvgroup.com, acessado em 24/04/2011). Como o ponto de partida foi o carro *flex* – gasolina e etanol – foi considerada a série dos menores preços mensais entre gasolina e etanol para fins de comparação com o GNV, o que foi chamando 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 na Figura 2. Os valores encontram-se em Reais por litro de gasolina.

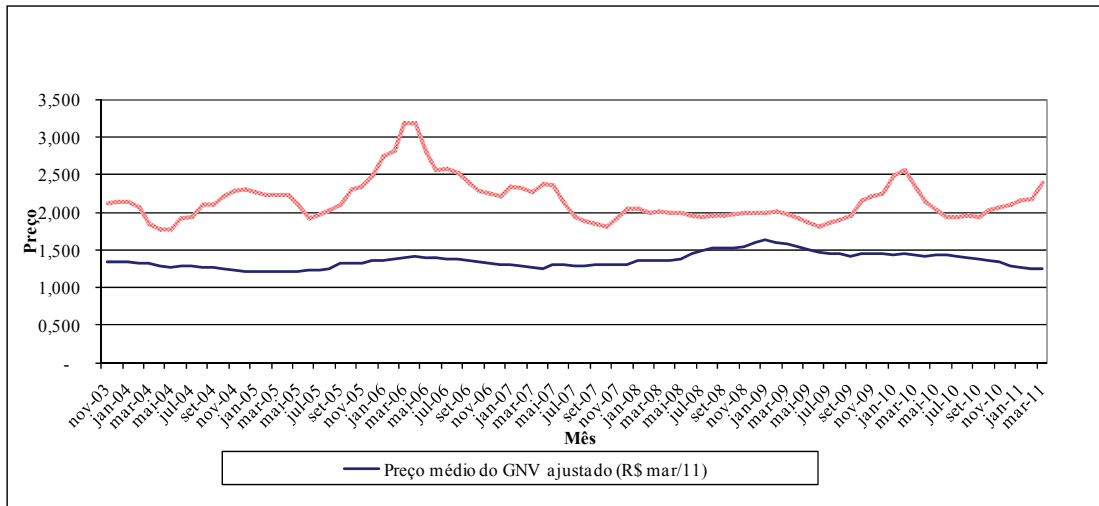


Figura 2. Evolução dos Preços Médios Ajustados de GNV e Gasolina ou Etanol (GE). Valores em R\$ de março de 2011 / litro de gasolina.

É importante destacar que no período de novembro de 2003 a março de 2011, em todos os meses, o preço médio do etanol foi menor em relação à 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% (fonte: Folha do GNV – Setembro de 2010, www.ngvgroup.com, acessado em 24/04/2011). Caso esse rendimento fosse de 70% do etanol em relação à gasolina (Bastian-Pinto, Brandão e Alves, 2010), haveria 9 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.

A diferença de preços entre GNV e GE é flagrante. Também por uma simples observação da Figura 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 1.781 postos de abastecimento de GNV no Brasil, dos quais 480 no estado de São Paulo, sendo 229 na cidade de São Paulo, e 508 no estado do Rio de Janeiro, sendo 271 na cidade do Rio de Janeiro (fonte: Folha do GNV – Setembro de 2010, www.ngvgroup.com, acessado em 24/04/2011). Essa rede 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, cujo fator decisão não é somente o preço, mas a escassez dos pontos de abastecimento, o que difere de Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) e torna um tópico relevante de avaliação.

Para determinar o valor da opção de um veículo movido a GNV, deve-se levar em consideração os benefícios da incorporação da flexibilidade do GNV, ou seja, o ganho mensal provocado pela conversão. Tal ganho resulta dos seguintes componentes: (i) diferença de preço entre GNV e gasolina dado um determinado consumo mensal; (ii) redução do IPVA em 75%, da seguinte forma:

$$\pi = \left[\frac{\delta \cdot \Delta \text{preço}}{\theta} \right] + \left[IPVA \cdot \kappa_{IPVA} \cdot \kappa_{Vo} \right] \quad (1)$$

onde: π = Ganho mensal dada pela conversão do veículo para GNV

δ = Distância total percorrida por mês (km/mês)
 Δ preço = Diferença de preço médio entre GNV e gasolina/etanol (GE)
 θ = Consumo do veículo a gasolina (km/l)
 IPVA = Valor do veículo x alíquota imposto (IPVA)
 k_{IPVA} = Redução IPVA
 k_{V_0} = Fator de redução de valor do veículo para cálculo do IPVA

Os parâmetros utilizados para calcular o ganho mensal estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – 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%

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 raiz unitária da série de preços de ambos os combustíveis P_t como $\ln(P_t) = a + b \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t$, que pode ser descrito pela Equação (2):

$$\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

onde: P_t – preço dos combustíveis GE e GNV

$$\varepsilon_t \sim Normal(0, \sigma^2 / N)$$

Substituindo o preço do GNV e da gasolina ou etanol (GE), o que for menor, na Equação (2), e aplicando regressão linear, testa-se a hipótese nula de existência de raiz unitária da série de preços, comparando a estatística t do regressor $(b-1)$ com os valores críticos do teste *Dickey-Fuller* (Wooldridge, 2003).

Os valores apresentados na Tabela 4 referem-se à regressão linear descrita acima com as séries de preço de GNV e GE, resultado das Equações (3) e (4), respectivamente

$$\ln(GNV_t / GNV_{t-1}) = a_{GNV} + (b_{GNV} - 1) \ln(GNV_{t-1}) + \varepsilon_{GNVt} \quad (3)$$

$$\ln(GE_t / GE_{t-1}) = a_{GE} + (b_{GE} - 1) \ln(GE_{t-1}) + \varepsilon_{GEt} \quad (4)$$

Tabela 4 – Resultado do Teste de Raiz Unitária para as Séries de Preços GNV e GE

Variáveis	a	(b-1)	t	b
GNV	0,0059	-0,0219	-0,8444	0,9781
GE	0,0606	-0,0781	-1,8068	0,9219

Aplicando o teste para as séries de preços a um nível de significância de 10% (valor crítico de -2,57), há evidências de que tanto a série de preços de GNV quanto a série de preços de gasolina ou etanol (GE) possuem raiz unitária, configurando que ambas as séries podem ser modeladas por um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Com isso, podem ser descritas das seguintes formas:

$$\text{GNV:} \quad d\text{GNV} = \mu_{\text{GNV}} dt + \sigma_{\text{GNV}} dz_{\text{GNV}} \quad (5)$$

$$\text{GE:} \quad d\text{GE} = \mu_{\text{GE}} dt + \sigma_{\text{GE}} dz_{\text{GE}} \quad (6)$$

onde: $d\text{GNV}$ = variação de preço do GNV no período de tempo dt

$d\text{GE}$ = variação de preço do GE no período de tempo dt

μ_{GNV} = *drift* do GNV = média aritmética da série de preços do GNV:

$$\ln(\text{GNV}_t / \text{GNV}_{t-1}) + \sigma^2_{\text{GNV}} / 2 \quad (7)$$

μ_{GE} = *drift* da GE = média aritmética da série de preços de GE:

$$\ln(\text{GE}_t / \text{GE}_{t-1}) + \sigma^2_{\text{GE}} / 2 \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{GNV}} = \text{volatilidade do GNV} = \text{desvio padrão da série: } \ln(\text{GNV}_t / \text{GNV}_{t-1}) \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{GE}} = \text{volatilidade da GE} = \text{desvio padrão da série: } \ln(\text{GE}_t / \text{GE}_{t-1}) \quad (10)$$

dz_{GNV} = processo de Wiener para variáveis incertas = $\varepsilon_{\text{GNV}} dt^{1/2}$, onde $\varepsilon_{\text{GNV}} \approx N(0,1)$

dz_{GE} = processo de Wiener para variáveis incertas = $\varepsilon_{\text{GE}} dt^{1/2}$, onde $\varepsilon_{\text{GE}} \approx N(0,1)$

$dz_{\text{GNV}} \cdot dz_{\text{GE}} = \rho dt$, correlação entre as séries de preço

O *drift* e a volatilidade das séries de preços de GNV e gasolina ou etanol (GE) foram calculados conforme as Equações 7, 8, 9 e 10, respectivamente, assim como a correlação entre elas, considerando intervalos de tempo mensais. Os resultados encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5 – O *Drift*, Volatilidade e Correlação das Séries de Preços

	μ	σ
GNV	-0,07%	1,76%
GE	0,26%	4,93%
$\rho_{\text{GNV-GE}}$	0,1452	

Nota-se que tanto os *drifts* quanto as volatilidades de ambas as séries são baixas. Os preços da gasolina derivam do fato de que existe um *player* dominante – a Petrobras, empresa estatal que tende a seguir uma política de estabilidade de preços. Já os preços do etanol seguem leis de mercado. Embora a oferta de gás natural tenha uma parcela significativa importada, a valorização do Real na maior parte da série histórica contribuiu para a estabilidade dos preços em Reais.

Os processos estocásticos para os preços do GNV e da gasolina ou etanol foram determinados a partir da integração de Itô (Dixit & Pindick, 1994) e discretizadas em períodos mensais, seguindo as seguintes equações:

$$\text{GNV}_t = \text{GNV}_{t-1} e^{[(\mu_{\text{GNV}} - \frac{\sigma^2_{\text{GNV}}}{2})\Delta t + \sigma_{\text{GNV}} \varepsilon_{\text{GNV}} \sqrt{\Delta t}]} \quad (11)$$

$$\text{GE}_t = \text{GE}_{t-1} e^{[(\mu_{\text{GE}} - \frac{\sigma^2_{\text{GE}}}{2})\Delta t + \sigma_{\text{GE}} \varepsilon_{\text{GE}} \sqrt{\Delta t}]} \quad (12)$$

onde: Δt = 1 mês ou 1/12 anos.

Considerando a possibilidade de escassez do GNV, ou seja, a possibilidade do consumidor não conseguir abastecer o tanque de combustível com o GNV sendo esta a melhor escolha naquele momento em termos de preço, foi acrescentado ao cálculo do diferencial de preços dos combustíveis ($\Delta\text{preço}$) uma componente estocástica de escassez. A partir de uma função randômica de $N(0,1)$, considerou-se uma probabilidade de 10% de falta do GNV, o que elevaria seus preços a valores superiores aos da gasolina ou etanol, resultando em impacto nulo. A relação de consumo entre o GNV, gasolina e etanol, considerando um veículo de porte médio é de, respectivamente, 10 km/m³, 8 km/l e 7km/l, respectivamente, segundo a Folha do GNV- Setembro de 2010 (www.ngvgroup.com, acessado em 26/04/2010). 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%.

Como os processos foram modelados com neutralidade a risco, foi utilizada a taxa de juros de longo prazo (TJLP) como taxa livre de risco (r) de 0,327% a.m. ou 4% a.a. para a obtenção do valor presente dos benefícios da incorporação da flexibilidade do GNV, da seguinte forma:

$$VP_{\pi} = \sum_{t=1}^{89} \frac{\max imo(0; \Delta\text{preço})}{(1+r)^t} \quad (13)$$

onde: VP_{π} = Valor presente dos ganhos mensais
 r = taxa livre de risco

4. Análise dos Resultados

A partir de simulação com 10.000 interações, o valor da flexibilidade obtido foi de R\$12.726,28 ou 324,21% de retorno sobre o custo da conversão, com 10% de escassez e considerando-se o benefício de redução no IPVA. Excluindo-se o benefício do IPVA, que varia substancialmente de município para município do Brasil, tem-se o valor da flexibilidade de R\$9.476,09 ou 215,87% de retorno sobre o custo da conversão, também com 10% de escassez.

A decisão de conversão por parte de um dono de 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 escassez. Isso é apresentado na Tabela 6, desconsiderando o benefício do IPVA.

Tabela 6 – O Valor da Opção de Conversão – Análise de Sensibilidade para Escassez e Intensidade do Uso do Veículo

Distância percorrida mensal (km/ mês)	Probabilidade de Escassez							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
400	(882,36)	(1.208,79)	(1.200,99)	(1.636,12)	(1.656,94)	(2.110,61)	(2.148,86)	(2.266,89)
800	1.235,29	393,67	104,55	257,43	(380,52)	(889,72)	(1.029,90)	(1.948,00)
1.200	3.352,93	2.611,85	1.984,36	1.873,97	69,75	(372,62)	(112,39)	(798,25)
1.600	5.470,57	4.606,00	3.588,86	2.049,61	1.235,20	926,41	215,04	(188,40)
2.000	7.588,21	6.205,45	5.129,44	5.305,73	3.434,48	2.253,22	2.097,71	115,87
2.400	9.705,86	9.476,09	7.622,47	4.561,40	4.005,50	2.773,67	2.503,95	1.285,89

Os resultados mostram que, considerando uma conversão de R\$ 3.000,00, tal como apresentado na Tabela 3, a flexibilidade decorrente da conversão tem valor positivo a partir de uma combinação de 30% de escassez com uma distância percorrida de no mínimo 800 km por mês. Quando a escassez for alta, chegando a 70%, o mínimo de distância percorrida para que o valor da opção se torne positiva deve ser em torno de 2.000 km por mês.

Caso não houvesse problema de escassez, assumindo somente a flexibilidade baseada na diferença de preço dos combustíveis, o valor da opção chega a 40% do valor da conversão numa distância percorrida de 800 km por mês. Esse valor cresce substancialmente quanto maior for a distância. Com 1.200 km mês, o valor da opção mais que compensa o valor da conversão.

Considerando a 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. O valor da opção compensará no cenário de escassez for de 20% com uma distância percorrida por mês de 1.600km. Quando a escassez for de 40%, por exemplo, o valor da opção será equiparado ao valor da conversão quando o veículo percorrer 2.000 km/mês.

Na Figura 3, pode-se observar como o valor da opção se altera em função da escassez do GNV e distância percorrida em km por mês.

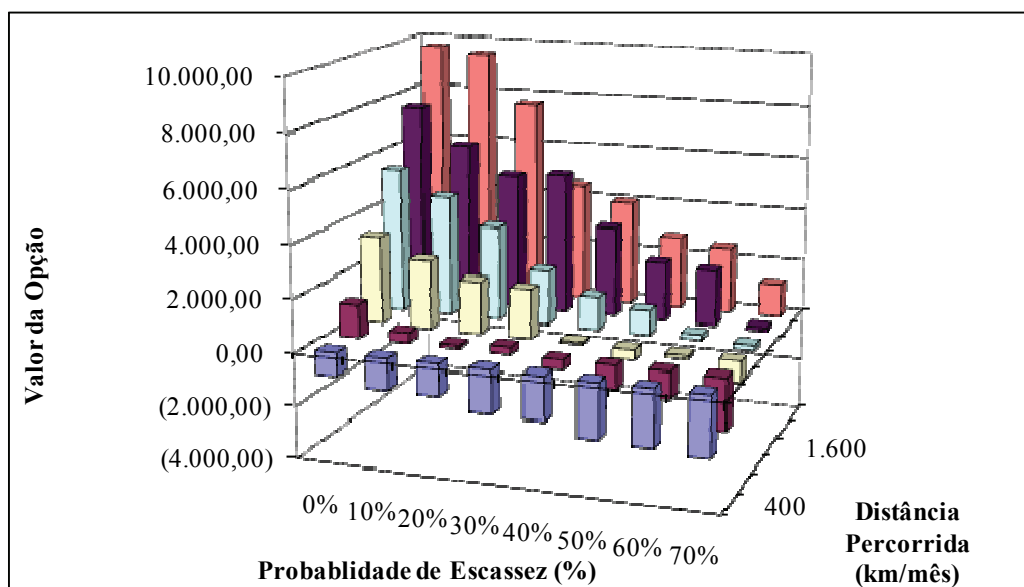


Figura 3. Análise de sensibilidade quanto à intensidade de uso do veículo e à escassez do GNV.

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 relevante em grandes cidades brasileiras, notadamente São Paulo e Rio de Janeiro, principalmente no segmento comercial (táxis e ônibus). 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. Nesse 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, destes 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 estocástica para refletir tal escassez na apuração do benefício da utilização do GNV.

Os resultados indicam que para um veículo no valor de R\$ 50.000,00 e um consumo de combustível relativo a 2.400 km percorridos mensalmente, o valor presente líquido da conversão adiciona R\$ 9.476,09 de valor, ou seja, 19,0% do valor do veículo, sem considerar qualquer benefício de redução no IPVA, o que elevaria o ganho para R\$12.726,28. 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 mala. Tampouco se modelou uma variável macroambiental que pode influenciar no comportamento dos preços dos combustíveis: o marco regulatório. O efeito dessas variáveis pode ser considerado como sugestões para estudos futuros.

6. Referências Bibliográficas

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 Filho, J. E. (2005). *Previsão de Demanda por Gás Natural Veicular: 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.

Deng, S. J., Johnson, B., & Sogomonian, A. (2001). Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission assets. *Decision Support Systems*, 30(3), 383-392.

Dixit, A., & Pindyck, R.S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University: Press Princeton.

EPE – Empresa De Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional 2010: ano base 2009*. Recuperado em 10 março, 2011, de <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>.

Hilgemberg, E. M., & Guilboto, J. J. M. (2006). Uso de Combustíveis e Emissões de CO2 no Brasil: Um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. *Nova Economia Belo Horizonte*, 16(1), 49-99.

International Energy Agency. (2006) *World energy outlook 2006: executive summary*. Recuperado em 5 abril, 2011, de <http://www.iea.org>.

_____. *World energy outlook 2008: executive summary*. Recuperado em 5 abril, 2011, de <http://www.iea.org>.

_____. *World energy outlook 2010: executive summary*. Recuperado em 5 abril, 2011, de <http://www.iea.org>.

Lee, S. C., & Shih, L. H. (2010). Renewable energy policy evaluation 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.

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.

Tseng, C. L., & Barz, G. (2002). Short-term generation asset valuation: A real options approach. *Operations Research*, 50(2), 297-310.

_____, & Lin, K. Y. A (2007). Framework using two-factor price lattices for generation Asset valuation. *Operations Research*, 55(2), 234-251.

Wooldridge, J. M. (2003). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Michigan State: Thomson South Western.