

Modelo Dinâmico do Consumo de Gás Natural Veicular em Santa Catarina

Claudio Gargioni Schuch (SCGAS) claudio.schuch@scgas.com.br

Mauricio Uriona Maldonado (UFSC) m.uriona@ufsc.br

Caroline Rodrigues Vaz (UFSC Blumemau) caroline.vaz@ufsc.br

Resumo:

O gás natural é o combustível fóssil que emite a menor quantidade de dióxido de carbono (CO_2) na queima, e vem ganhando espaço na matriz energética nacional. Uma de suas principais aplicações é no mercado automotivo, na forma de Gás Natural Veicular (GNV). O modelo de negócio envolve um contrato de compra de gás pela distribuidora, que distribui o gás para os postos, onde os veículos abastecem com GNV para viabilizar o negócio. Assim, este artigo tem o objetivo simular um modelo, usando sistemas dinâmicos para o consumo de GNV no estado de Santa Catarina. Como modelos de referência, são utilizados dados históricos de consumo de GNV, crescimento da frota de veículos do estado e de conversão de veículos para o consumo do gás natural. O modelo dinâmico é dividido em três blocos: o primeiro modela o crescimento exponencial do total da frota do estado. O segundo bloco modela a conversão de veículos para o consumo de GNV, baseado no modelo de difusão da inovação de Bass. O terceiro bloco modela o estoque de gás natural em Santa Catarina, com fluxo de entrada linear e fluxo de saída controlado pelo estoque de carros convertidos. Para ajustar as oscilações de mercado, foram adicionadas variáveis exógenas de variação de consumo e conversão de veículos. O resultado final mostra um modelo dinâmico aderente às curvas históricas e coerente com o processo de consumo de GNV. No entanto, as variáveis exógenas devem ser melhor entendidas em trabalhos futuros, para realizar prospecção de cenários futuros.

Palavras chave: Dinâmica de Sistemas, Gás Natural Veicular, Modelo de Bass.

A Dynamic System Model of Natural Gas Vehicle Consumption in Santa Catarina State

Abstract

Natural gas is the fossil fuel that emits least amount of carbon dioxide (CO_2) when burning, and has been gaining space in the national energy matrix. One of its main applications is in the automotive market, as Natural Gas Vehicle (NGV). The business model involves a gas purchase contract by the distributor, which distributes the gas to stations, then vehicles supply with NGV to make the business viable. Thus, this article aims to define a dynamic model that simulates Natural Gas Vehicle (NGV) consumption in Santa Catarina State. As reference models, were used data from historical consumption of NGV, vehicle growing and vehicle conversion to NGV in Santa Catarina. The model was made in three parts: first part models exponential growth of the vehicles in Santa Catarina. Second part models conversion to NGV consumption, based on Bass Diffusion Model. Last part models the stock of Natural Gas in Santa Catarina State, defining linear input flow, and output flow controlled by converted vehicle's stock. In order to adjust market oscillations, exogenous variables were included in model. There are: consumption variation of each vehicle and vehicle's conversion to NGV. The final

result shows a model that fits to historical data and aligned to NGV consumption process. However, exogenous variables should be clearly understood in future works, in order to prospect future scenarios.

Key-words: System Dynamics, Natural Gas Vehicle, Bass Model.

1. Introdução

O gás natural é um combustível fóssil, composto essencialmente por metano (aproximadamente 90% do seu volume), que quando queimado, produz uma combustão limpa e de grande quantidade energética. Dentre os combustíveis fósseis, é o que emite menores taxas de dióxido de carbono (CO_2), sendo considerado um combustível com grandes vantagens ambientais e alta eficiência energética (MONTEIRO; SILVA, 2010).

Na matriz energética nacional, o gás natural representava 12,3% em 2016, atrás apenas de Petróleo (44,2%) e Produtos de cana de açúcar (17,2%), com média diária de produção de 103,8 milhões de m^3/dia , e 32,1 milhões de m^3/dia de volume de importação (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL), 2017). Atualmente, a produção está em 107 milhões de m^3/dia , dos quais 82% estão concentrados nos estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Amazonas (ANP, 2018).

Uma das aplicações do gás natural é como combustível automotivo, conhecido como Gás Natural Veicular (GNV). Conforme relatório da ABEGÁS (ABEGÁS, 2018), em dezembro de 2017, o Brasil consumiu 70,7 milhões de m^3/dia de gás natural, dos quais 6,1 milhões de m^3/dia (8,6%) foram destinados ao consumo veicular. Em Santa Catarina, o consumo foi de 1.745 mil m^3/dia , sendo 308 mil m^3/dia (17,7%) destinados ao consumo veicular.

O sistema que compõe a adoção e o consumo de GNV é interessante. Há o modelo de negócio, que envolve contrato de compra de gás pela distribuidora e que exige uma compra mínima, conhecido como *take or pay*. Esta distribui o gás para os postos, que precisam de veículos que abasteçam com GNV para viabilizar o negócio. A adoção de veículos depende de alguns fatores, porém, os mais importantes talvez sejam a competitividade da tarifa frente aos combustíveis concorrentes (gasolina e etanol) e a disposição do cliente em converter o veículo para o consumo de GNV.

Os contratos de compra e venda no setor são do tipo *take or pay*. Este termo representa uma quantidade mínima contratada que deve ser paga, independente de ser utilizada ou não, e visa reduzir riscos de retorno financeiro para os produtores de gás natural (CARVALHINHO FILHO, 2003). Por causa desta característica, o distribuidor deve ser assertivo nas previsões de consumo de gás, reduzindo assim os custos com penalidades e desperdícios.

Logo, o uso da dinâmica de sistemas se justifica, pois o sistema de adoção e consumo de GNV é um sistema complexo que envolve um conjunto de atores e a interação entre eles ao longo do tempo, e é importante entender o comportamento para fazer previsões mais assertivas e reduzir o risco de penalidades. Assim, como primeiro passo, o objetivo do artigo é criar um modelo dinâmico que reproduza a série histórica de consumo de GNV em Santa Catarina e que caracterize os processos decisórios do setor.

O artigo está estruturado em seis seções, sendo a primeira composta por esta introdução. A segunda seção, apresenta o referencial teórico, sendo dinâmica de sistemas e modelo de Bass. A terceira seção mostra a hipótese dinâmica utilizada para a pesquisa no estado de Santa Catarina. A quarta seção descreve sobre as etapas da construção do modelo dinâmico. A

quinta seção discute os resultados encontrados para os cenários das simulações. E por fim, a sexta seção mostra as considerações finais do estudo. O procedimento metodológico, utilizado neste artigo, segue a proposta de Sterman, apresentado na Figura 1 (STERMAN, 2000).



Figura 1. Etapas do Processo de Modelagem em Dinâmica de Sistemas. Fonte: Sterman (2000).

2. Referencial teórico

2.1. Dinâmica de sistemas

Segundo Sterman, “dinâmica de sistemas é um método para potencializar o aprendizado em sistemas complexos” (STERMAN, 2000). (MEADOWS, 2008) define sistema como sendo um conjunto de elementos organizados, interligados, e que geram um conjunto de comportamentos dentro de uma determinada estrutura. “Dinâmica” (FORD, 1999) se refere aos padrões fundamentais de mudança com relação ao tempo (crescimento, decaimento e oscilação). A complexidade dinâmica pode ser definida em um sistema que possua as seguintes características (STERMAN, 2000):

- Resistência às mudanças;
- Feedback;
- Não-linearidade;
- Tempo de resposta demorado;
- Estoques e fluxos.

Logo, a dinâmica de sistemas pretende compreender o comportamento dinâmico, ao longo do tempo, de sistemas que possuam as características apresentadas por Sterman. Ford (1999) ainda destaca que a proposta da dinâmica de sistemas é aumentar a compreensão geral do comportamento do sistema e não realizar previsões.

Para a modelagem de sistemas dinâmicos, Olaya (2015) sugere a abordagem sob os conceitos de mentalidade operacional (*operational thinking*) e observação da ação dos atores (*agency*). Esta abordagem implica em entender como o sistema funciona em termo de suas operações; na estrutura de ações do sistema, na relação entre seus atores e suas tomadas de decisão, e no impacto das decisões em todo o sistema.

2.2. Modelo da difusão da inovação de Bass

Frank Bass (BASS, 1976) propôs um modelo no qual a inclusão inicial de novos produtos é relacionada diretamente com a quantidade de potenciais adotantes. A característica dinâmica do modelo implica em um crescimento exponencial até um determinado nível, seguido de um decaimento exponencial.

O crescimento do modelo de Bass é baseado em duas forças: a primeira é a adoção pelo marketing, relacionado ao lançamento do produto. A segunda força é a adoção boca a boca, relacionada com a divulgação das pessoas que estão utilizando o produto (MAHAJAN; MULLER; BASS, 1990).

O modelo de Bass é um dos modelos mais populares para simular crescimento de novos produtos (STERMAN, 2000), e há estudos utilizando o modelo em áreas como: marketing (MAHAJAN; MULLER; BASS, 1990), inovação radical (NEUMANN et al., 2014), tecnologia fotovoltaica (BAUR; URIONA, 2018), produtos eletrônicos (FIGUEIREDO, 2009), combustíveis alternativos (BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA, 2017) e gás natural (ZHU; TOKIMATSU; MATSUMOTO, 2015).

3. Hipótese dinâmica

O modelo dinâmico adota a premissa de que deve haver um fluxo de conversão de veículos para que haja consumo de GNV. As variáveis utilizadas para modelar o processo são: i) veículos licenciados; ii) veículos convertidos; iii) veículos consumindo GNV e iv) disponibilidade de gás natural para abastecer os veículos. Para estas variáveis, leva-se em conta as informações dos referenciais teóricos obtidos em ANFAVEA (2018) e SCGAS (2018), e taxas de: i) compra de veículos e ii) conversão de veículos para consumo de GNV.

Competitividade do preço do GNV não será abordada, assim como outras questões relacionadas a mercado e cenário macroeconômico. Estes fatores estarão intrínsecos em duas variáveis exógenas: Taxa de conversão de veículos e Consumo médio de GNV por veículo. Demais variáveis são desconsideradas do modelo. O levantamento das variáveis pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis do modelo

Endógenas	Exógenas	Excluídas
Veículos licenciados	Consumo médio de GNV por veículo	Fluxo de abandono de veículos
Veículos convertidos para GNV	Taxa de conversão de veículos	Cenário macroeconômico
Veículos consumindo GNV		Competitividade da tarifa do GNV
Disponibilidade de gás natural		

Fonte: Elaboração própria.

4. Construção do modelo

O modelo dinâmico, de estoque e fluxo, foi desenvolvido utilizando o software Stella (ISEE SYSTEMS, 2018). Ele pode ser dividido em três subsistemas, que são melhor detalhados a seguir.

4.1. Subsistema 1: Crescimento da frota de veículos em SC

O modelo utilizado para o estoque da frota de veículos no estado é o de crescimento exponencial (Figura 2).

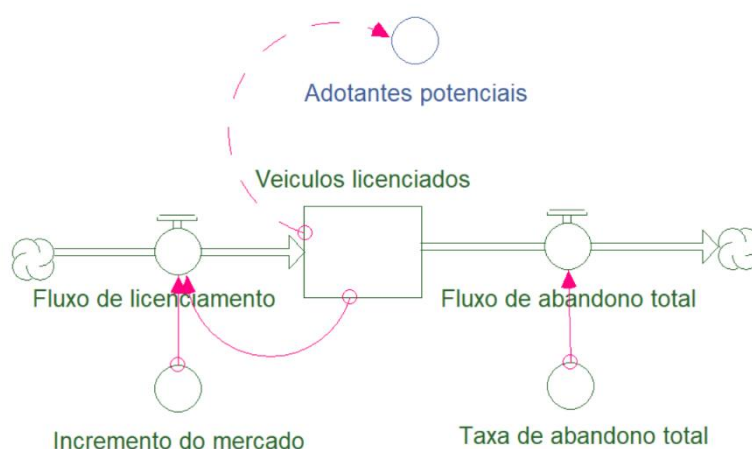


Figura 2. Crescimento da frota de veículos em SC. Fonte: Elaboração própria.

O fluxo de alimentação (licenciamento) é dependente da quantidade de veículos já existentes, e de uma taxa de crescimento por ano. O fluxo de descarga é determinado por uma taxa constante de descarte de veículos por ano. Os parâmetros de modelagem e seus respectivos valores, obtidos como resultado da calibração da simulação, podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis do crescimento da frota.

Variável	Descrição	Valor
Incremento do mercado	Taxa de novos veículos licenciados por ano, com relação ao estoque já existente.	0.0725
Taxa de abandono total	Quantidade de veículos por ano que deixam de circular nas ruas.	0

Fonte: Elaboração própria.

4.2. Subsistema 2: Conversão de veículos para consumo de GNV

Neste subsistema, o modelo utilizado é o modelo da difusão da inovação de Bass. Adaptado para a conversão de veículos para GNV, o modelo possui ajustes na sua entrada, e possui um fluxo de saída de veículos obsoletos ou que não consomem mais GNV (Figura 3). Na entrada, o estoque de adotantes potenciais deixa de ser uma constante, pois depende essencialmente da

quantidade de veículos licenciados e do percentual de conversão anual. Os veículos licenciados crescem exponencialmente ano a ano, conforme modelagem do subsistema 1 (Figura 2). O percentual de conversão é uma variável exógena, e varia ano a ano (Figura 5). Na saída, há uma taxa anual de abandono de veículos, definida como 0 para este modelo.

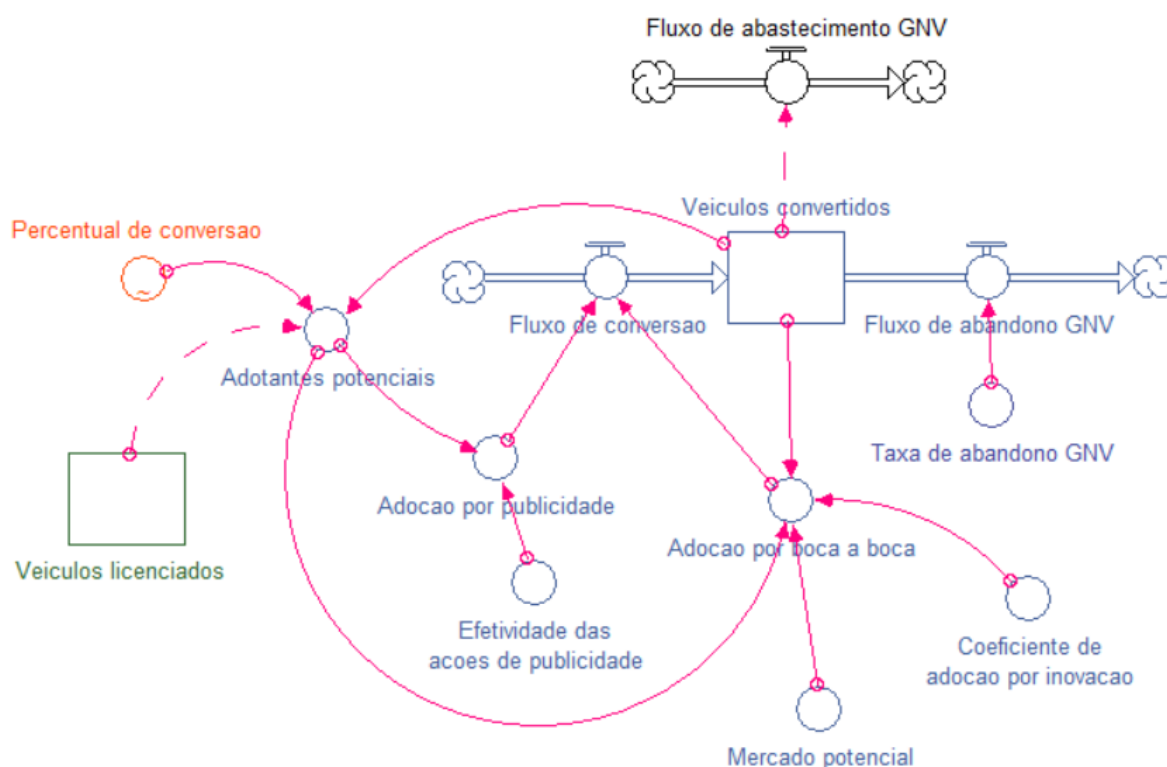


Figura 3. Conversão de veículos para consumo de GNV. Fonte: Elaboração própria.

O valor dos parâmetros “Efetividade das ações de publicidade”, “Mercado potencial” e “Coeficiente de adoção por inovação” foram ajustados para que o resultado do estoque de veículos convertidos esteja aderente ao referencial teórico. Os valores dos parâmetros, obtidos como resultado da calibração da simulação, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis da conversão de veículos para GNV.

Variável	Descrição	Valor
Percentual de conversão	Variável exógena que determina o percentual de veículos licenciados que se torna potencial adotante.	Variável
Efetividade das ações de publicidade	Taxa de adoção devido ao marketing.	0.018
Coeficiente de adoção por inovação	Taxa de adoção devido aos clientes que utilizam o GNV.	0.03
Mercado potencial		4000
Taxa de abandono GNV	Quantidade de veículos por ano que deixam de consumir GNV	0

Fonte: Elaboração própria.

4.3. Subsistema 3: Fornecimento de gás natural em Santa Catarina

O gás natural (GN) é disponibilizado na rede por um modelo de contrato de fornecimento constante, definido pela “Quantidade Diária Contratada” (QDC). O gás é utilizado em vários segmentos, logo há um fluxo de saída para cada segmento. Neste modelo, representa-se apenas a saída para o GNV, considerando o gás consumido tanto na rede canalizada quanto nas redes isoladas (Figura 4).

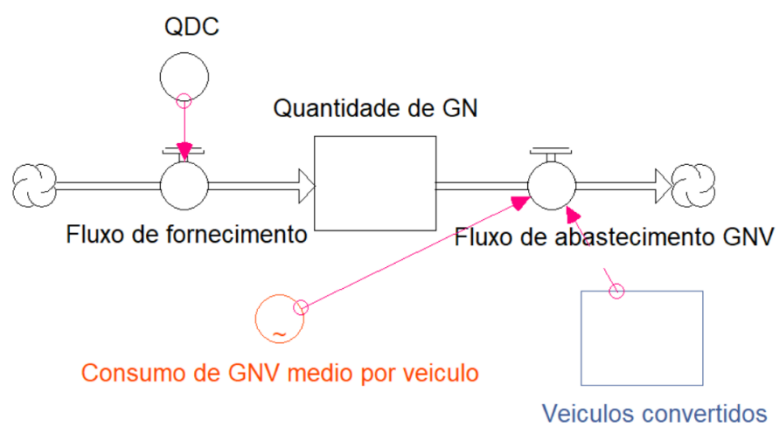


Figura 4. Fornecimento de gás natural em SC. Fonte: elaboração própria.

Analisando o estoque de GN, a entrada é garantida por um fluxo linear, definido pela QDC. O fluxo de saída para o GNV é definido por uma relação entre os veículos convertidos e o consumo médio anual de cada veículo. A quantidade de veículos convertidos é definida no Subsistema 2 (Figura 3). Os valores dos outros parâmetros, obtidos como resultado da calibração da simulação, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis do fornecimento de gás natural em SC.

Variável	Descrição	Valor
Consumo de GNV médio por veículo	Variável exógena que determina o percentual de veículos licenciados que se torna potencial adotante.	Variável
QDC	Quantidade Diária Contratada, define o volume de gás que é injetado na rede diariamente por contrato.	657 milhões m ³ /ano

Fonte: Elaboração própria.

4.4. Variáveis exógenas

O mercado de consumo de GNV possui algumas particularidades que não foram incluídas no modelo desenvolvido. A concorrência com outros combustíveis e a necessidade de um investimento inicial são fatores importantes no comportamento de consumo e que influenciam essencialmente no número de conversões de veículos para GNV e na preferência entre abastecer com GNV ou gasolina ou etanol. Estes fatores devem ser melhor estudados, e para o modelo deste artigo, foram traduzidos em duas variáveis exógenas, a saber, “Percentual de conversão” e “Consumo de GNV médio por veículo”, cujo comportamento foi modelado manualmente para aderir aos referenciais teóricos e pode ser visto na Figura 5.

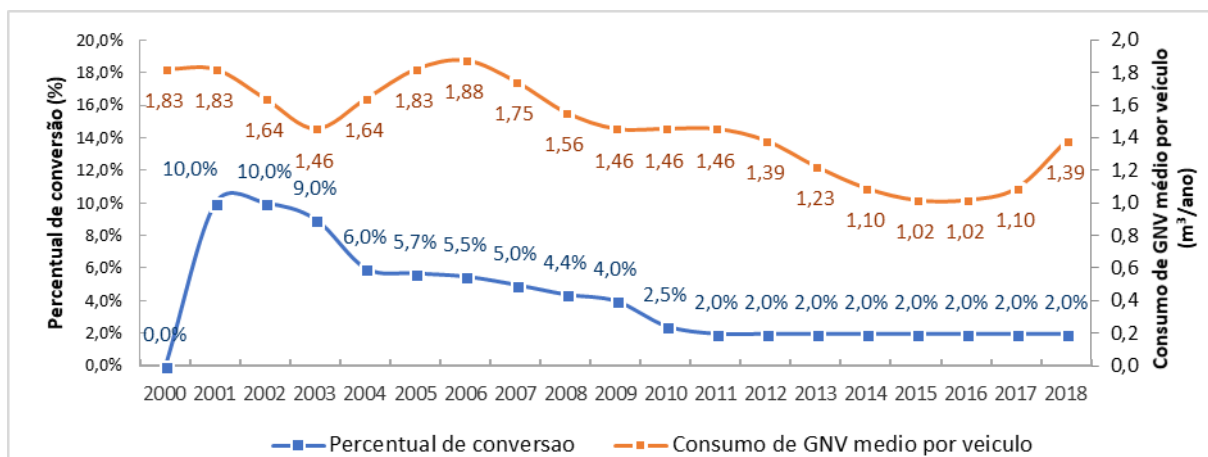


Figura 5. Variáveis exógenas do modelo. Fonte: Elaboração própria.

O percentual de conversão é o percentual de veículos de um determinado ano que foram convertidos para o consumo de GNV. Depende, inicialmente, de políticas de incentivo para que seja maior. Nesta variável, entende-se que houve um incentivo maior na introdução da tecnologia de gás natural no estado, cuja conversão beirou os 10% até o ano de 2003. Nos anos seguintes, houve uma primeira queda para 6%, e depois reduziu gradativamente até 4% em 2009. Nos anos seguintes, estagnou em 2%.

O consumo médio de GNV por veículo é uma aproximação média da quantidade de gás que cada veículo convertido consumiu em um determinado ano. Observa-se um padrão oscilatório com pico de consumo definido a 5,0 mil m³/ano nos anos de 2000, 2001, 2005 e 2006, e mínimos de consumo de 2,8 mil m³/ano em 2015 e 2016. Foi também observada uma queda persistente no decorrer dos anos, e um sinal de aumento de consumo em 2018. Esta variável também é influenciada por políticas de incentivo, da mesma forma que o percentual de conversão. Outro fator que deverá ser analisado posteriormente é a relação do preço dos combustíveis concorrentes (gasolina e etanol) com o preço do GNV.

5. Resultados

O modelo dinâmico foi construído pensando no modelo de negócio e nos principais fatores do processo decisório que fazem o mercado adotar ou não o uso de GNV. A simulação foi feita no período compreendido pelo histórico (entre os anos 2000 e 2018) para verificar a aderência do modelo às curvas referenciais. O resultado pode ser visto nas Figuras 6, 7 e 8.

Inicialmente o modelo não apresentava a aderência às curvas, porém, com o ajuste feito por meio das variáveis exógenas, a simulação apresentou o mesmo comportamento encontrado nos modelos de referência. A Tabela 5 apresenta o comparativo dos resultados para as três referências adotadas, e a variação percentual de cada resultado obtido, adotando como base os modelos de referência.

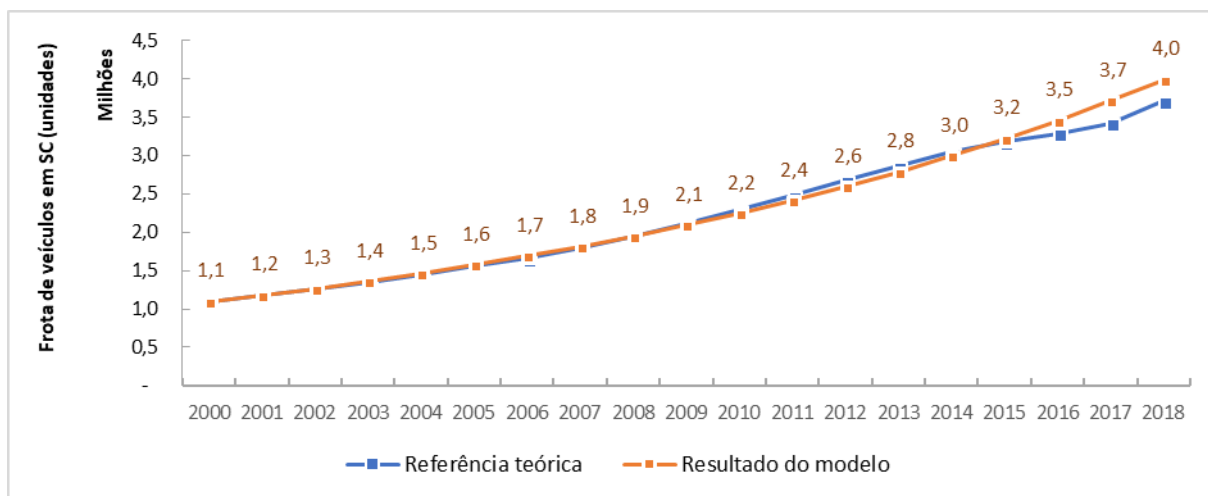


Figura 6. Resultado da simulação para o crescimento da frota de veículos. Fonte: Elaboração própria.

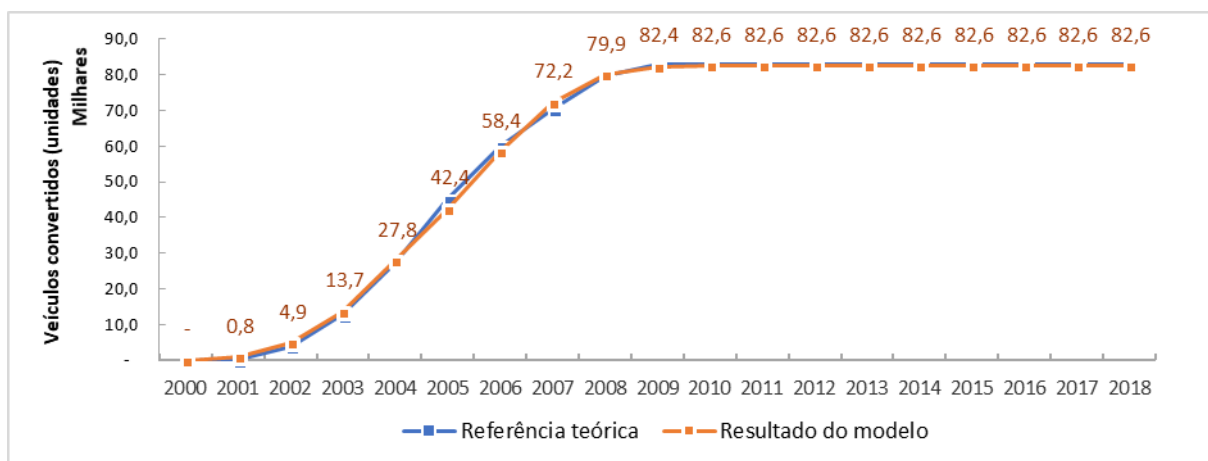


Figura 7. Resultado da simulação para a conversão de veículos para GNV. Fonte: Elaboração própria.

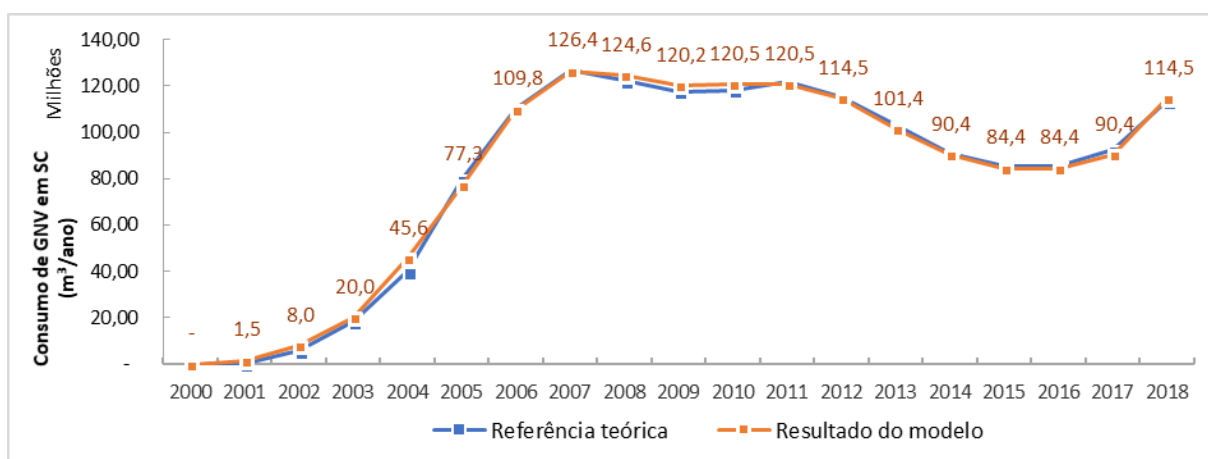


Figura 8. Resultado da simulação para o consumo de GNV em Santa Catarina. Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 5, observa-se que 19,3% dos pontos gerados possui diferença maior do que 5% do valor da referência teórica, obtida pelos dados históricos. A concentração destes pontos se dá

no início do crescimento para Consumo de GNV e Veículos convertidos, devido à curvatura do crescimento exponencial. Na estabilização das curvas, os erros são pequenos. Na curva de veículos licenciados, os erros estão no final, quando o histórico apresenta uma queda, provavelmente decorrente da crise econômica ocorrida em 2016. A diferença é pequena, durante o crescimento da curva. Por esta análise, entende-se que o modelo está aderente ao histórico.

Tabela 5 – Referência teórica X Simulação do modelo dinâmico.

Ano	Consumo GNV (m³/ano)			Veículos licenciados (unidades)			Veículos convertidos (unidades)		
	Referência	Modelo	Erro %	Referência	Modelo	Erro %	Referência	Modelo	Erro %
2000	-	-	0,00%	1.096.339	1.096.000	-0,03%	-	-	0,00%
2001	269.832	1.544.541	472,41%	1.172.026	1.177.647	0,48%	185	846	357,47%
2002	5.781.548	7.987.935	38,16%	1.255.693	1.265.375	0,77%	3.960	4.862	22,77%
2003	18.569.622	19.988.522	7,64%	1.341.804	1.359.640	1,33%	12.719	13.691	7,64%
2004	40.027.166	45.641.988	14,03%	1.444.528	1.460.926	1,14%	27.341	27.780	1,60%
2005	79.760.302	77.342.011	-3,03%	1.553.165	1.569.758	1,07%	45.000	42.379	-5,82%
2006	110.083.194	109.759.242	-0,29%	1.660.094	1.686.697	1,60%	60.000	58.383	-2,70%
2007	126.871.498	126.360.325	-0,40%	1.794.743	1.812.347	0,98%	70.486	72.206	2,44%
2008	122.324.856	124.617.253	1,87%	1.941.848	1.947.358	0,28%	79.720	79.883	0,20%
2009	117.454.202	120.237.338	2,37%	2.112.008	2.092.427	-0,93%	82.984	82.354	-0,76%
2010	117.979.587	120.548.869	2,18%	2.296.576	2.248.302	-2,10%	83.000	82.568	-0,52%
2011	121.788.266	120.548.869	-1,02%	2.480.504	2.415.789	-2,61%	83.000	82.568	-0,52%
2012	115.162.167	114.521.425	-0,56%	2.674.359	2.595.753	-2,94%	83.000	82.568	-0,52%
2013	102.953.134	101.351.874	-1,56%	2.866.186	2.789.124	-2,69%	83.000	82.568	-0,52%
2014	91.091.479	90.411.652	-0,75%	3.045.664	2.996.900	-1,60%	83.000	82.568	-0,52%
2015	85.382.674	84.384.208	-1,17%	3.176.751	3.220.154	1,37%	83.000	82.568	-0,52%
2016	85.520.140	84.384.208	-1,33%	3.290.886	3.460.040	5,14%	83.000	82.568	-0,52%
2017	92.542.470	90.411.652	-2,30%	3.427.086	3.717.795	8,48%	83.000	82.568	-0,52%
2018	113.311.139	114.521.425	1,07%	3.720.000	3.994.752	7,39%	83.000	82.568	-0,52%

Fonte: Elaboração própria.

6. Conclusão

O modelo dinâmico propôs simular o comportamento do consumo de GNV em Santa Catarina, no período compreendido entre os anos 2000 e 2018, comparando a simulação com os referenciais teóricos, estes obtido de dados históricos do mesmo período. O modelo se apresentou consistente, com erro abaixo de 3% na maioria dos pontos, com relação aos referenciais teóricos (Tabela 5). Porém, este resultado foi possível somente após a inclusão manual do comportamento das variáveis exógenas, indicando que ainda há parâmetros não identificados que influenciam no comportamento do sistema. Desta forma não é possível

utilizá-lo para prospectar cenários, pois as variáveis exógenas possuem comportamento ainda indefinido.

Para resolver esta questão, o primeiro passo seria aprimorar o modelo de referência da quantidade de carros convertidos para uso de GNV. Com dados mais precisos, será possível identificar novos parâmetros que influenciam a conversão de veículos e o consumo de GNV. Esta variável é o centro do processo decisório, pois se relaciona diretamente com o comportamento de consumo médio para identificar o consumo total de GNV no decorrer do tempo, objetivo principal deste estudo.

Com relação às variáveis exógenas, a variável “Percentual de conversão” possui um determinado padrão em degraus. Ela indica uma alta taxa de conversão de veículos no início da participação do GNV no mercado, em torno de 10%, e depois atinge dois patamares de queda, até se estabilizar em 2%. Uma hipótese para estudos futuros pode ser sugerida para analisar o percentual de conversão de novos veículos, mantendo este parâmetro constante em 2%, com incrementos que dependem de políticas de incentivo ao consumo de GNV. Para tal, é interessante identificar se houveram incentivos nos incrementos apresentados pelo histórico. Outra hipótese possível é adotar o comportamento do percentual de conversão como uma gaussiana, com estabilização em 2%. Da mesma forma, a alteração deste valor no futuro depende de incentivos.

A variável “Consumo de GNV médio por veículo” possui um padrão oscilatório, acompanhado de uma queda no decorrer do tempo. Uma hipótese para a queda é ela estar relacionada com um fluxo de abandono de veículos diferente de zero. Com este fluxo, a quantidade de veículos convertidos diminui, consequentemente reduzindo o consumo de GNV no decorrer do tempo. Para confirmar a hipótese, convém buscar mais dados sobre quantidade de veículos convertidos e verificar se o histórico apresenta queda.

6.1. Passos futuros:

A conclusão final é que o modelo dinâmico proposto tenderá a ser robusto após ajustes no fluxo de conversão de veículos e identificação de parâmetros que ajustem as variáveis exógenas. Uma série de hipóteses foram levantadas, levando aos seguintes passos futuros sugeridos:

- Buscar dados históricos de conversão de veículos em Santa Catarina para validar seu modelo de referência. Este passo é crucial para ajustar o modelo;
- Estudar o comportamento das variáveis exógenas para identificar os parâmetros que ainda faltam para o modelo dinâmico simular cenários futuros;
- Considerar o abandono de veículos no modelo e analisar seu comportamento;
- Estabilizar o modelo final e testar políticas de incentivo.

Referências

ABEGÁS. **Levantamento estatístico da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado**, 2018. Disponível em: <<https://www.abegas.org.br/Site/?p=65991>>. Acesso em: 23 abr. 2018

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2018/>>. Acesso em: 22 maio. 2018.

ANP. **Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal-Producao_Petroleo_Gas_Natural/Boletim-Producao_marco-2018.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2018.

- BASS, F. M. **A New Product Growth Model for Consumer Durables**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1976. v. 132
- BAUR, L.; URIONA, M. Diffusion of photovoltaic technology in Germany: A sustainable success or an illusion driven by guaranteed feed-in tariffs? **Energy**, v. 150, p. 289–298, 2018.
- BENVENUTTI, L. M. M.; RIBEIRO, A. B.; URIONA, M. Long term diffusion dynamics of alternative fuel vehicles in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1571–1585, 15 out. 2017.
- CARVALHINHO FILHO, J. C. **O valor da flexibilidade em cláusulas take-or-pay de contratos para fornecimento de gás natural industrial**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2003.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2018.
- FIGUEIREDO, J. C. B. DE. Study of the cellular phone diffusion in Brazil: a system dynamics approach. **Production**, v. 19, n. 1, p. 230–245, abr. 2009.
- FORD, A. **Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems**. [s.l.] Island Press, 1999.
- ISEE SYSTEMS. **Stella 9.0**, Disponível em: <<http://iseesystems.com>>. 2018.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E.; BASS, F. M. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. **Journal of Marketing**, v. 54, n. 1, p. 1–26, 1990.
- MEADOWS, D. H. **Thinking in Systems: A Primer**. White River Junction, Vt: Chelsea Green Publishing, 2008.
- MONTEIRO, J. V. DE F.; SILVA, J. R. N. M. **Gás Natural Aplicado à Indústria e ao Grande Comércio**. São Paulo: Blucher: Comgás, 2010.
- NEUMANN, D. et al. A novel demand forecasting model for radical innovation. **Production**, v. 24, n. 3, p. 605–617, set. 2014.
- OLAYA, C. Cows, agency, and the significance of operational thinking. **System Dynamics Review**, v. 31, n. 4, p. 183–219, 1 out. 2015.
- SCGÁS. **Dados históricos sobre consumo de GNV (não publicado)**., 2018. Acesso em: 12 mar. 2018
- STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000. v. 19
- ZHU, Y.; TOKIMATSU, K.; MATSUMOTO, M. A Diffusion Model for Natural Gas Vehicle: A Case study in Japan. **Energy Procedia**, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015). v. 75, p. 2987–2992, 1 ago. 2015.