

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Tiago Evaldo Freitag

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO GÁS NATURAL COMO
COMBUSTÍVEL PARA VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO
BRASIL**

Santa Maria, RS
2019

Tiago Evaldo Freitag

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO GÁS NATURAL COMO
COMBUSTÍVEL PARA VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: PhD Macklini Dalla Nora
Coorientador: Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS
2019

Tiago Evaldo Freitag

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL PARA
VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 22 de abril de 2019:

Macklini Dalla Nora, PhD (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Denis Rasquin Rabenschlag, Dr (UFSM)

Clayton Barcelos Zabeu, Dr (IMT)

Santa Maria, 2019.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Arno e Neuza, pelos ensinamentos e apoio nas minhas escolhas.

À minha esposa Bruna, pelo apoio, companheirismo, incentivo e motivação para avançar e
continuar na pós-graduação.

Àqueles que sempre me incentivaram e apoiaram para seguir meus estudos e persistir perante
os desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho, porém agradeço de forma especial:

-A Deus por me acompanhar nessa jornada, por sempre estar ao meu lado me protegendo e me guiando frente aos desafios impostos pela vida.

-A minha família, pelo apoio e pelo estímulo que recebi nesta caminhada, que certamente fizeram a diferença.

-Ao professor Macklini Dalla Nora, por todas as orientações prestadas, ensinamentos, experiências compartilhadas e pelo apoio e incentivo.

-Ao professor Julio Cezar Mairesse Siluk pela coorientação prestada e pelos ensinamentos compartilhados.

- Ao Eng. Marcelo Bratenahl Bastos pelo auxílio na elaboração do questionário da dissertação.

-A todos os demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, por todos os ensinamentos e vivências compartilhadas.

-Aos professores da banca de qualificação e defesa, os professores Macklini Dalla Nora, Denis Rasquin Rabenshlag e Paulo Smith Schneider pelas considerações ao trabalho e sugestões de melhoria.

-Aos colegas de mestrado e do Grupo de Pesquisa em Motores, Combustíveis e Emissões pela convivência e amizade, durante esse período importante em minha vida.

-Ao GPMOT e a UFSM pela oportunidade de realizar esse mestrado.

Ler fornece ao espírito materiais para o conhecimento, mas só o pensar faz nosso o que lemos. (John Locke)

RESUMO

ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL PARA VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO BRASIL

AUTOR: Tiago Evaldo Freitag
ORIENTADOR: PhD Macklini Dalla Nora

Os combustíveis de origem fóssil são amplamente utilizados na mobilidade, abrangendo uma grande porção da matriz energética nacional. Porém, é crescente a demanda por soluções energéticas sustentáveis, reduzindo-se assim a dependência por combustíveis fósseis tradicionais. Para os veículos leves de passageiros, por exemplo, os combustíveis mais utilizados são a gasolina (adicionada de etanol anidro) e o etanol hidratado, sendo o gás natural veicular (GNV) uma opção quase que exclusivamente utilizada por motoristas profissionais. A implantação de programas de incentivo ao uso de combustíveis renováveis como o Proálcool e, mais recentemente, o RenovaBio, além da experiência obtida com o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), tem se tornado uma estratégia para posicionar o Brasil entre os países com uma matriz energética amplamente sustentável. Assim, para se difundir a utilização do GNV como combustível para fins de mobilidade, algumas etapas precisam ser analisadas quanto à competitividade, como a produção, armazenamento, distribuição e emprego desse gás em veículos. Desta forma, este estudo propõe uma modelagem para avaliar a competitividade do uso do gás natural veicular em alguns cenários. A modelagem proposta foi submetida a teste com base em 3 Pontos de Vistas Fundamentais (PVFs), 10 Fatores Críticos para o Sucesso (FCS), encontrados com base na recorrência bibliográfica e documental. Foram construídos 38 indicadores de desempenho utilizando os pressupostos alusivos ao *Key Performance Indicators* (KPIs), alguns elementos da abordagem multicritério de apoio a decisão, e dos conceitos da *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Posteriormente, a modelagem foi testada através de uma consulta a 11 especialistas da área, provenientes de universidades, centros de pesquisa, fundações, associações e empresas com fortes ligações com o gás natural veicular no Brasil. Os níveis de avaliação dos cenários investigados foram definidos como “potencialmente competitivos”. O panorama geral mostra que ações mais contundentes a nível governamental precisam ser aplicadas a fim de se alcançar cenários “altamente competitivos” para esse combustível.

Palavras-chave: Gás Natural Veicular. Competitividade. Avaliação de desempenho. Indicadores de desempenho. Abordagem multicritério.

ABSTRACT

ANALYSIS OF COMPETITIVENESS OF NATURAL GAS AS A FUEL FOR PASSENGER CARS IN BRAZIL

AUTHOR: Tiago Evaldo Freitag
Supervisor: PhD Macklini Dalla Nora

Fossil fuels are widely used in mobility and cover a large portion of the energy employed in this sector. However, the demand for sustainable energy solutions for the sector is increasing and hence reducing the dependence on traditional fossil fuels is the target of several countries. In Brazil the most commonly used fuels in passenger cars are gasoline (with added anhydrous ethanol) and hydrous ethanol. Compressed natural gas (CNG) is mostly used by professional drivers. The implementation of governmental programs for the use of renewable fuels such as the PROÁLCOOL and the more recent RenovaBio has become strategic to position Brazil among countries with a broadly sustainable energy matrix. Thus, to widely spread the use of CNG as a fuel for mobility purposes, some key points need to be investigated, such as its production, storage, distribution, and application in vehicles. This project aims at proposing a model to evaluate and measure the competitiveness of the use of natural gas in some scenarios. The proposed modeling was tested based on 3 Fundamental View Points (PVFs), 10 Critical Success Factors (FCS), found based on bibliographic and documentary recurrence. We constructed 38 performance indicators using the assumptions alluding to Key Performance Indicators (KPIs), some elements of the multicriteria decision support approach, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) concepts. Subsequently, the modeling was tested through a consultation of 11 specialists from the area, from universities, research centers, foundations, associations and companies with strong links with vehicular natural gas in Brazil. The evaluation levels of the scenarios investigated were defined as "potentially competitive". The overall picture shows that stronger government action needs to be applied in order to achieve "highly competitive" scenarios for this fuel.

Keywords: Natural Gas Vehicle. Competitiveness. Performance assessment. Performance indicators. Multi-criteria decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Busca no Scopus com a palavra-chave “ <i>Natural gas vehicle + Passenger cars</i> ”.	35
Figura 2 – Análise de co-ocorrência de palavra-chave no VOSviewer – Mapa de densidade.	35
Figura 3 – Emissões de CO ₂ por tipo de combustível.	45
Figura 4 – Emissões de CO ₂ equivalente por tipo de gás.	46
Figura 5 – Evolução das malhas de transporte e distribuição.	48
Figura 6 – Mapa das regiões que atendidas pelas concessionárias de gás natural	50
Figura 7 – Distribuidoras regionais de gás natural veicular.	51
Figura 8 – Preço médio do GNV ao consumidor em 2014, 2015 e 2016.	52
Figura 9 – Países com maior produção de gás natural.	53
Figura 10 – Infraestrutura de processamento e transporte de gás natural existente e em construção no Brasil.	55
Figura 11 – Previsão alternativa de produção de gás natural nacional.	59
Figura 12 – Previsão de produção líquida de gás natural por tipo de contrato.	60
Figura 13 – Participação dos tipos de energia na demanda energética do setor de transportes	64
Figura 14 – Composição do preço final de gás natural ao mercado.	69
Figura 15 – Preços e margens do gás natural (US\$/MMBtu).	72
Figura 16 – Esquema do modelo de funcionamento do RenovaBio	75
Figura 17 – Fatores determinantes para a competitividade.	81
Figura 18 – Processo de apoio à decisão.	88
Figura 19 – Estrutura de árvore hierárquica	90
Figura 20 – Etapas metodológicas.	97
Figura 21 – Estrutura hierárquica para avaliação do desempenho competitivo do gás natural na mobilidade no Brasil.	104
Figura 22 – Exemplo de questão utilizada na coleta dos pesos dos FCS.	107
Figura 23 – Desempenho competitivo global por PVF.	117
Figura 24 – Respostas ao indicador 1.1.4 – Nível de dependência das explorações do Pós-sal, Extra Pré-sal e Pré-sal.	118
Figura 25 – Indicador 1.1.3 – Nível de dependência existente da Petrobras e dos programas governamentais.	118
Figura 26 – Indicador 1.3.3 – A concretização dos projetos previstos e a dependência da política governamental de investimentos adotada para o setor	119
Figura 27 – Indicador 2.1.1 – O sistema dutoviário de transporte de gás natural no Brasil.	120

Figura 28 – Indicador 2.2.1 – o transporte ferroviário seria uma alternativa viável para melhorar o transporte de gás natural.	120
Figura 29 – Indicador 3.2.3 – Gasto com a manutenção de um veículo com GNV.....	121
Figura 30 – Indicador 3.1.2 – Utilização de GNV ainda que seu preço seja maior que a gasolina, unicamente por ele ser ecologicamente mais correto.	122
Figura 31 – Indicador 3.3.2 – Perda de potência e espaço no porta-malas.....	123
Figura 32 – Desempenho competitivo com dados do Prof. Dr. Denis R. Rabenschlag.....	124
Figura 33 – Desempenho simulado.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese dos requisitos da fase L6 do PROCONVE para automóveis.	43
Tabela 2 – Limites máximos de emissão de poluentes por categoria de veículos, para veículos da fase PROCONVE L7.	44
Tabela 3 – Análise de emissões de CO ₂ considerando todo o ciclo de vida do combustível (<i>well-to-wheel</i>).	44
Tabela 4 – Imposto do gás natural veicular pela concessionária Comgas.	70
Tabela 5 – Preço atualizado do GNV em R\$/m ³ ao consumidor.	70
Tabela 6 – Imposto do gás natural para fins de uso industrial/residencial pela concessionária Comgas conforme as classes de consumo.	71
Tabela 7 – Relação do índice randômico com a ordem da matriz de julgamento.	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados busca por palavras-chave no Scopus e Web of Science.	33
Quadro 2 – Especificação do gás natural comercializado no Brasil.....	40
Quadro 3 – Gasodutos no exterior, por onde é realizada a importação brasileira.	49
Quadro 4 – Programas de incentivo ao uso de GNV em automóveis nos estados brasileiros .	77
Quadro 5 – Perfil para análise da competitividade industrial.....	80
Quadro 6 – Modelos de mensuração de desempenho.....	85
Quadro 7 – Escala AHP.	91
Quadro 8 – Enquadramento metodológico.....	95
Quadro 10 – PVF-1-Produção	102
Quadro 11 – PVF-2-Distribuição.....	102
Quadro 12 – PVF-3-Utilização.....	103
Quadro 13 – Exemplo de indicador construído.	106
Quadro 14 – Origem dos respondentes do instrumento de coleta de dados.	109
Quadro 15 – Importância e taxas de substituição para os Indicadores 2.3.1 ao 2.3.3	111
Quadro 16 – Importância e taxas de substituição locais para os FCS.	112
Quadro 17 – Importância e taxa de substituição para os PVFs.	113
Quadro 18 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-1.	113
Quadro 19 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-2.	114
Quadro 20 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-3.	115
Quadro 21 – Faixas de avaliação da competitividade.	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEGÁS	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado
ABIOGÁS	Associação Brasileira de Biogás e de Biometano
ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEA	Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
AHP	Analytic Hierarchy Process (Análise Hierárquica de Processos)
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo
APO	Administração por Objetivos
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBIO	Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis
CDLs	Companhias Distribuidoras Locais
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
CNG	Gás natural comprimido (<i>Compressed Natural Gas</i>)
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONPET	
CRE	Certificados de Redução de Emissão
CTGÁS-ER	Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
EUA	Estados Unidos da América
FCs	Fatores Críticos de Sucesso
FTP	<i>Federal Test Procedure</i>
GASBOL	gasoduto Bolívia-Brasil
GEE	Gases de efeito estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Prestação de Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia Programa de Incentivo a Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores
Inovar-auto	
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LHV	Poder calorífico inferior

LNG	Gás natural liquefeito (<i>Liquefied Natural Gas</i>)
MCDA	Abordagem Multicritério de Apoio a Decisão (<i>Multi Criteria Decision Aid</i>)
MCI	Motores de Combustão Interna
NO _x	Óxido de nitrogênio
OIA	Organismos de Inspeção Acreditados
ONU	Organização das Nações Unidas
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PBT	Peso Bruto Total
PEMAT	Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviária
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A
PIS	Programa de Integração Social
PIs	<i>Performance Indicators</i>
PLANGÁS	Plano de Antecipação da Produção de Gás
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos
PROMOT	Similares
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PVF	Pontos de Vista Fundamentais
RC	Relação de Consistência
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
Ris	Result Indicators
SCGÁS	Companhia de Gás de Santa Catarina
SIN	Sistema Interligado Nacional
SMD	Sistemas de Mensuração de Desempenhos
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
UTE	Usinas Termelétricas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	OBJETIVOS	29
1.1.1	Objetivo geral	29
1.1.2	Objetivos específicos	29
1.2	JUSTIFICATIVA	29
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	36
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
2.1	COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL COMPRIMIDO E SEUS EFEITOS.....	39
2.1.1	Composição química do gás natural e seus efeitos	39
2.1.2	Emissões e legislação a respeito de emissões veiculares	42
2.2	PANORAMA DO GÁS NATURAL.....	47
2.2.1	Produção, armazenagem e transporte	47
2.2.2	Demanda	63
2.3	CUSTOS DO EMPREGO E UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL NA MOBILIDADE.....	65
2.3.1	Custo de conversão – kits GNV	67
2.3.2	Formação do preço do gás natural	68
2.4	PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E INCENTIVO FISCAL	73
2.4.1	Renovabio	73
2.4.2	Rota 2030	75
2.4.3	Incentivos fiscais no Brasil	76
2.4.4	Incentivos fiscais no exterior	78
2.5	COMPETITIVIDADE.....	79
2.5.1	Fatores competitivos	81
2.6	SISTEMAS DE MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO	84
2.7	ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO.....	86
2.7.1	Análise hierárquica de processos	90
3	METODOLOGIA	95
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	95
3.2	INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	96
3.3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	97
4	CONSTRUÇÃO DA MODELAGEM	101
4.1	CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO.....	101
4.2	DEFINIÇÕES DE INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO	105
4.3	VALIDAÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO	106
4.4	CONSTRUÇÃO DO MECANISMO DE AVALIAÇÃO	107
5	RESULTADOS	109
5.1	COLETA DE DADOS	109
5.2	CÁLCULO DAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO	111
5.3	AVALIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	116
5.3.1	Desempenho competitivo global	116
5.3.2	Desempenho por respondente	124
5.4	SIMULAÇÕES.....	125
6	CONCLUSÕES	127
6.1	DISCUSSÕES FINAIS	127
6.2	LIMITAÇÕES	129
6.3	ESTUDOS FUTUROS	129

REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE A – INDICADORES PARA A MODELAGEM	141

1 INTRODUÇÃO

O primeiro motor de combustão interna foi desenvolvido em 1804 e tinha como combustível o hidrogênio, com um rudimentar sistema de ignição (VIEIRA, 2008). Contudo, tais máquinas térmicas, que consistem em converter a energia proveniente da queima do combustível em energia mecânica, foram aperfeiçoadas apenas em 1876, quando Nikolaus August Otto desenvolveu o primeiro motor de ignição por centelha elétrica a utilizar combustível líquido (BRUNETTI, 2012). A partir disso, seu uso foi disseminado pelo mundo para a locomoção de pessoas, transporte de cargas e geração de energia.

A partir da metade do século XX, com a disseminação dos motores de combustão interna (MCI) em veículos, ficou evidente o problema da poluição causada por tais máquinas térmicas, sendo que os automóveis eram os principais responsáveis por emissões de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, além de altos níveis de monóxido de carbono nas áreas urbanas (HEYWOOD, 1988). O acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) aumentou significativamente nos últimos 50 anos como consequência da crescente industrialização e do aumento significativo das frotas de veículos em quase todos os países do mundo. Por causa das grandes consequências do efeito estufa, as comunidades começaram a reagir buscando acordos internacionais que permitissem controlar a emissão de GEE e minimizar assim os seus impactos negativos. Conseqüentemente, foi implementado o Protocolo de Quioto, que é um tratado internacional com compromissos mais rígidos orientados para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa e que são originados pela atividade humana. O Protocolo foi discutido, negociado e assinado em Quioto no Japão em 1997, ratificado em 1999 e entrou em vigor em novembro de 2004 (NATIONS, 1998). Esse foi o primeiro acordo global que reuniu a maioria das nações industrializadas e em vias de industrialização do mundo (CASTRO; DE SOUZA; BOVOLENTA, 2012; NATIONS, 1998).

Os relatórios de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, instituto patrocinado pela Organização das Nações Unidas (ONU), estimam uma elevação da temperatura global entre 1,5 °C e 4,5 °C, com uma concentração de cerca de 900 ppm (partes por milhão) de CO₂ na atmosfera, para o ano de 2100. O acúmulo de gases de efeito estufa aumentou significativamente nos últimos 50 anos como consequência da crescente industrialização e do aumento significativo das frotas de veículos. Uma consequência das pesquisas foi a criação do Protocolo de Quioto, que propõe um calendário no qual os países-membros (principalmente os desenvolvidos) têm a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e

2012, também chamado de primeiro período de compromisso. (CASTRO; DE SOUZA; BOVOLENTA, 2012).

No Brasil, o Programa de Incentivo a Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores, o Inovar-Auto, foi criado em 2012 com o objetivo de fornecer condições para o aumento da competitividade no setor automotivo, propiciando a produção de veículos mais econômicos e seguros, promover investimentos em engenharia, tecnologia e na pesquisa e desenvolvimento (INOVAR-AUTO, 2012). Uma das metas do programa foi a produção de veículos mais econômicos sendo que, a partir de 2017, ano de seu encerramento, veículos que consumiam menos de 15,46% da média da frota tiveram direito a abatimento do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), além de veículos com consumo abaixo de 18,84% tiveram direito a abatimento de dois pontos percentuais de IPI (INOVAR-AUTO, 2017). Após esse período, deve entrar em vigor seu substituto, o programa Rota 2030, que ainda passa por discussões quanto ao seu conteúdo. Em relação às emissões de gases poluentes no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em 1986, e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) em 2002, estabelecendo-se os limites e os prazos de índices de emissões a serem atendidos pelos veículos nacionais e importados (BRASIL, 2014).

A elevada aplicação do motor de combustão interna se evidencia na informação disponibilizada pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), que expressa o total de licenciamentos de veículos novos comercializados no Brasil. Automóveis e veículos comerciais leves, abastecidos com gasolina, etanol, energia elétrica ou diesel, em 2016, totalizaram mais de 1,98 milhões de unidades vendidas, em 2017 2,175 milhões e, em 2018, 2,475 milhões. A parcela de veículos que possui motorização flexfuel (etanol ou gasolina) tem grande representatividade frente a motorização elétrica, diesel e gasolina pura, sendo que em 2016 tal classe representou 88,0% do total licenciado, em 2017 88,6% e, em 2018 obteve a participação de 87,6% no mercado (ANFAVEA, 2016, 2017, 2018).

Os combustíveis utilizados nos motores de combustão interna podem ser derivados do petróleo, como diesel, gasolina, querosene e gás combustível, os não derivados do petróleo, como álcoois, éteres, óleos vegetais, gorduras animais e biodiesel (BRUNETTI, 2012). Em relação ao gás combustível, no Brasil atualmente é disponibilizado o Gás Natural Veicular (GNV), também chamado de gás natural comprimido, ou ainda, *compressed natural gas* – CNG. Esse gás vem sendo denominado como importante combustível alternativo aos

tradicionais combustíveis líquidos, tais como gasolina, etanol e Diesel, tanto por motivos ambientais quanto no aspecto econômico. O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos naturais formados há milhões de anos através da decomposição de matéria orgânica, tais como árvores e animais. É tipicamente encontrado no subsolo, em reservatórios, tanto em bolsas de gás como preso num substrato como areia ou petróleo, e é extraído como um derivado do petróleo ou especificamente como gás bruto. O metano é o principal componente do gás natural e normalmente encontra-se numa concentração volumétrica acima de 90%. Os outros hidrocarbonetos que podem ser encontrados em pequenas quantidades no gás natural incluem etano, propano e butano. O gás natural é comumente armazenado e transportado como gás natural comprimido, termo utilizado para o metano ou gás natural que foi submetido a altas pressões (tipicamente 25 MPa) (GASNET, 2019).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é construir uma modelagem para mensurar e avaliar o nível de competitividade do gás natural comprimido como combustível para veículos leves de passageiro no mercado brasileiro.

1.1.2 Objetivos específicos

- Elucidar as barreiras técnicas e econômicas para a utilização do gás natural e quais as perspectivas futuras para o uso em veículos;
- Identificar os fatores mais relevantes para a competitividade na utilização do gás natural;
- Construir a modelagem com base nos fatores identificados;
- Testar a modelagem que visa mensurar a competitividade da utilização do gás natural comprimido como combustível no mercado brasileiro.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nos anos de 1970, com o aumento do preço do petróleo e exigência por motores mais eficientes e com menores emissões de poluentes, a busca por combustíveis alternativos, como o gás natural, metanol e etanol, se intensificou, particularmente na Europa, EUA e Japão

(HEYWOOD, 1988). Desde então, deu-se maior ênfase para a preocupação com o desenvolvimento sustentável, que satisfaça as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (WCED, 1987). Nessa época, com a dependência da importação de petróleo para abastecer o setor de transportes no Brasil, criou-se o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL). Em 1986, as montadoras de veículos produziram cerca de 700.000 carros abastecidos a álcool hidratado, quase 70% da produção anual de veículos. Em 2006 foi concebido pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), o Plano de Antecipação da Produção de Gás (PLANGÁS), com o objetivo primordial de garantir o abastecimento de gás natural, associado à possibilidade de reduzir os riscos de oscilação no fornecimento do gás natural boliviano e assegurar a oferta de gás para a geração termelétrica e demais mercados não térmicos (ANP, 2009). O PLANGÁS era composto por uma carteira de projetos em exploração e produção, processamento e transporte de gás natural no sudeste do País, que visava o incremento da oferta de gás natural, nesta região, de 15 milhões m³/dia em 2007 para 40 milhões m³/dia em 2008 e, posteriormente, 55 milhões m³/dia em 2010 (ANP, 2009). Apesar do aumento significativo da demanda de gás natural no Brasil desde esse período, verifica-se que seu maior uso é na indústria. Conforme dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME; EPE, 2017), em 2016, o gás natural representava 2% da demanda entre todos os combustíveis do setor de transportes e 8,3% de todas as fontes energéticas na indústria. Apesar da previsão de aumento de 1,6% a.a em média da demanda energética nos transportes, a tendência da demanda do gás é manter o mesmo patamar até 2026, ao contrário da indústria, que tende a aumentar para 10,2% no mesmo ano.

Motorizações mais eficientes e com menores emissões de gases, a utilizar combustíveis alternativos aos derivados do petróleo, estão no foco de projetos dos centros de pesquisas e desenvolvimento automotivo em todo o mundo, assim como no Brasil (ANFAVEA, 2012). A exemplo disso, nos anos de 2010 a 2014 o tema Energia & Combustíveis foi alvo das maiores publicações, englobando 22,45% dos artigos publicados nesse período, na base de dados Energy & Fuels (ARAÚJO; COSTA, 2016). No Brasil, desde 2009 o Inmetro coordena o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) com o intuito de classificar os novos veículos comercializados. O PBEV é aplicado de forma voluntária aos veículos leves abastecidos a gasolina, etanol ou GNV (de fábrica). Os fabricantes que aderem ao programa testam parte dos modelos que são comercializados, declarando ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) os valores de consumo com cada combustível. Os modelos participantes são, então, comparados

de "A" a "E" dentro de suas categorias e os valores informados nas páginas eletrônicas do INMETRO e do Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), além de etiquetas afixadas opcionalmente nos veículos participantes (MME, 2011). Os valores de consumo de combustível são expressos de forma padronizada pela norma 6601 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6601), tomando como referência o ciclo de condução urbana americano, denominado *Federal Test Procedure 75* (FTP-75).

Apesar da evolução existente para o uso racional e eficaz dos recursos energéticos, verifica-se que atualmente não existe a comercialização de veículos novos que utilizam o gás natural no país (ANFAVEA, 2017). Entretanto, no Brasil já houve iniciativa nesse sentido, como a comercialização do veículo Fiat Siena 1.4l *tetrafuel* em 2006, que teve sua produção finalizada em 2011, como também a Volkswagen, em 2005, em conjunto com White Martins criou um programa de adaptação para GNV de veículos novos. Além disso, recentemente veículos abastecidos a GNV começaram a operar em frotas comerciais de veículos maiores, como ônibus urbanos, ônibus escolares e caminhões de coleta de resíduos urbanos em meados dos anos 1990 (DEVOS, 2014; SOUZA; SILVA, 2008). Nesses casos, os menores custos de combustível em larga escala podem compensar o preço de compra inicial e instalações compartilhadas de reabastecimento e manutenção. Para o consumidor individual, nos Estados Unidos da América (EUA) por exemplo, os veículos a GNV ainda não alcançaram a penetração de mercado necessária para ter sentido financeiro (DEVOS, 2014). Estudos de viabilidade econômica da implantação do GNV na frota brasileira são frequentemente abordados, porém com enfoque regional e na implantação de kits de conversão em veículos já existentes. Com isso, é conveniente analisar a viabilidade desse combustível ser inserido já na montadora do veículo, sem posteriores instalações, como ocorre na indústria de veículos pesados. Em relação a conversão, com instalações de kits (*retrofit*), existem estudos que demonstram que o GNV é viável para diversos casos no Brasil, assim como em outros países (DEVOS, 2014; RABENSCHLAG, 2013).

As propriedades físicas do gás natural oferecem vantagens em comparação a gasolina, etanol e diesel, particularmente no quesito segurança de manuseio (JALIHALL; REDDY, 2006). Em condições atmosféricas normais, o gás possui temperatura de ignição de 540 °C, em comparação a 420 °C, 316 °C e 220 °C da gasolina, diesel e etanol, respectivamente. Essa elevada temperatura de autoignição do GNV torna mais difícil a possibilidade de combustão do gás no ambiente. A faixa de inflamabilidade do gás é mais estreita, ficando entre 4,3 a 15,2 partes de ar para uma de combustível, o que diminui a chance de uma explosão acidental

(KHAN et al., 2016a). Em relação ao abastecimento no veículo, ele é feito sem que o produto entre em contato com o ar, o que diminui muito a possibilidade de ignição. Além disso, devido ao combustível gasoso ser menos denso que o ar, ele pode se dissipar rapidamente, enquanto os combustíveis líquidos tendem a se acumular no solo. O gás também é atóxico, não irritante no manuseio, e não contamina o solo e lençóis freáticos na ocorrência de vazamentos. Em relação às emissões globais de um dado combustível, computadas desde a obtenção deste, seu manuseio e consequente queima em um motor de combustão interna (*well-to-wheel analysis*), pode-se verificar que veículos abastecidos a gás natural emitem cerca de 30% menos CO₂ que aqueles abastecidos com gasolina. Entretanto, o potencial de formação de efeito estufa do metano é cerca de 20 vezes maior do que o CO₂ e deve-se evitar vazamentos nos sistemas de abastecimento veicular e impacto de "misfires" em veículos não mantidos apropriadamente (SHERRY STONER et. al. 2007).

A criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em 6 de maio de 1986, a partir da Resolução nº 18 do CONAMA, definiu os primeiros limites de emissões gasosas para veículos leves e contribuiu para o atendimento aos padrões de qualidade do ar instituídos pelo Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR) (BRASIL, 2014; IBAMA, 2011). Tal programa tem sido responsável por controlar o nível de poluentes emitidos por veículos novos, estabelecendo os limites e os prazos de índices de emissões a serem atendidos pelos veículos nacionais e importados no futuro. Outro ponto importante a ressaltar é que o controle pelo programa se dá a partir da classificação dos veículos em razão de seu Peso Bruto Total (PBT), sendo que as fases caracterizadas por "L" para veículos leves e "P" para veículos pesados são implantadas segundo estratégias diferenciadas (BRASIL, 2014). Em 2009, o CONAMA introduziu a Fase L6, que entrou em vigor em 2013 e permanece até os dias de hoje. Essa fase estabeleceu novos limites para emissões de gases de veículos automotores leves novos de passageiros, com massa menor ou igual a 1.700 quilogramas (BRASIL, 2014).

As variações no preço do álcool e a incerteza quanto à garantia da sua oferta são fatores que limitam a sua adoção como combustível primário, mantendo-se a gasolina como principal fonte energética aos veículos leves de passageiros no Brasil. Essa dependência pode ser menor caso o GNV se consolide no mercado, assim como ocorreu na indústria, a qual utiliza o gás natural como fonte de energia térmica. Existe a tendência da indústria em aumentar o consumo de gás natural, em comparação com outras fontes energéticas existentes, nas próximas décadas (MME; EPE, 2017). Logo, estima-se que o mercado possa se utilizar

dessa fonte para o uso em automóveis de maneira mais confiável, evitando que o consumidor tenha receio de sua oferta como o ocorrido com o etanol em tempos passados.

Como contribuição este estudo visa servir como documento para a tomada de decisões nos níveis empresariais ou governamentais, ou seja, elucidando se é vantajoso ou não investir na utilização do gás natural em veículos de passageiros no Brasil. A partir dos resultados obtidos será possível também conhecer quais são as principais deficiências do GNV e possíveis soluções para torná-lo competitivo.

No âmbito acadêmico científico, verificou-se em pesquisas na base de dados Scopus e Web of Science a existência de trabalhos semelhantes desenvolvidos. De acordo com o direcionamento pretendido foram definidas como palavras-chave: “natural gas vehicle as a fuel for passenger cars”, “competitiveness”, “performance assessment” e “*Analytic Hierarchy Process*”. As palavras-chave foram cruzadas, com buscas realizadas no título, resumo e palavras-chave, para todos os anos. No Quadro 1, é possível verificar o resultado das buscas e dos cruzamentos das palavras-chave.

Quadro 1 – Resultados busca por palavras-chave no Scopus e Web of Science.

Termos ou cruzamentos	Scopus	Web of science
Performance assessment	356914	192307
Competitiveness	63069	43840
Analytic Hierarchy Process	19540	14929
Natural gas vehicle + Passenger cars	192	77
Natural gas vehicle + performance assessment	144	69
Natural gas vehicle + competitiveness	29	19
Passenger cars + Analytic Hierarchy Process	9	7
Natural gas vehicle + Analytic Hierarchy Process	6	4
Natural gas vehicle + Passenger cars + competitiveness + performance assessment + Analytic Hierarchy Process	0	0

Fonte: Autor.

Os resultados das buscas dos cruzamentos foram analisados para verificar a existência de trabalhos semelhantes ao presente.

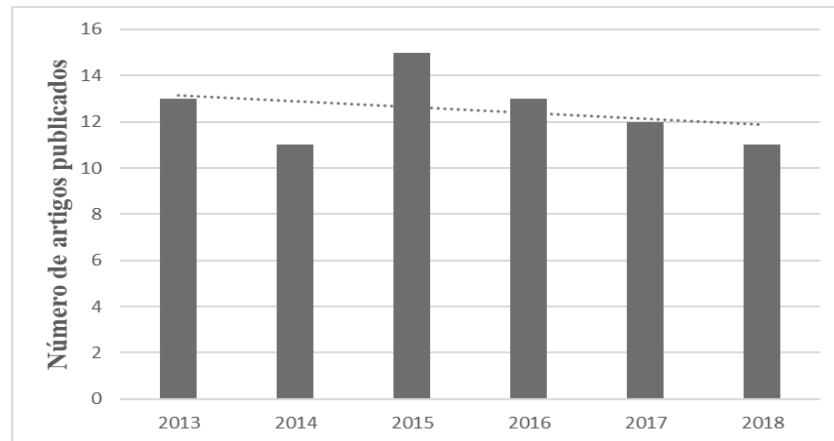
Na busca das palavras-chave “*Natural gas vehicle + performance assessment*” ressalta-se o estudo de Bauer et al. (2015) que avaliou o desempenho ambiental de um conjunto abrangente de veículos de passageiros de médio porte. O estudo apresentou uma Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida (LCA) com base em uma nova estrutura integrada de simulação de veículo, que permite a consistência nas configurações dos parâmetros do veículo e a consideração do progresso tecnológico futuro. Os carros convencionais e híbridos a gasolina, diesel e gás natural, bem como os veículos elétricos com baterias e células de

combustível (BEV e FCV) foram analisados, levando em conta as cadeias de produção de eletricidade e hidrogênio de fontes de energia fósseis, nucleares e renováveis. Também salienta-se o estudo realizado por Dimopoulos et al. (2008) o qual avaliou um motor de gás natural para carros de passeio de última geração, que foi otimizado para misturas de hidrogênio-gás natural e altas taxas de recirculação de gases de exaustão (EGR) na maior parte do mapa do motor. Esse estudo serviu de referência para outros trabalhos executados posteriormente, tal como as importantes publicações realizados por Khan (2017); Khan et al. (2016b).

Na busca das palavras-chave “*Natural gas vehicle + Analytic Hierarchy Process*” destaca-se o artigo de Osorio-Tejada; Llera-Sastresa; Scarpellini (2017) que optou pelo uso da *AHP*. Este estudo apresentou uma metodologia baseada em critérios múltiplos que integram os principais fatores envolvidos no sistema de transporte: veículos, infraestrutura e combustíveis, e consideração dos três pilares da sustentabilidade, bem como a confiabilidade da tecnologia, legislação e questões de mercado. As informações para o processo de comparação foram obtidas de artigos revisados por pares e relatórios de instituições internacionais e espanholas, enquanto os dados primários foram obtidos através de entrevistas semiestruturadas em profundidade para os diferentes interessados. Um índice de sustentabilidade ponderado para cada alternativa foi desenvolvido para integrar os dados obtidos através do processo de hierarquia analítica. Os resultados do estudo indicaram que os caminhões de gás natural liquefeito (GNL) seriam uma opção atraente em comparação ao diesel, desde que os tomadores de decisão atribuam um peso significativo aos critérios sociais e ambientais, e que o governo garanta uma segurança legislativa para manter os baixos impostos sobre o gás natural.

As demais buscas serviram de embasamento para a revisão bibliográfica citada na seção três. Salienta-se que os termos utilizados estão na língua inglesa pois os artigos científicos mais relevantes estão publicados nas revistas internacionais de maior impacto. Posteriormente os resultados da pesquisa no Scopus com a palavra-chave “*Natural gas vehicle + Passenger cars*” foram refinadas para uma melhor análise dos dados. O refinamento foi realizado para os anos de 2013-2018, em artigos, revisões e artigos de conferência, resultando em 75 estudos. A distribuição dos artigos publicados ao longo dos anos aparece na Figura 1, onde percebe-se pouca variação no número de trabalhos publicados, com uma leve tendência de decaimento.

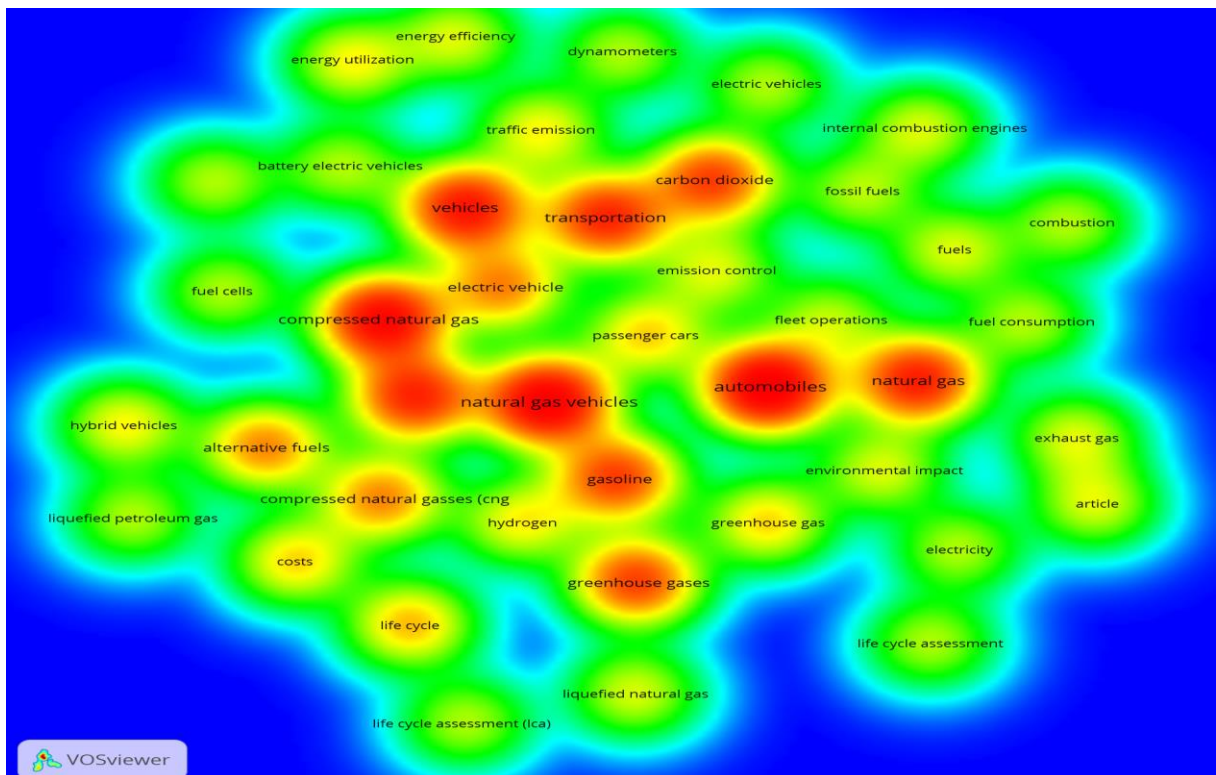
Figura 1 – Busca no Scopus com a palavra-chave “*Natural gas vehicle + Passenger cars*”.



Fonte: Autor.

A principal fonte de publicação é a SAE Technical Papers com 8% das publicações, seguido pela Applied Energy com 5,33%, Transportation Research Part D Transport And Environment com 3%. Em relação ao número de documentos por país, os Estados Unidos aparecem na frente com 13,33% das publicações, seguidos pela China e Suíça com 9,33%.

Figura 2 – Análise de co-ocorrência de palavra-chave no VOSviewer – Mapa de densidade.



Fonte: Software VOSviewer adaptado.

Analisando essa pesquisa no Software VOSviewer através de uma co-ocorrência de palavras-chave, obteve-se o mapa de densidade,

Figura 2. Com o mapa verifica-se a proximidade dos termos e os pontos de cada termo, que são calculados com base na quantidade de vezes que o termo aparece é determinante na identificação da cor. Quanto maior a proximidade dos termos mais próximos da cor vermelha os itens estarão. Em contrapartida, quanto menor a proximidade dos termos mais próximos da cor azul os itens estarão. Pode-se inferir que as palavras-chave mais recorrentes e próximas foram *compressed natural gas*, *natural gas vehicles*, *costs*, *gasoline*, *greenhouse gases*, *automobiles*, *transportation* e *carbono dioxide*, demonstrando a pertinência do trabalho.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação de mestrado é dividida em seis capítulos, os quais contemplam a introdução, revisão bibliográfica, metodologia de trabalho, construção da modelagem, resultados e conclusões.

O capítulo um refere-se à introdução do trabalho, que contextualiza e caracteriza o problema, justifica sua relevância e apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo dois, é contemplada a revisão bibliográfica utilizada como base para a construção da modelagem proposta, permeando as definições e características do panorama e características da produção, armazenagem, distribuição e utilização do gás natural, assim como os programas existentes. Também aborda os conceitos e definições de competitividade, mensuração de desempenho, e abordagem multicritério de apoio à tomada de decisão, que abrange a ferramenta AHP.

O capítulo três concentra-se na metodologia do trabalho, compreendendo a classificação da pesquisa, os instrumentos que serão utilizados, a descrição dos procedimentos a serem realizados e o cronograma de atividades.

No capítulo quatro realizou-se a estruturação e a construção da modelagem de mensuração da competitividade, compreendendo a árvore de decisão, construção dos indicadores e instrumentos de coleta de dados.

A modelagem foi submetida a teste durante a fase de avaliação dos resultados, a qual compreende o capítulo cinco desta pesquisa.

Por último, no capítulo seis foram formatadas as conclusões obtidas com a pesquisa associando-as aos objetivos, além de se expor as limitações e encaminhar recomendações para estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é abordado o embasamento teórico necessário à compreensão do tema pesquisado. Considerando o objetivo principal proposto, mostrou-se essencial realizar uma revisão acerca do panorama do gás natural, assim como se encontra a participação desse combustível na matriz energética brasileira. Também serão revisados os conceitos envolvidos no emprego desse gás combustível na mobilidade, como a produção, armazenamento, distribuição e utilização em veículos. Após, são abordadas as medidas normativas mais adotadas para o controle da poluição atmosférica por veículos automotores, demonstrando os valores toleráveis vigentes no programa brasileiro PROCONVE, além de apresentar os programas de eficiência e incentivos fiscais.

Para o desenvolvimento da modelagem é dissertado sobre os sistemas de mensuração de desempenho, mostrando os principais métodos e como realizar o processo de escolha do método. Por último, é apresentada a Abordagem Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA) e a metodologia de *Analytic Hierarchy Process* (Análise Hierárquica de Processos – AHP), visto que alguns desses conceitos são utilizados.

2.1 COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL COMPRIMIDO E SEUS EFEITOS

2.1.1 Composição química do gás natural e seus efeitos

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos naturais, tipicamente encontrado no subsolo, em reservatórios, tanto em bolsas de gás como preso num substrato como areia ou petróleo, e é extraído como um derivado do petróleo ou especificamente como gás bruto. Os outros hidrocarbonetos que podem ser encontrados em pequenas quantidades no gás natural incluem etano, propano e butano. O principal constituinte do gás natural é o metano (concentração acima de 90%), o alceno mais simples com apenas um átomo de carbono, e consequentemente, sem ligações carbono-carbono.

O gás natural comprimido é produzido pela compressão do gás natural convencional (que é principalmente composta de metano – CH₄) para menos de 1% do volume na pressão atmosférica padrão. O CNG, de origem interna ou externa comercializado no Brasil, deve atender a Portaria Nº 16 de 2008 (ANP) e seu Regulamento Técnico ANP Nº2/2008, conforme especificação do Quadro 2. As normas aplicáveis da portaria são regidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e da *International Organization for Standardization* (ISO).

Quadro 2 – Especificação do gás natural comercializado no Brasil.

Característica	Unidade	Limite			Método		
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste, Sudeste e Sul	NBR	ASTM D	ISO
Poder Calorífico Superior	kJ/m ³	34.000 a 38.400	35.000 a 43.000		15213	3588	6976
	kWh/m ³	9,47 a 10,67	9,72 a 11,94				
Índice de Wobbe	kJ/m ³	40.500 a 45.000	46.500 a 53.500		15213		6976
Metano, mín.	% mol.	68,0	85,0		14903	1945	6974
Etano máx.	% mol.	12,0	12,0		14903	1945	6974
Propano máx.	% mol.	3,0	6,0		14903	1945	6974
Butanos e mais pesados, máx.	% mol.	1,5	3,0		14903	1945	6974
Oxigênio, máx.	% mol.	0,8	0,5		14903	1945	6974
Inertes (N ₂ -CO ₂), máx.	% mol.	18,0	8,0	6,0	14903	1945	6974
CO ₂ , máx.	% mol.	3,0			14903	1945	6974
Enxofre Total, máx.	mg/m ³	70			-	5504	6326-3 6326 19739
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	mg/m ³	10	13	10	-	5504 6228	6326-3
Ponto de orvalho de água a 1 atm, máx.	°C	-39	-39	-45	-	5454	6327
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos a 4,5 MPa, máx.	°C	15	15	0	-	-	6570
Merúrio, máx.	µg/m ³	anotar			-	-	6978-1

Fonte: adaptado de (ANP, 2008).

As principais características físico-químicas que conferem segurança operacional ao gás natural são a densidade relativa ao ar atmosférico, inferior à 1, a não toxicidade, o elevado limite de inflamabilidade inferior, a estreita faixa entre os limites de inflamabilidade inferior e superior, e também a não explosividade. Portanto, em ambientes internos o gás natural não se acumula nas regiões inferiores, sendo suficiente para garantir sua dissipação a existência de orifícios superiores de ventilação e evacuação. Ainda por sua densidade, o gás natural não provoca asfixia. A asfixia ocorre quando um gás qualquer ocupa o espaço do ar atmosférico ao nível do ser humano, impedindo que este respire. A asfixia é a privação de oxigênio e independe da toxicidade do gás em questão.

O gás natural não é quimicamente tóxico, de modo que sua ingestão ou inalação acidental não provoca danos à saúde. Substâncias como o monóxido de carbono (CO), presente nos gases manufaturados e escapamentos de automóveis, e o cloro (Cl), utilizado

largamente na indústria, possuem a propriedade de se combinar com a hemoglobina do sangue animal e ocupar o lugar do oxigênio. Se esta é ocupada por outras substâncias, o oxigênio não alcança o corpo e provoca falência dos sistemas. As substâncias componentes do gás natural são inertes no corpo humano, não causando intoxicação.

O limite de inflamabilidade inferior do CNG é alto, o que significa que para atingir as condições de auto sustentação da combustão se faz necessária uma quantidade significativa de gás natural em relação à quantidade total de ar em um ambiente. Assim, na ocorrência de um escapamento de gás natural em um ambiente interior, as probabilidades de manutenção da combustão após a iniciação por uma fonte externa, como um interruptor de luz ou brasa de cigarro, são muito reduzidas. A faixa entre os limites de inflamabilidade inferior e superior é estreita. Isso significa dizer que, embora seja difícil alcançar o limite inferior de inflamabilidade em um escapamento de gás natural em ambiente interior, caso isso ocorra, a condição de diluição da mistura ar-gás natural que permite a auto sustentação da combustão após um incitação inicial é rapidamente perdida, pois logo se atinge o limite superior de inflamabilidade e o gás natural torna-se diluído em ar (GASNET, 2019).

A diferenciação técnica entre combustão e explosão reside basicamente na velocidade com que a mistura ar-combustível é queimada e na intensidade com que a energia é liberada. Assim, considerando que o gás natural não se acumula em ambientes internos, que as condições de inflamabilidade não são facilmente atingidas e que nestas condições a velocidade de propagação da combustão do gás natural é a menor entre os gases combustíveis, a possibilidade de ocorrência de explosões por escapamento de gás é mínima. Considerando que o gás natural é sempre transportado e armazenado puro, sem contato com o ar, a ocorrência de processos explosivos só é possível nas manobras de partida e parada dos sistemas quando ar está presente nas tubulações e vasos. A aplicação de um gás inerte, como o nitrogênio, para realizar a purga do ar é suficiente para eliminar tais riscos (GASNET, 2019).

A simples estrutura química do metano torna sua combustão incrivelmente limpa (KHAN et al., 2016a). Quando utilizado, obtém-se baixas emissões de material particulado (*particulate matter* – *PM*) e toxicidade dos gases de exaustão. No entanto, pode-se obter elevados índices de emissões de NO_x , dependendo do tipo de combustão e da possibilidade de pós-tratamento de gases da exaustão (KHAN et al., 2016a). Esses são alguns dos motivos para que o CNG seja identificado por alguns autores como um candidato para ser o combustível verde dos meios de transporte, frente aos demais combustíveis alternativos (KHAN et al., 2016a). Devido ao alto número de octanas equivalentes, que varia entre 120 e 130, o CNG

tem maior resistência a autoignição se comparado à gasolina e etanol, o que possibilita maiores razões de compressão e, por conseguinte, maiores eficiências nos MCI.

As propriedades da combustão do gás natural são significativamente diferentes em relação aos combustíveis comumente utilizados, como gasolina, diesel e etanol. Nesse contexto, destaca-se as propriedades termodinâmicas da mistura. Enquanto a combustão da gasolina e etanol é mais rápida, com o gás natural a combustão é lenta, o que resulta em menores picos de pressão no cilindro. Isso reduz as perdas por transmissão de calor do motor, assim como as perdas de bombeamento são reduzidas através da injeção do combustível gasoso e consequente aumento da abertura da borboleta (KHAN et al., 2016a). O desempenho do motor alimentado por CNG também é altamente dependente do modo de injeção de combustível (injeção indireta no coletor de admissão ou injeção diretamente no cilindro). Dependendo desse aspecto, pode-se obter perdas de até 20% na potência do motor, particularmente devido à queda em eficiência volumétrica. Isso é decorrente da sua baixa densidade, resultando na significativa redução da quantidade de ar admitida pelo motor se comparado aos combustíveis líquidos. (KAKAEE; PAYKANI; GHAJAR, 2014; KHAN et al., 2016a).

2.1.2 Emissões e legislação a respeito de emissões veiculares

2.1.2.1 *Proconve*

Em 6 de maio de 1986, a Resolução nº 18 do CONAMA criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), coordenado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). Este programa brasileiro definiu os primeiros limites de emissões para veículos leves e contribuiu para o atendimento aos padrões de qualidade do ar instituídos pelo Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR) (BRASIL, 2014). Em 28 de outubro de 1993, a lei nº 8.723 endossou a obrigatoriedade de reduzir os níveis de emissão dos poluentes de origem veicular, contribuindo para induzir o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de combustíveis, motores e autopeças, e permitindo que veículos nacionais e importados passassem a atender aos limites estabelecidos (BRASIL, 2014). Esses limites foram estabelecidos a cada fase, obtendo-se novas restrições com novos padrões a serem atingidos pela indústria automotiva. Essa dinâmica acabou estimulando o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como a adoção de catalisadores e injeção eletrônica no passado, assim como injeção direta de combustível e turbo compressores

no presente. O cumprimento dessas exigências é aferido por meio de ensaios padronizados em dinamômetro e com combustíveis de referência (BRASIL, 2014). Outro ponto importante a ressaltar é que o controle pelo programa se dá a partir da classificação dos veículos em razão de seu (PBT), sendo que as fases caracterizadas por “L” para veículos leves e “P” para veículos pesados, são implantadas segundo estratégias diferenciadas ao longo das diferentes fases (BRASIL, 2014).

Em 2009, o CONAMA introduziu a Fase L6 que entrou em vigor em 2013 e permanece até os dias de hoje, conforme índices da Tabela 1. Essa fase estabeleceu novos limites máximos para a emissões de gases de veículos automotores novos de passageiros, com massa menor ou igual a 1.700 quilogramas, e veículos leves comerciais com massa superior a 1.700 quilogramas. Ambas as categorias são para uso rodoviário, e contemplam tanto veículos do ciclo Otto quanto veículos do ciclo Diesel. (BRASIL, 2014).

Tabela 1 – Síntese dos requisitos da fase L6 do PROCONVE para automóveis.

	Limites de Emissões						
	CO (mg/km)	HC (mg/km)	NMHC (mg/km)	NOx (mg/km)	CHO ⁽²⁾ (mg/km)	EVAP ⁽⁵⁾ (mg/teste)	CO ⁽²⁾ (%)
Fase L6	1300	300 ⁽¹⁾	50	80	20 ⁽²⁾	1500	0,20
Legenda	(1) - Somente para veículos movidos a GNV; (2) - Somente para veículos movidos a gasolina ou etanol; (5) - A partir de 1/1/2012, estes limites são exigidos para os novos modelos (novas homologações);						

Fonte: adaptado de IBAMA (2011).

Mesmo com significativo aumento da frota brasileira de veículos automotores, esses resultados fizeram com que se tivessem condições de exercer um melhor controle sobre a poluição atmosférica, garantindo a qualidade do ar nas grandes cidades brasileiras (IBAMA, 2011).

Segundo Conama (2018), o Ibama está em fase de construção da nova fase L7 do PROCONVE, conforme versão preliminar ilustrada pela Tabela 2.

Tabela 2 – Limites máximos de emissão de poluentes por categoria de veículos, para veículos da fase PROCONVE L7.

Categoria	Limites de Emissões						
	NMHC ⁽¹⁾ + NOx (mg/km)	MP ⁽²⁾ (mg/km)	CO (mg/km)	Aldeídos ⁽⁴⁾ (mg/km)	NH3 ⁽³⁾ (ppm)	Evaporativa ⁽⁴⁾ (g/teste 24h)	Durabilidade (km*1000)
Leve Passageiro	80	6	1000	15	Declarar	2,0	160
Leve Comercial	140(4)	6(4)		-			
	320(5)	20(5)		-			
Legenda	(1) NMHC equivalente (MIR) para uso de etanol hidratado e NMHC para uso dos demais combustíveis (2) Aplicável a veículos equipados com motores do ciclo Otto com injeção direta de combustível ou motores do ciclo Diesel (3) Aplicável a veículos equipados com motores do ciclo Diesel com sistemas de pós-tratamento que utilizem agente redutor líquido (4) Aplicável somente a veículos equipados com motores do ciclo Otto (5) Aplicável somente a veículos equipados com motores do ciclo Diesel						

Fonte: CONAMA (2018).

2.1.2.2 Gases oriundos da combustão

Em relação às emissões gasosas, pode-se verificar na Tabela 3 a quantidade de emissões de GHG produzidas por vários modos de transporte, dividindo-se entre produção e distribuição assim como durante a operação do veículo.

Tabela 3 – Análise de emissões de CO₂ considerando todo o ciclo de vida do combustível (*well-to-wheel*).

Emissões	Gasolina	Gás Natural	Elétricos
Utilizado na Produção e Distribuição	100 g/milha equivalente	50 g/milha equivalente	125 g/milha equivalente
Operação do Veículo	325 g/milha	250 g/milha	0 g/milha
Total	425 g/milha equivalente	300 g/milha equivalente	125 g/milha equivalente

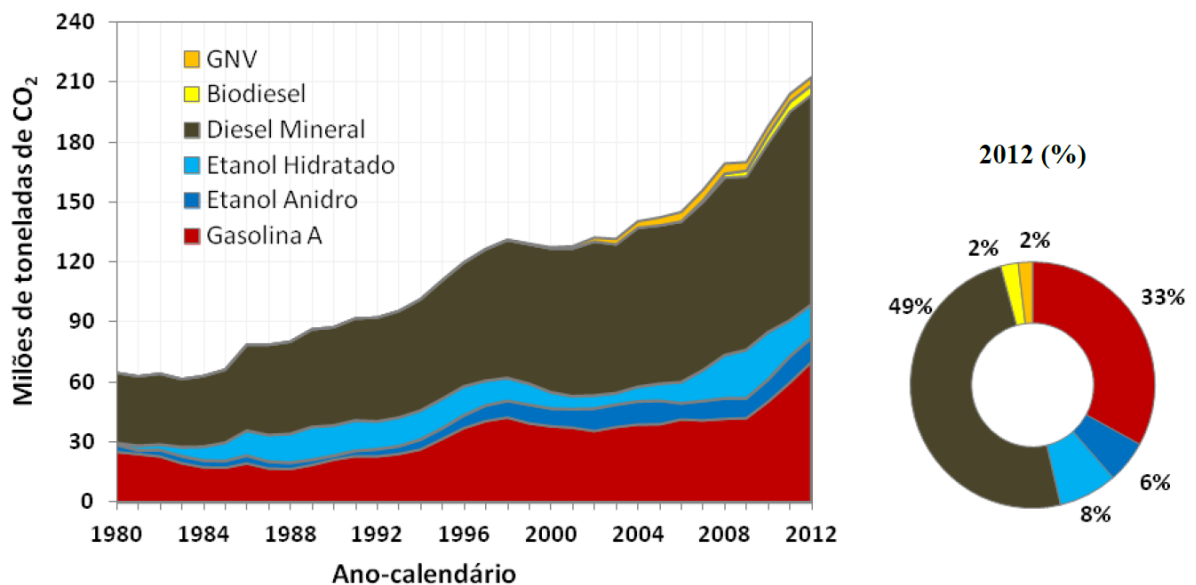
Fonte: Adaptado de SHERRY STONER et. al. (2007).

Os resultados apresentados permitem afirmar que os veículos abastecidos a GNV emitem 30% menos que aqueles a gasolina, considerando as fases de operação do veículo, produção e distribuição do gás. No entanto, deve-se atentar que os resultados de ciclo de vida do combustível (*well-to-wheel*) podem apresentar grande dispersão dependendo de como são realizados. Além disso, a fase de produção e descarte das baterias necessárias para veículos

elétricos produz muito mais CO₂ do que a produção de veículos a gasolina ou GNV, o que retrata um fator negativo na aplicação de veículos elétricos (RAMACHANDRAN; STIMMING, 2015; SHERRY STONER, TIM OLSON, MCKINLEY ADDY, ROSELLA SHAPIRO, B. B. BLEVINS, JAMES D. BOYD, 2007)(RAMACHANDRAN; STIMMING, 2015; STONER, S. et. al. 2007)

Em 2012 foram emitidas quase 213 milhões de toneladas de CO₂, 38% disso originado de automóveis (incluindo os veículos abastecidos a GNV), praticamente o mesmo percentual originado de caminhões, enquanto ônibus urbanos e micro-ônibus emitiram 8% do total. As emissões de dióxido de carbono (CO₂) apresentadas na Figura 3 são aquelas ocorridas a partir da queima dos combustíveis durante o uso dos veículos, não contabilizando, portanto, as emissões (ou remoções) ao longo de todo o ciclo de vida dos combustíveis (well-to-wheel ou WTW).

Figura 3 – Emissões de CO₂ por tipo de combustível.



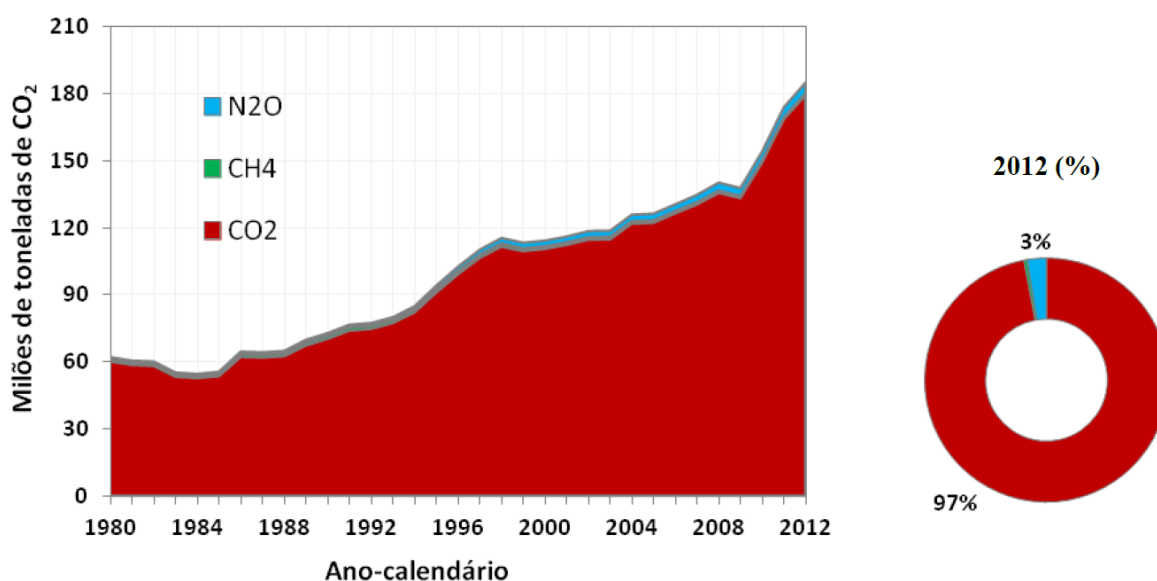
Fonte: Brasil (2014).

Os resultados da participação desagregada da frota na emissão de CO₂ remetem também à análise da contribuição relativa dos combustíveis. Assim, a Figura 3 mostra que, do total de emissões do setor de transporte rodoviário em 2012, 49% veio da queima do diesel de origem fóssil, 2% do biodiesel, 33% da gasolina, 14% do etanol, e 2% do GNV.

O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de GEE pelo seu potencial de aquecimento global. CO₂ equivalente (CO_{2eq}) é uma

medida utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa, baseada no potencial de aquecimento global de cada um. A Figura 4 mostra as emissões CO₂eq, desagregadas por gás de efeito estufa. Dentre os principais causadores do efeito estufa estão o CO₂, CH₄ e N₂O, e em menor proporção que esses, o vapor de água.

Figura 4 – Emissões de CO₂ equivalente por tipo de gás.



Fonte: Brasil (2014).

A partir de 1990, a parcela decorrente dos automóveis aumentou em maior taxa que a dos demais segmentos. Em 2012, do total de CO₂ equivalente emitido, os automóveis foram responsáveis por 33%, seguidos dos caminhões semipesados com 17% e dos caminhões pesados com 16%.

Em 2012, o CO₂ foi responsável por 97% das emissões de CO₂equivalente (CO₂eq), sendo assim o gás de efeito estufa mais representativo para o transporte rodoviário. Ainda, nos dados apresentados são incluídas as emissões de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis, além das emissões de CH₄ e de N₂O para todos os combustíveis. Os equivalentes de CO₂ utilizados seguem a métrica GWP (*Global Warming Potential*) e são os mesmos valores apresentados na Comunicação Nacional do Brasil à Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Os fatores GWP são 21 para o CH₄ e 310 para o N₂O (BRASIL, 2014).

Verifica-se que ao longo dos últimos anos houve um crescimento das emissões de CO₂, gás de efeito estufa mais representativo para o transporte rodoviário. Por outro lado,

tem-se a evolução das normas regulamentadoras para reduzir esse aumento de emissões, o que demonstra a importância desse tema para o desenvolvimento desse estudo. Ainda, existem programas como o Proconve, em suas fases L6 e L7 que objetivam restringir as emissões dos veículos brasileiros.

2.2 PANORAMA DO GÁS NATURAL

2.2.1 Produção, armazenagem e transporte

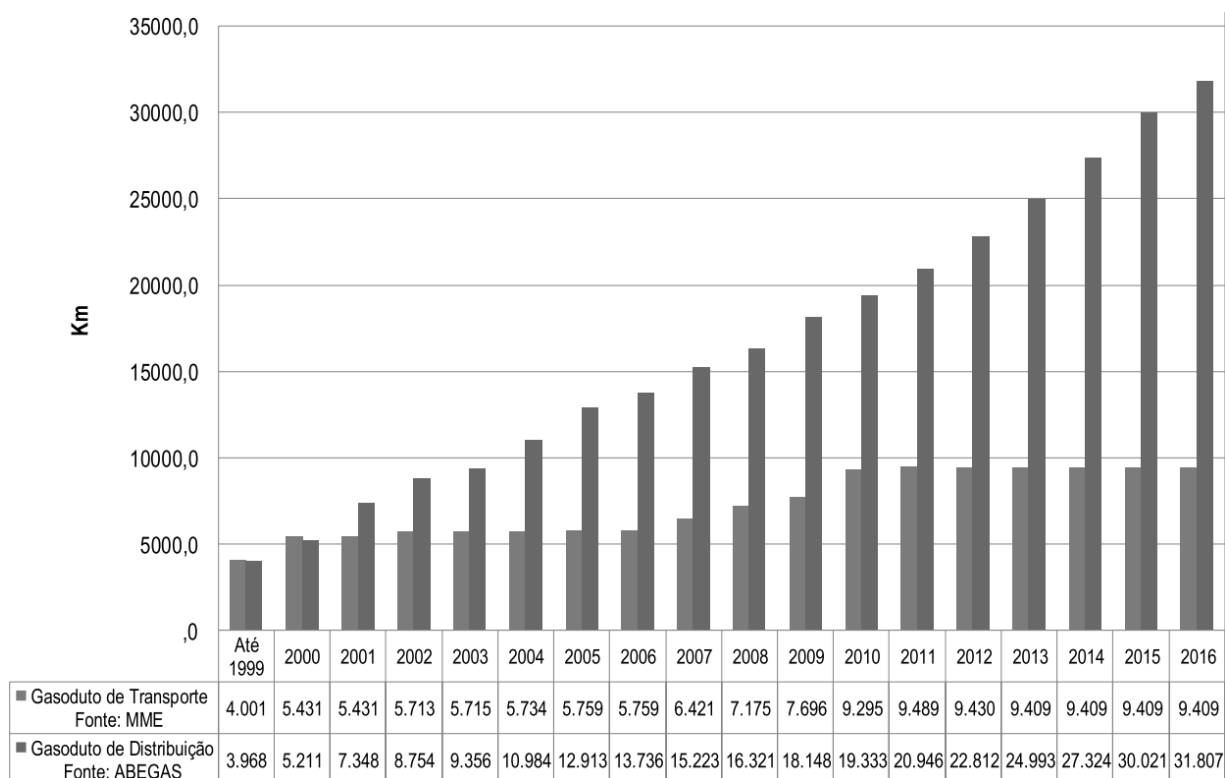
No Brasil, o gás natural é comercializado nos modos gás natural veicular (GNV), gás natural comprimido (*compressed natural gas* - CNG) e gás natural liquefeito (*liquefied natural gas* – LNG). O gás natural é comumente armazenado e transportado como gás natural comprimido, termo utilizado para o metano ou gás natural que foi submetido a altas pressões (tipicamente 25MPa). O gás natural continua no estado gasoso em todas as fases deste processo de pressurização. No caso do gás natural liquefeito, o metano é geralmente refrigerado para -180° C para sua liquefação, o que requer tanques criogênicos isolados a vácuo para sua manutenção na forma líquida (COMPAIR, 2018). O escoamento do gás natural é otimizado quando utilizado em rede de gasodutos através do transporte de cilindros em alta pressão (gás natural comprimido), ou a modificação de seu estado físico para a sua condução em navios criogênicos (Gás natural liquefeito, ou *Liquefied Natural Gas*) e desembarque em terminais de regaseificação.

O segmento de transporte por gasodutos apresenta características técnicas e econômicas que determinam a estrutura de funcionamento da indústria e a estrutura organizacional das atividades ao longo da cadeia produtiva. A Lei nº 11.909/2009 (Lei do Gás) estabelece três definições de gasodutos: (i) gasodutos de transferência, (ii) gasodutos de escoamento da produção e (iii) gasodutos de transporte. Gasodutos de transferência são dutos destinados à movimentação de gás natural nas fases iniciais de produção, considerados de interesse específico e exclusivo de seu proprietário, iniciando e terminando em suas próprias instalações de produção, sendo utilizados para coleta, transferência, estocagem e processamento de gás natural. Em relação aos gasodutos de escoamento da produção, estes são destinados à movimentação de gás natural desde os poços produtores até instalações de processamento e tratamento ou unidades de liquefação. Os gasodutos de transporte se caracterizam como infraestruturas para movimentação de gás natural desde instalações de processamento, estocagem ou outros gasodutos de transporte até instalações de estocagem, outros gasodutos de transporte e pontos de entrega a concessionários estaduais de distribuição

de gás natural. A infraestrutura dutoviária de transporte de gás natural é composta, além dos gasodutos em si, por instalações necessárias à segurança, proteção e operação do gasoduto, compreendendo, mas não se limitando, aos seguintes estágios: pontos de recebimento, pontos de entrega, estações de interconexão, estações de compressão, dentre outras (ANP, 2017a).

No Brasil, o principal modal de transporte do insumo energético ao longo da indústria de gás natural é a rede dutoviária de transporte. A malha nacional de gasodutos de transporte tem aumentado continuamente ao longo dos anos, registrando em dezembro de 2016 uma extensão total de 9.409 km distribuídos por todas as regiões brasileiras, sendo que 96,1% são controlados pela Petrobras. A estatal também possui o controle das infraestruturas de escoamento, os terminais de importação de GNL e unidades de tratamento, bem como dos gasodutos de distribuição, que estão conectados aos dutos de transporte (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2017).

Figura 5 – Evolução das malhas de transporte e distribuição



Fonte: MME; Secretaria e Petróleo (2017)

A reestruturação dos serviços de distribuição de gás natural canalizado e a privatização das distribuidoras nos estados de São Paulo e no Rio de Janeiro (maiores centros

consumidores de gás natural) provocaram mudanças significativas no mercado e resultaram em investimentos expressivo na expansão da malha de distribuição, apresentando um crescimento médio de 14% a.a., enquanto que a malha de transporte apresentou crescimento de apenas 6% a.a. conforme Figura 5 (PINTO, 2014).

Além do gás natural produzido nacionalmente, este combustível é também importado por meio de gasodutos ou na forma de gás natural liquefeito por meio de terminais de regaseificação. O Quadro 3 ilustra por onde é realizada a importação brasileira.

Quadro 3 – Gasodutos no exterior, por onde é realizada a importação brasileira.

Gasodutos		Origem	Destino	Extensão (km)
GTB até Chiquitos	Trecho Boliviano - GTB	Rio Grande (Bolívia)	Est. Chiquitos (Bolívia)	557
GTB após Chiquitos		Est. Chiquitos (Bolívia)	Mutum Divisa com o Brasil - GASBOL	
Est. Chiquitos Brasil	Gas Oriente Boliviano - GTB	Est. Chiquitos (Bolívia)	Divisa com o Brasil (San Matias)	362
Aldea Brasileira - Uruguiana	Trecho Argentino - TGM	Aldea Brasileira (Argentina)	Divisa com o Brasil - Eixo do Rio Uruguai	450
TOTAL				1369
TGM: Transportadora de Gas del Mercosur GTB: Gás TransBoliviano S.A.				

Fonte: adaptado de (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2017)

A resolução da ANP N° 16 de 17 junho de 2008 também descreve alguns conceitos importantes, conforme segue (ANP, 2008):

- Carregador: pessoa jurídica que contrata o transportador para o serviço de transporte de gás natural especificado;
- Transportador: pessoa jurídica autorizada pela ANP a operar as instalações de transporte;
- Gás Natural Processado: é o gás natural nacional ou importado que, após processamento, atende à especificação do Regulamento Técnico ANP parte integrante desta Resolução;
- Gás natural liquefeito: é o gás natural no estado líquido obtido mediante processo de criogenia a que foi submetido e armazenado em pressões próximas à atmosférica;

- Instalações de Transporte: dutos de transporte de gás natural, suas estações de compressão ou de redução de pressão, bem como as instalações de armazenagem necessárias para a operação do sistema;
- Ponto de Recepção: ponto no qual o gás natural especificado é entregue pelo carregador ou quem este autorize ao transportador;
- Ponto de Entrega: ponto no qual o gás natural especificado é entregue pelo transportador ao carregador ou quem este autorize.

O gás natural é distribuído para quase todos estados brasileiros, Figura 6, cobrindo mais regiões que o GNV, visto na Figura 7. Apenas o Acre, Roraima e Tocantins não são atendidos, com destaque para a maior demanda oriunda dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com três e duas distribuidoras, respectivamente.

Figura 6 – Mapa das regiões que atendidas pelas concessionárias de gás natural

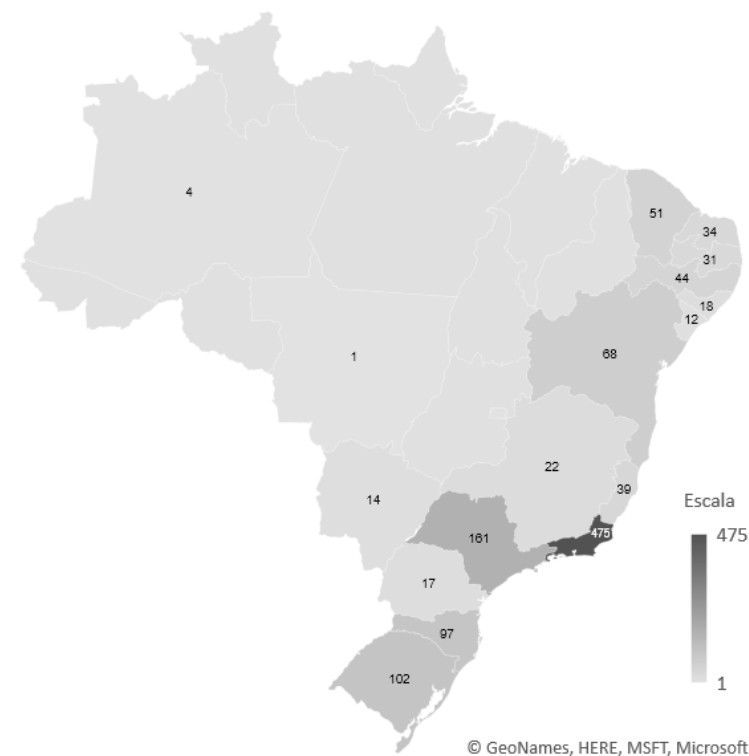


Fonte: ABEGAS (2018)

A distribuidora Comgas (SP) recebe cerca de 65% de gás importado e 35% de gás nacional, e a distribuidora Gasmig (MG) recebe 50% de gás importado e 50% nacional (EPE);

MME, 2014). As demais distribuidoras de São Paulo, assim como as pertencentes aos estados da Região Sul, recebem apenas gás importado. As distribuidoras do Rio de Janeiro e as das Regiões Norte e Nordeste recebem apenas gás nacional (EPE; MME, 2014). A Comgás é uma das três companhias (Gás Brasileiro, Comgás e Gás Natural Fenosa) que fornece para o estado de São Paulo, e possui mais de 15 mil quilômetros de rede de distribuição em 87 municípios, abastecendo com gás natural os segmentos industrial, comercial, residencial e automotivo, além de viabilizar projetos de cogeração e fornecer gás para usinas de termogeração. (COMGÁS, 2018a). Outros dois grandes centros urbanos da região sudeste são as regiões metropolitanas de Rio de Janeiro e Minas Gerais. A Ceg Rio, distribuidora do Rio de Janeiro, em 2017 foi a que obteve maior demanda, consumindo 12,705 milhões de m³/dia. Em segundo ficou a Comgás, com 11,785 milhões de m³/dia (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2017). A Gasmig, que atende o estado de Minas Gerais, prevê a ampliação da oferta de gás natural para as regiões do Vale do Aço, Sul de Minas, Mantiqueira e Campos das Vertentes, além da Região Metropolitana de Belo Horizonte. (GASMIG, 2018).

Figura 7 – Distribuidoras regionais de gás natural veicular.



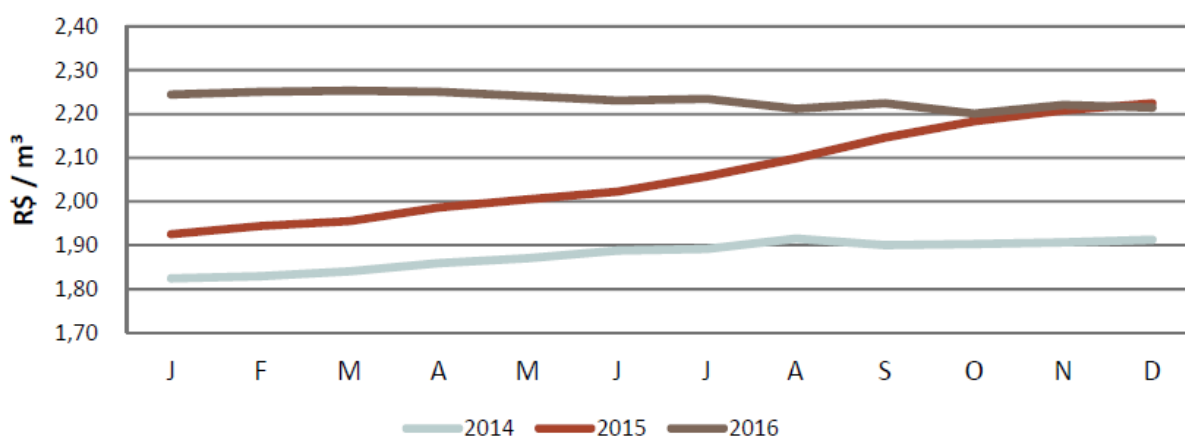
Fonte: GASNET (2017)

Em se tratando das distribuidoras de GNV, atualmente no país existem 1759 postos de abastecimento distribuídos em todas as regiões (GASNET, 2019). Nos estados do Acre, Roraima, Rondônia, Pará, Amapá, Maranhão, Tocantins e Distrito Federal não existe distribuição de gás natural veicular, conforme visto na Figura 7.

Ainda em relação aos postos de combustíveis que fornecem GNV, no estado do Amazonas existem apenas dois postos em Manaus, enquanto na região Centro-Oeste, apenas três em Campo Grande e um posto em Três Lagoas.

A comercialização de gás natural no Brasil é aferida pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (ABEGÁS). O volume de gás natural comercializado no Brasil para o segmento automotivo (postos de revenda) através das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado, incluindo os volumes de CNG e LNG, aumentou em média 2,94% entre 2014 e 2016. Porém, verifica-se que o preço médio pago pelo consumidor aumentou aproximadamente 18% nesse período, principalmente ao longo do ano de 2015, mantendo-se estável em 2016, Figura 8.

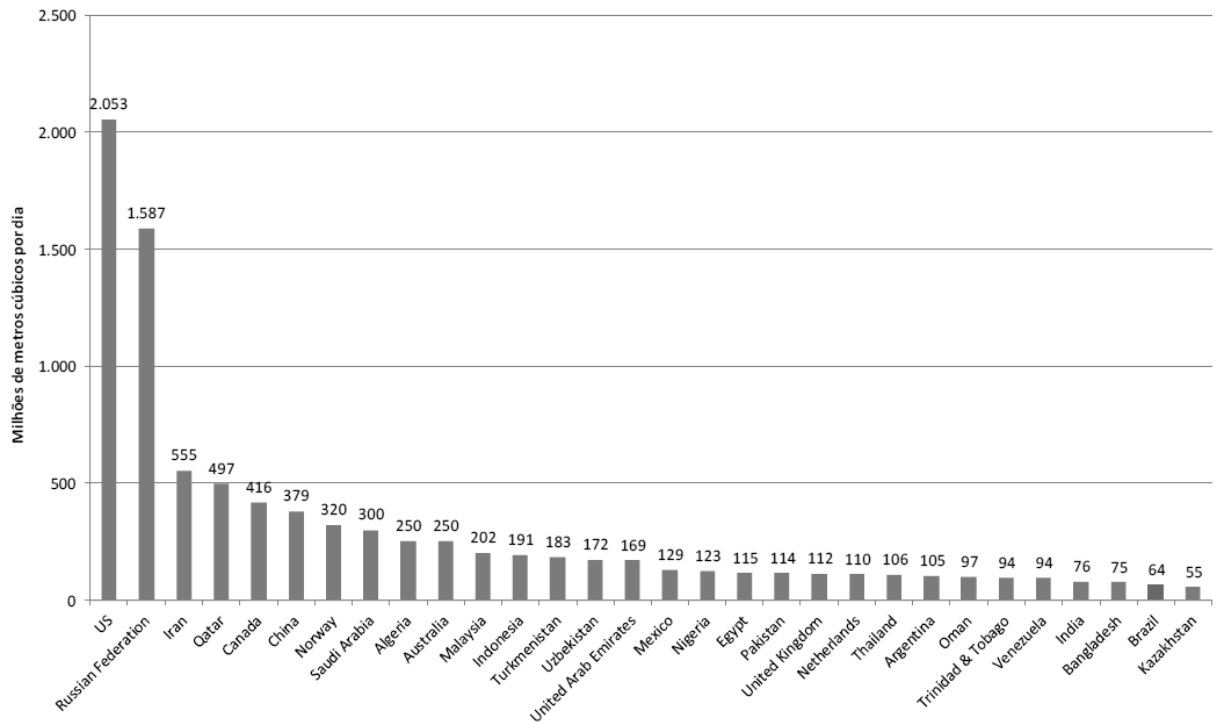
Figura 8 – Preço médio do GNV ao consumidor em 2014, 2015 e 2016



Fonte: ANP (2016)

A região sudeste é a principal consumidora de GNV (70,32%). Atualmente, o Brasil ocupa a 33ª colocação entre os países com maior reserva provada e a 29ª colocação entre os países com maior produção de gás natural (64 milhões de m³/dia – Figura 9), assim como a 27ª colocação entre os países com maior consumo de gás natural (BRITISH PETROLEUM, 2017).

Figura 9 – Países com maior produção de gás natural.



Fonte: Adaptado de MME e Secretaria de petróleo (2017)

O gás natural pode ser classificado em duas categorias: associado e não associado. O gás associado é aquele que, no reservatório geológico, se encontra dissolvido no petróleo ou sob a forma de uma capa de gás. Neste caso, normalmente privilegia-se a produção inicial do óleo, utilizando-se do gás para regular a pressão do reservatório auxiliar na recuperação de líquidos, assim como para o consumo nas unidades produtivas e queimadas nas torres de *flare*. O gás não-associado é aquele que está livre do óleo e da água no reservatório, sendo sua concentração predominante na camada rochosa, permitindo a produção basicamente de gás natural. O gás natural produzido no Brasil é predominantemente de origem associada ao petróleo (EPE; MME, 2014).

A maior proporção do gás natural a ser produzido nos próximos 10 anos é de gás associado, sendo que as contribuições das bacias de Campos e Santos, juntas, correspondem a aproximadamente 90% do total previsto para 2026, com produção muito significativa das acumulações do pré-sal. No caso do gás natural não associado, predomina a influência das unidades produtivas das bacias do Amazonas, Parnaíba, Sergipe-Alagoas (águas profundas) e Solimões (MME; EPE, 2017).

As importações de gás natural no Brasil foram iniciadas com a entrada em operação do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) em julho de 1999. Isso permitiu à indústria de gás natural brasileira uma nova perspectiva e a transformação em um dos pilares da expansão da política energética nacional. A viabilização técnica e econômica do projeto do gasoduto interligando a Bolívia ao Brasil (GASBOL), além de ser considerada uma obra de caráter político desenvolvimentista na integração regional da América Latina, atendeu aos interesses dos países envolvidos no acordo. Para o Brasil, o gasoduto permitiu uma maior diversificação das fontes energéticas e intensificação do uso do gás natural na matriz energética, enquanto que para a Bolívia a obra representou uma possibilidade de monetizar as grandes reservas de hidrocarbonetos do país (PINTO, 2014).

Além das importações por gasoduto, o mercado brasileiro de gás natural possui terminais de regaseificação de gás natural liquefeito. O início das importações de LNG, ainda que em pequenos volumes, se deu com a inauguração do terminal de regaseificação de Pecém, no Ceará, em agosto de 2008. Esse terminal, cuja proprietária é a Petrobras, possui capacidade para regaseificar até 7 milhões de metros cúbicos diários de gás. Em março do ano seguinte, inaugurou-se o terminal da Baía da Guanabara, este maior, com capacidade de 14 milhões de m³/dia. Em dezembro de 2012, com a ampliação deste terminal, sua capacidade aumentou para 20 milhões de m³/dia. Em ambos os terminais, o processo de regaseificação se dá em navios, que também possuem função de armazenamento do gás liquefeito.

Ainda na região sudeste, existe a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), localizada na cidade de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo. Com papel de destaque no aumento da oferta de gás natural para o mercado brasileiro, a UTGCA alcançou, em outubro de 2015, o recorde diário de produção com 17,41 milhões de metros cúbicos (m³). A unidade passou por obras de adequação e ampliação, finalizadas em 2014, que possibilitaram processar o gás natural proveniente da área do pré-sal da Bacia de Santos. Atualmente a UTGCA apresenta capacidade total de processamento de 20 milhões de m³/dia de gás natural. O gás processado na UTGCA dá origem a três produtos: o gás natural, que tem uso industrial, residencial e veicular; o GLP, gás liquefeito de petróleo, ou popularmente conhecido como gás de cozinha; e o C5+ (condensado), parte líquida do gás.

A infraestrutura de importação por gasodutos entra no território nacional basicamente pela Região Centro-Oeste, enquanto os terminais de regaseificação de LNG se localizam ao longo do litoral, Figura 10. Os gasodutos Lateral-Cuiabá, Uruguaiana-Porto Alegre (trecho 1) e Urucu-Coari-Manaus (assim como o Polo de Processamento de Urucu) são considerados sistemas isolados. O sistema Lateral-Cuiabá atende à demanda da Termoelétrica de Cuiabá, o

que também ocorre para a Termoelétrica de Uruguaiana. O gasoduto Urucu-Coari-Manaus também atende o Polo de Processamento de Urucu (MME; EPE, 2017).

Figura 10 – Infraestrutura de processamento e transporte de gás natural existente e em construção no Brasil.



Fonte: adaptado de MME; EPE (2017)

A produção de gás natural no Brasil apresentou crescimento contínuo ao longo da última década, impulsionada pelas descobertas de novas reservas e entrada em operação de novos campos produtores. A maior parte da produção do gás natural nacional permanece localizada em mar, correspondendo a 75% do total produzido, enquanto cerca de 70% da produção de gás natural é composta por gás natural associado ao petróleo. Em função do perfil da produção de gás natural, o qual dependente da produção de petróleo, existe um

elevado índice de não aproveitamento do gás natural do Brasil. Parcela considerável do gás natural é utilizada nas atividades do *upstream* da cadeia produtiva em processos que envolvem a própria fabricação do gás e de seus derivados; na reinjeção nos campos de produção de petróleo e/ou gás natural a fim de manter a pressão do reservatório; e também na queima em *flares* a fim de manter a segurança nas unidades de produção. (MME; EPE, 2017; PINTO, 2014).

Em relação ao transporte de gás através de gasodutos, estes são recomendados nos casos onde a demanda é maior, quando comparados ao transporte rodoviário ou aquaviário. Por outro lado, de modo a suprir a demanda das localidades não supridas pelos gasodutos, atualmente no Brasil se utiliza o transporte rodoviário de CNG ou LNG. Como o gás natural comprimido ocupa um volume aproximado de 268 vezes inferior ao volume ocupado nas condições normais, esse modo de transporte pode ocorrer em caminhões, carretas, entre outros. Quanto maior a compressão do gás, menor o volume ocupado e, portanto, maior será a quantidade transportada. Dessa forma, conforme for a demanda e a distância da utilização do gás, pode-se optar pelo LNG para se conseguir transportar maior quantidade de gás. Para isso, ressalta-se a análise para cada caso. De modo geral, o CNG é transportado em semirreboques com a disposição de armazenamento composto de vários tubos menores. A capacidade transportada pode variar de acordo com o modelo do caminhão, onde as pressões normalmente variam de 165 bar a 250 bar, e um volume máximo por carreta de 2.150 m³ a 10.050 m³ normalizados. Atualmente uma carreta de 40 toneladas pode transportar cerca de 5.700 Nm³ de CNG, enquanto se transporta em torno de 24.400 Nm³ de LNG em um veículo semelhante. Segundo Bendezú (2009) o número de carretas transportadoras de CNG aumenta rapidamente com a distância a ser percorrida e por isso apresenta grande impacto nos custos de investimento e de operação devida diferença da quantidade transportada, quando comparado com o LNG. Logo, para distâncias maiores, recomenda-se o transporte do gás liquefeito, devido à sua elevada densidade energética em uma mesma unidade de volume. Por outro lado, a infraestrutura de compressão e descompressão de LNG é mais custosa, o que implica a análise de cada caso para a escolha do transporte mais viável. No Brasil geralmente se transporta LNG para regiões com demanda elevada e distâncias superiores a 250 km do *Citygate* (ponto de entrega), e, para demandas e distâncias inferiores, se utiliza o transporte de CNG.

2.2.1.1 *Previsão de produção de gás*

Em 2013 a participação nacional de gás natural ofertado foi 48,57 milhões de m³/dia em média. Entre 2014 e 2016, a participação se manteve em 52 milhões de m³/dia, aumentando em 2017 para 60,46 milhões de m³/dia. Em relação a oferta importada, em 2013 sua participação era de 46,47 milhões de m³/dia, aumentando em 2015 para 52,93, e a partir desse ano, essa começou a reduzir até os dias atuais. Destaca-se que houve redução de gás importado de 50,43 em 2015 para 32,13 milhões de m³/dia em 2016, e reduzindo ainda mais em 2017, ficando em 29,37 milhões de m³/dia em média. Essa redução de oferta mais acentuada do gás importado foi impactada pela redução na demanda no Brasil, que diminuiu de 98,63 em 2015 para 80,26 milhões de m³/d em 2016. Em 2018 continuou reduzindo a oferta importada, ficando entre 21 a 27 milhões de m³/dia de janeiro a março. Somando-se a oferta nacional e importada, a maior oferta foi no ano 2015, com 105,10 milhões de m³/dia em média. Já no ano seguinte, caiu para 84,54 milhões de m³/dia. Em 2017, houve pequeno aumento fechando o ano com 89,83 milhões de m³/dia, tendo destaque o crescimento da produção anual e a redução da importação (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2017, 2018).

Considerando o ano de 2017, do volume total de gás natural (nacional e importado) ofertado ao mercado brasileiro, que foi de 89,83 milhões m³/dia em média, 67,3% (60,46 milhões m³/dia) foi de origem nacional e 29,37% (26,38 milhões m³/dia) de produção importada. Do total de volume importado, 83% (21,89 milhões m³/dia) foi de origem boliviana e o restante 17% foi importado como GNL dos países Angola, Catar, Estados Unidos, França, Nigéria, Trinidad e Tobago, e regaseificado nos terminais de Aratu (Bahia) e Pecém (Ceará). Entre os anos de 2013 e 2015 também houve importação de pequena parcela de gás natural pelo gasoduto Brasil-Argentina, atendendo principalmente a região sul do país. Após esse período não houve mais importações da Argentina.

Em 2014 foi concebido o Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviária (PEMAT 2013-2022) a fim de cumprir uma obrigação governamental sancionada em 4 de março de 2009, quando foi aprovada a Lei nº 11.909 (Lei do Gás). Esse plano contém as bases para a expansão da infraestrutura de gás natural no Brasil e visa identificar as alternativas elegíveis para a expansão ou ampliação da malha de gasodutos de transporte nacional no ciclo do PEMAT (2013-2022), considerando aspectos técnicos, econômicos e socioambientais.

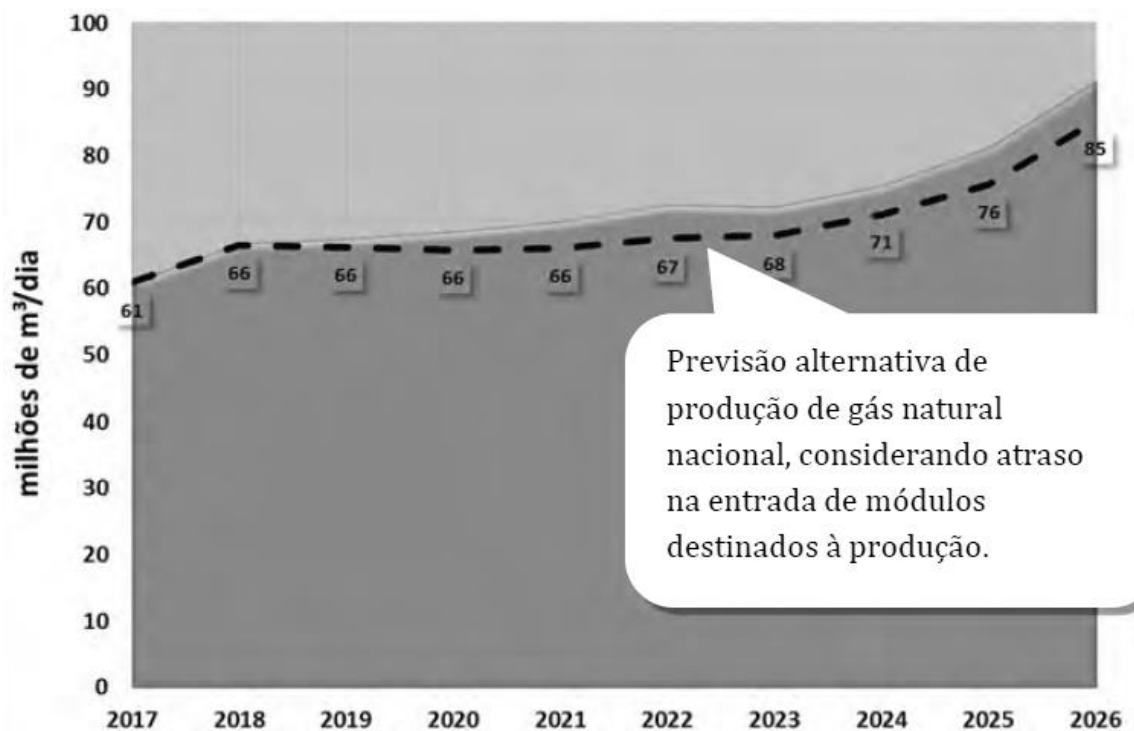
Segundo Croso e Santos (2014), as projeções do PEMAT 2022 foram muito otimistas se comparado aos órgãos internacionais (Agência Internacional de Energia e *U.S. Energy Information Administration*). Um dos principais motivos citados é o fato de que o PEMAT considera o uso do gás para geração de energia em termelétricas com base no LNG, visto que o governo brasileiro tem uma estratégia de segurança energética. Ainda, o estudo cita que o plano apresentou resultados que frustraram as expectativas do mercado de gás e de setores industriais, que aguardavam resultados favoráveis à expansão da malha.

Quanto à previsão de expansão das instalações existentes, encontram-se em processo de construção: o Polo de Processamento de gás natural do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro e o trecho Horizonte/CE – Caucaia/CE, com 83,2 km, integrante do projeto original do Gasoduto de Transporte Serra do Mel – Pecém (GASFOR II), localizado na Região Nordeste (MME; EPE, 2017). Também existe um terminal de LNG com capacidade de regaseificação de 14 MMm³/dia em Barra dos Coqueiros/SE, conectado à UTE Porto Sergipe I com demanda máxima de aproximadamente 6 MMm³/dia. Logo, a capacidade excedente de 8 MMm³/dia pode ser disponibilizada ao mercado não térmico ou a novas Usinas Termelétricas (UTES), conforme definições dos empreendedores. Porém, não há, por enquanto, previsão de infraestrutura para conexão deste projeto à malha integrada (MME; EPE, 2017).

A produção líquida de gás natural, que corresponde aos volumes de gás potencialmente disponibilizáveis para as Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGNs), é obtida pela redução na produção bruta de estimativas de injeção nos reservatórios, perdas ou queimas, e consumo próprio (para Exploração e Produção) de gás natural. Os recursos não convencionais de gás natural têm previsão de produção de 3 milhões de m³/dia, com início estimado ao término do decênio e expectativa principalmente para a Bacia do São Francisco, que possui descobertas em avaliação (MME; EPE, 2017).

Como o gás natural do pré-sal é geralmente associado ao petróleo, caso ocorra atraso nas entradas em produção dos módulos de Libra e dos campos que compõem a Cessão Onerosa, segundo MME (2017), também ocorrerá atraso para o gás, conforme representado na Figura 11.

Figura 11 – Previsão alternativa de produção de gás natural nacional.



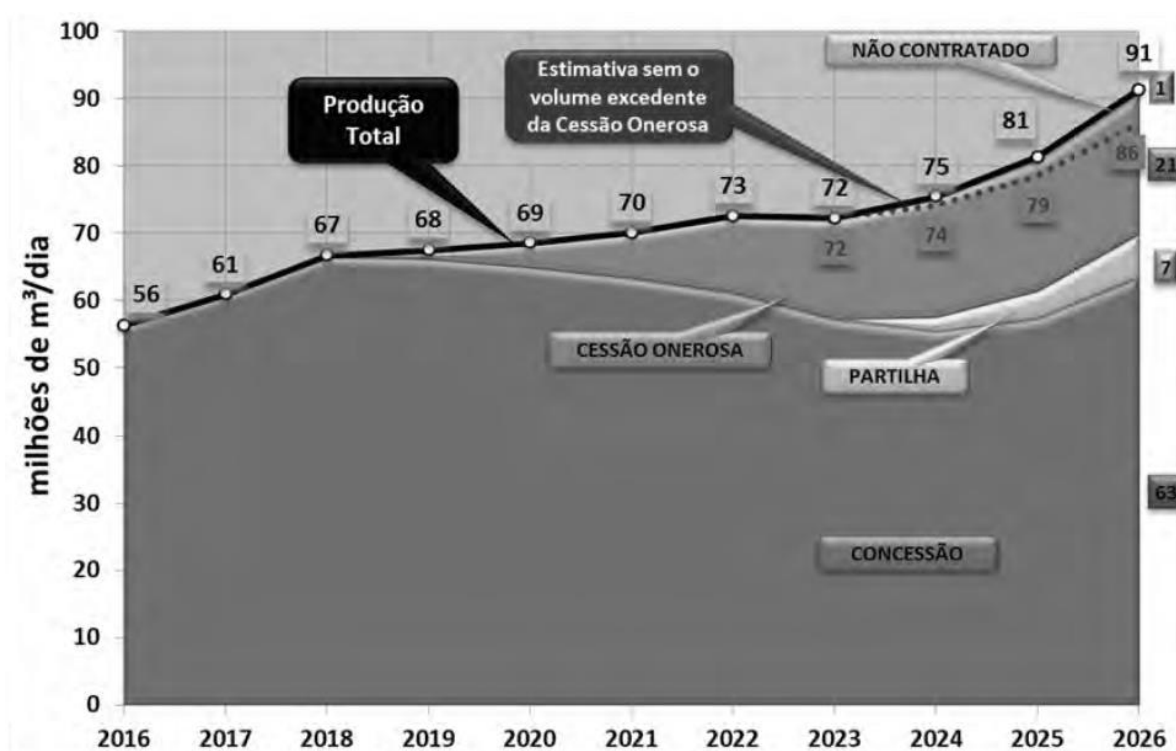
Fonte: MME e EPE (2017).

Atualmente a contribuição do pré-sal representa cerca de 40% da produção brasileira total de petróleo e 47% da produção de gás natural, sendo que em 2017, a produção líquida de gás natural nacional foi de 67 milhões de m³/dia, tendo o pré-sal contribuído com cerca de 26,8 milhões de m³/dia. Esta participação do pré-sal tende a aumentar nos próximos anos com a priorização da exploração e produção deste ambiente exploratório como uma das medidas de redução de custos operacionais, somada a baixa expectativa de novos projetos em outros ambientes nos próximos 10 anos (MME; EPE, 2017).

A produção líquida de gás natural deve apresentar um crescimento suave em quase todo o decênio. A partir de 2024 a perspectiva é de aumento rápido na produção, influenciado principalmente pela contribuição do extra pré-sal, onde se destacam as contribuições de unidades produtoras de gás não associado. Nas previsões da produção líquida de gás natural, toda a Cessão Onerosa, em 2026, incluindo o excedente, deve responder por cerca de 23% do total. Nos próximos cinco anos, dos dezenove projetos com entrada em produção previstos no Plano de Negócios da Petrobras, dezesseis são voltados para extração no pré-sal, principalmente nas áreas sob contrato de Cessão Onerosa. Assim, mais de 73% da produção prevista de petróleo para 2026 é decorrente do pré-sal, sobretudo dos contratos de Cessão

Onerosa e de Partilha da produção (Libra). A Cessão Onerosa, criada em 2010, é uma forma de exploração onde a União cedeu à Petrobras o direito de exercer, por meio de contratação direta (sem licitação), atividades de exploração e produção em áreas do Pré-Sal, que não estão sob o modelo de concessão, limitadas ao volume máximo de 5 bilhões de barris de petróleo e gás natural. Assim, apresenta-se uma estimativa de produção para a Cessão Onerosa sem considerar os volumes excedentes, conforme ilustrado na linha vermelha da Figura 12, e os contratos de concessão prevalecem contribuindo com cerca de 53% da produção líquida de gás natural nacional no fim do decênio (MME; EPE, 2017).

Figura 12 – Previsão de produção líquida de gás natural por tipo de contrato.



Fonte: MME; EPE (2017)

No fim de 2026, o pré-sal corresponderá por parcela significativa (cerca de 74%) da produção nacional de petróleo, com forte participação da Bacia de Santos. O pós-sal contribuirá com aproximadamente 20%, advindos principalmente dos campos de produção da Bacia de Campos, e o extra pré-sal com participação de cerca de 6%.

Mudanças no marco regulatório advindas da iniciativa Gás para Crescer, do governo federal brasileiro, principalmente com a entrada de novos agentes e com o aumento de

investimentos no setor, podem alterar a dinâmica do mercado regional de gás natural, assim como o acesso do mercado doméstico ao mercado de gás natural liquefeito.

Segundo MME; EPE (2017), estima-se um volume de produção líquida de 95 milhões de m³/dia em 2026; e a oferta potencial projetada da malha integrada passa de cerca de 43 milhões de m³/dia em 2017 para aproximadamente 59 milhões de m³/dia em 2026. Quanto ao volume importado da Bolívia, deve ocorrer a manutenção do volume máximo de importação de 30 milhões de m³/dia até o final de 2021 e a redução para 20 milhões de m³/dia a partir de 2022. A previsão de investimentos relacionados à expansão da oferta de gás natural é da ordem de R\$ 17 bilhões, dos quais cerca de R\$ 5 bilhões são destinados a projetos previstos e R\$ 12 bilhões em projetos indicativos. Nesse caso haveria expansão para o atendimento à demanda de ponta do sistema elétrico, que poderá ser feita por diferentes tecnologias, sendo uma delas por meio das termelétricas a gás natural de ciclo aberto. No caso dessa demanda ser integralmente atendida por essa tecnologia, haveria um acréscimo de demanda de gás natural de 84,2 milhões de m³/dia entre os anos de 2020 e 2026. Para suprir essa demanda indicativa, uma das soluções apontadas seria a instalação gradual de seis novos terminais de LNG (indicativos) até o final do período, com capacidade de 14 milhões de m³/dia cada (MME; EPE, 2017). Os projetos indicativos preveem as ampliações das UPGNs Catu/BA, Atalaia/SE e Urucu/AM.

2.2.1.2 Biogás

Biogás é o gás bruto obtido da decomposição biológica de resíduos orgânicos e Biometano o gás constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do Biogás. A resolução ANP N° 685, de 29 de junho de 2017, denomina como produtor de biometano a pessoa Jurídica constituída sob as leis brasileiras que possui unidades de purificação de biogás para obtenção de biometano oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (ANP, 2017b). O prefixo "bio" tem origem em um processo biológico, onde a matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio (ausência de oxigênio), origina uma mistura gasosa chamada de biogás. Esse processo é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen de animais ruminantes. Sua composição química depende do material orgânico que originou o gás, sendo influenciada principalmente pelos substratos utilizados, pela técnica de fermentação e pelas diferentes tecnologias de construção de usinas. Ainda, os estágios de decomposição têm de estar perfeitamente coordenados entre si para que todo o processo se realize adequadamente (AWE

et al., 2017; FACHAGENTUR, 2010; KALTSCHMITT; HARTMANN, 2001; SCHATTNER; GRONAUER, 2000).

As propriedades físico-químicas do biometano injetado e do gás natural existente devem ser equivalentes. Como base de comparação, são utilizados o poder calorífico superior, a densidade relativa e o índice de Wobbe. O índice de Wobbe pode ser definido como a quantidade de energia disponibilizada em um sistema de combustão e é um parâmetro utilizado para a intercambiabilidade de combustíveis gasosos. Esses valores devem se situar nas faixas de variação permitidas, sendo que a densidade relativa e o índice de Wobbe podem ser excedidos ou reduzidos temporariamente. O ajuste desses parâmetros pode ocorrer pela adição de ar (biogás com poder calorífico superior muito elevado), ou de GLP (biogás com poder calorífico superior muito baixo), que é geralmente uma mistura de propano e butano (BECHER, 2016; FACHAGENTUR, 2010).

O biogás, além de ser armazenado, pode ser injetado em gasodutos de gás natural. Dentre as opções para viabilizar a utilização desse gás, uma das mais recomendadas é a injeção do biometano na rede de distribuição de gás natural. Isso pode ocorrer nos diferentes níveis da rede e exige que essa seja a uma pressão ligeiramente superior à da rede. Os diferentes níveis de injeção são as redes de baixa pressão (< 0,1 bar), média pressão (0,1 a 1 bar) e alta pressão (a partir de 1 bar). Também pode ser injetado nas chamadas redes de máxima pressão, que são aquelas com pressões acima de 16 bar (FACHAGENTUR, 2010; ROHSTOFFE, 2006).

Apesar de uma pequena parcela da produção ser destinada ao abastecimento veicular com a purificação do biogás para biometano, existem projetos nesse setor que apontam para um aumento desse percentual. Dentre eles, destaca-se a Usina de Biogás Ecocitrus, localizada em Montenegro – RS, por meio do Consórcio Verde Brasil, produz biogás a partir de resíduos orgânicos e o purifica, produzindo um combustível chamado GNVerde, com 96% de metano. As frotas das empresas participantes do consórcio são abastecidas pelo combustível, o projeto também prevê que o GNVerde seja comercializado no restante do estado do Rio Grande do Sul pela Sulgás – Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul, responsável pelo gás natural no estado (ECOCITRUS, 2017a, 2017b).

Localizada em Foz do Iguaçu – PR, a Itaipu Binacional em parceria com a CIBiogás implementou uma unidade de demonstração de biogás e biometano, a UD Itaipu, que serve como usina modelo para o restante do país. A unidade produz biometano a partir dos esgotos e resíduos orgânicos oriundos de restaurantes e do corte de grama do complexo Itaipu, demonstrando a viabilidade de se produzir biocombustíveis não só através de substratos

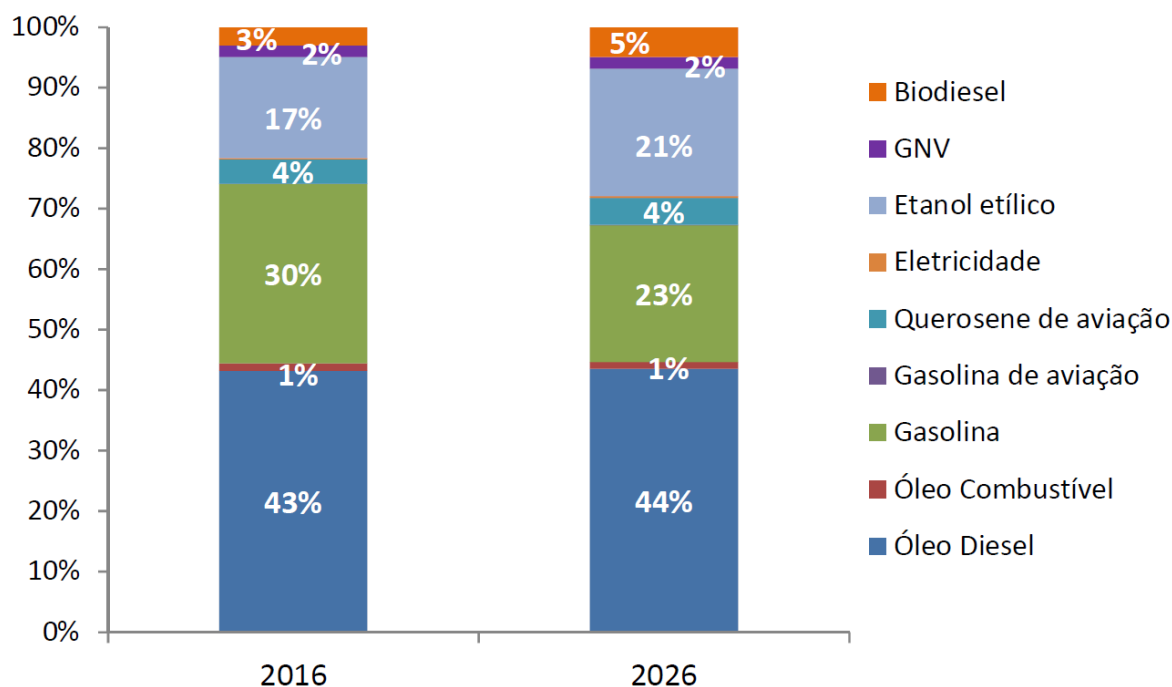
agropecuários, mas também com a utilização de substratos urbanos. A unidade abastece cerca de 80 veículos da frota do Complexo Itaipu, com uma produção mensal de 4 mil m³ de biometano. A estimativa de economia em 2017 era cerca de 15 mil reais mensais, devido ao baixo custo do biometano (R\$ 0,26 o m³), economizando 5.650 litros de etanol (BINACIONAL, 2017). Equipado com um kit de fábrica para gás veicular, o veículo-teste opera com o metano que é produzido em um biodigestor na Granja Haacke, em Santa Helena, que produz de 960 metros cúbicos de biometano por dia). Depois de filtrado e envasado, o gás é transportado em um caminhão feixe para Foz do Iguaçu onde abastece um veículo que possui dois cilindros, com capacidade para 13 metros cúbicos cada, podendo rodar aproximadamente 15 quilômetros com cada metro cúbico. Com isso, a autonomia chega a quase 400 quilômetros. Considerando os custos para sua produção, o metro cúbico do biometano está em torno de R\$ 1,80, em 2016 na região, sendo altamente competitivo. A Itaipu Binacional ainda possuía em 2016 em sua frota 30 automóveis de passeio (FIAT Siena Tetrafuel) movidos a biometano (FIEP; SENAI-PR, 2016). Já em 2017, eram 49 Sienas Tetrafuel, que já vêm da fábrica com o kit para gás veicular, e dez adaptados em oficina certificada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (GAHB, 2017).

2.2.2 Demanda

A frota de veículos leves no Brasil representa cerca de 95% da frota total de autoveículos (caminhões, ônibus e veículos leves). A frota de automóveis representa 55,6%, com aproximadamente 46 milhões de emplacamentos até fevereiro de 2019, conforme consta nos dados mais recentes disponibilizados nos órgãos oficiais (DENATRAN, 2019). Na próxima década, o licenciamento de veículos leves será impactado por fatores como: demanda reprimida por veículos novos ao longo do período de crise; grau de envelhecimento da frota e aumento da competitividade na indústria automotiva. Estima-se que a frota de veículos leves alcance 52 milhões de unidades em 2026, o que corresponde a uma taxa de motorização de 4,3 habitantes por autoveículo. Hoje são produzidos cerca de 2 milhões de veículos anualmente. A atividade total do transporte de passageiros aumentará cerca de 4% ao ano, entre 2016 e 2026. A expansão da participação do transporte coletivo sobre a atividade total de passageiros, aliada aos avanços tecnológicos dos veículos, contribui para o aumento da eficiência energética no sistema. No caso do transporte de cargas, considera-se que a atividade aumentará 3,5% a.a. entre 2016 e 2026. O modal ferroviário assumirá participação crescente

na matriz de atividade de cargas, passando de 27,2% para 31,4% no período de projeção, dado que projetos ferroviários com execuções físicas avançadas devem entrar em operação. No entanto, o transporte de cargas através de caminhões a diesel continuará preponderante. A demanda total de energia do setor de transportes aumentará, em média, 1,6% a.a. entre 2016 e 2026, com destaque para o crescimento da participação do etanol hidratado e diesel, além dos veículos elétricos e híbridos. A demanda pela eletricidade no setor de transportes, apesar do alto crescimento desse setor, apresenta ainda uma pequena participação de 0,3% em 2026.

Figura 13 – Participação dos tipos de energia na demanda energética do setor de transportes



Fonte: MME e EPE (2017).

Por fim, um tema relevante para o setor de transportes são os veículos elétricos. Em um contexto de redução de emissões veiculares (locais e globais) e de reforço de segurança energética, diversos países buscam estratégias de aumento da eficiência veicular, melhoria das tecnologias existentes e substituição da combustão interna por novas tecnologias automotivas. Nesse sentido, os veículos elétricos e híbridos têm sido apresentados como alternativas disruptivas às tecnologias convencionais (combustão interna), que aceleram a consecução dos objetivos de política energética e ambiental de boa parte dos países. Porém, poucos países dispõem de alternativas automotivas que lhes permitam atender simultaneamente seus objetivos de redução de emissões e de garantia de segurança energética, como o etanol

carburante no Brasil. No horizonte do PDE 2026 a EPE projeta que a frota nacional de veículos leves permanecerá constituída essencialmente de veículos com motores a combustão interna de ciclo Otto (majoritariamente flex fuel).

O histórico do gás natural e biogás, suas características e as propriedades para a utilização no Brasil são importantes para a metodologia empregada nessa dissertação, visto que serão avaliados os cenários desses gases desde a produção até a utilização em automóveis brasileiros.

2.3 CUSTOS DO EMPREGO E UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL NA MOBILIDADE

Nos EUA até o ano de 2007, foi verificado que os custos operacionais de um motor alimentado a GNV não são reduzidos o suficiente para compensar o elevado preço de aquisição do sistema de armazenamento e alimentação de combustível (DEVOS, 2014). Ainda, Devos (2014) salienta que o GNV faz mais sentido nas aplicações em que os custos com combustível são dominantes do veículo. Além disso, Krupnick (2011) cita que o gás natural como combustível continua a ser uma venda difícil, sem políticas em vigor que ofereçam créditos de carbono ou de outra forma que favoreçam o uso do gás.

A associação de alto custo de aquisição com o desenvolvimento da infraestrutura de reabastecimento (gasodutos e estações de enchimento para veículos GNV) continua a ser a barreira mais significativa à adaptação do GNV como combustível alternativo, mas, com uma visibilidade na demanda, com apoio econômico e incentivos governamentais, essas barreiras parecem ser superáveis (KHAN et al., 2016a; MORGAN STANLEY, 2013). Nesse quesito, são elencados programas de incentivo oferecidos aos investidores, tais como empréstimos, subsídios, redução ou eliminação das tarifas de importação de máquinas e equipamentos, e isenção de impostos sobre vendas para os postos de reabastecimento.

Caso não existam subsídios para os postos de abastecimento e clientes de GNV, a rentabilidade esperada dos postos de abastecimento torna-se insuficiente. Por exemplo, no Canadá, a redução de investimentos em estações de abastecimento causou o colapso de todo o setor de GNV (JANSSEN et al., 2006). Os custos de instalação da infraestrutura para CNG podem variar significativamente dependendo da capacidade e como o gás natural é disponibilizado – enchimento rápido (*fast-fill*) e enchimento por tempo (*time-fill*) (KHAN et al., 2016a).

Estudos a nível mundial mostram que o custo médio para a construção de uma estação de abastecimento de CNG fica entre US\$ 600.000 e US\$ 1.000.000 por estação, excluindo o

custo do terreno (local onde é construído o empreendimento). No entanto, no Paquistão, país com maior número de estações após a China, o custo médio da construção de uma estação (US\$ 150.000) é muito menor que a média mundial (KHAN et al., 2016a).

A adoção de GNV como combustível traz alguns entraves no aspecto do uso em veículos. Globalmente, destaca-se a redução da autonomia, redução do número de locais de abastecimento, menos opções de modelos ao comprar o veículo, e dificuldade similar ao serviço de manutenção do veículo (DEVOS, 2014). No Brasil esse problema é ainda maior pois não se tem, no momento, veículos comercializados a GNV, apenas aqueles que já saíram de linha de produção e os modelos os quais foram instalados kits de conversão (ANFAVEA 2017). O principal motivo para a instalação desses kits é a economia proporcionada com o uso do GNV em automóveis frente aos combustíveis líquidos. A região sudeste e o estado de Santa Catarina se destacam nesse quesito, registrando vantagens acima de 50 e 60% do gás em relação a gasolina e ao etanol, respectivamente. Segundo a ABEGAS, no Rio de Janeiro, a economia com GNV durante a maioria do ano de 2017 chegava a 60% frente ao etanol e a 53% ante a gasolina. No Espírito Santo a economia era de 49% ante a gasolina e de 60% ante o etanol. Em São Paulo, a economia era de 50% frente à gasolina e de 49% na comparação com o etanol. Por exemplo, para rodar 100 quilômetros com GNV no Rio de Janeiro, o desembolso era de R\$ 17, enquanto com a gasolina o custo chega a R\$ 37 e a R\$ 43 com etanol. A economia para quem roda 2.500 quilômetros mensais é de R\$ 487 e R\$ 635, respectivamente nos estados citados. Para calcular as porcentagens de economia do GNV em relação a cada combustível, o estudo utilizou-se de dados divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Como referência para estimar a performance com cada combustível, a Abegás utiliza o Fiat Siena Tetrafuel como referência, veículo que traz em seu manual de fábrica o consumo médio com os três combustíveis. No Fiat Siena Tetrafuel, com um metro cúbico de GNV, é possível percorrer em média 13,2 quilômetros enquanto com um litro de gasolina o veículo apresenta uma autonomia de 10,7 quilômetros e com a mesma quantidade de etanol, apenas 7,5 quilômetros (ABEGAS, 2017).

Em junho de 2018 o destaque negativo ficou para a região centro oeste e norte, que registram os maiores preços médios de GNV, com 3,168 e 3,028 R\$/m³ respectivamente. Por outro lado, a região sul nesse mesmo período apresentou o menor valor, com 2,479 R\$/m³, tendo como principal responsável o estado de Santa Catarina, com valor médio no estado de 2,146 R\$/m³, o menos do país. Atualmente esta é a região com maior vantagem econômica do uso de GNV frente a gasolina e etanol (ANP, 2018).

2.3.1 Custo de conversão – kits GNV

Prevendo a chegada do gás natural na cidade de Santa Maria – RS, em 2013, Rabenschlag (2013) verificou a viabilidade econômica da instalação de kits para o recebimento de GNV em função de alguns fatores, tais como: o preço da instalação, a economia mensal, quilometragem rodada e o modelo do veículo. O autor verificou ser viável a instalação de kit para o recebimento de GNV no estudo avaliado. Segundo Souza e Silva (2008), o GNV demonstrou-se também viável na cidade de Goiânia, considerando-se os aspectos ambiental e econômico. Primeiramente, por apresentar baixíssima presença de contaminantes, emitir menos CO₂ e pelo custo por quilômetro rodado ser inferior a outros combustíveis. Também pelo aumento da vida útil das peças do veículo, tais como velas, filtros e escapamento, e o intervalo entre as trocas de óleo ser mais espaçado pelo gás não diluir o óleo lubrificante no motor, reduzindo assim o custo de manutenção.

Ainda, para Daniel Valiante (2006), que analisou a viabilidade técnica, econômica, ambiental e mercadológica da instalação original de fábrica de sistemas com GNV em automóveis frente ao mercado de veículos convertidos, a aquisição de veículo com sistema original oferece maiores vantagens ao consumidor. Essas vantagens são principalmente relativas à garantia do veículo, a maior capacidade técnica e financeira de atendimento das concessionárias, a confiança do consumidor que adquire o veículo com sistema original de fábrica, em relação à conversão realizada em oficinas independentes, entre outras. Outro fator considerado comercialmente positivo é a diversidade de opções que os consumidores tem na compra de veículos com mais de um combustível, como é o caso dos *flexfuel*, assim como os equipados com GNV (DEVOS, 2014). Em se tratando das desvantagens do GNV, com a utilização dos “kits de conversão”, há redução significativa no desempenho do motor e diminuição do espaço no porta-malas (PAVANI, 2012).

Há cerca de 10 anos os veículos que já possuíam originalmente a alimentação de GNV, como o citado Fiat Siena, geravam uma potência de 55kW com o gás, 63 e 65kW com gasolina e etanol, respectivamente, com um volume deslocado de 1400 cm³ (1.4 litros). Nos dias de hoje na Europa, por exemplo, já existem veículos bem mais desenvolvidos nesse quesito, como por exemplo o VW Polo. Este possui motor turboalimentado com 1000 cm³ de volume deslocado que gera mais desempenho que o citado anteriormente (66kW). Esta potência se mantém independentemente do combustível ser gasolina ou gás, havendo diferença nas emissões de CO₂ de 110 g/km com o combustível líquido e 85 g/km com o gás.

Outro ponto a se destacar é o baixo consumo de combustível, pois o VW percorre 20,8 e 22,8 quilômetros com gasolina e gás natural, respectivamente (AUTOCATALOG, 2018).

2.3.2 Formação do preço do gás natural

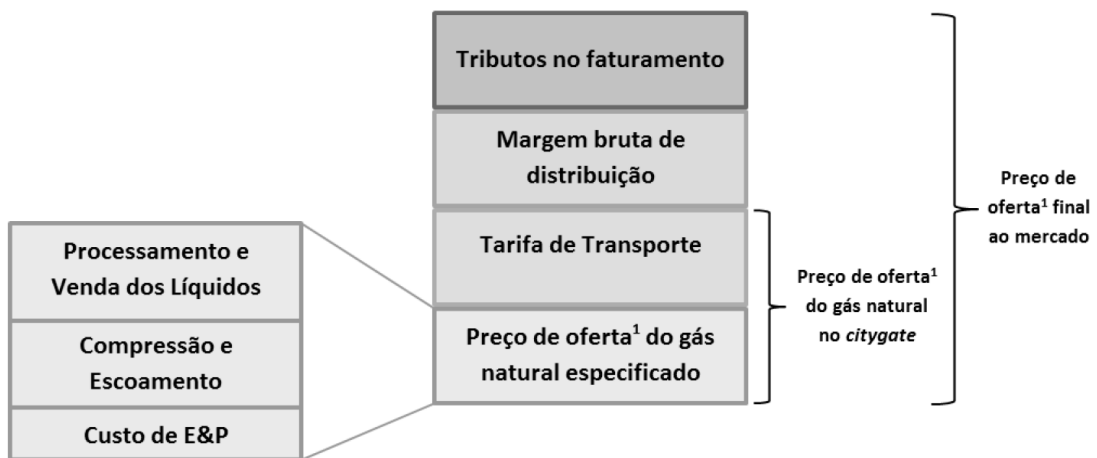
Segundo o EPE e MME (2014), o Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviária (PEMAT) propõe que o preço do gás natural ao consumidor final pode ser decomposto em quatro grandes componentes que remuneram partes distintas da cadeia produtiva da indústria do gás natural:

- Preço de oferta do gás natural especificado: parcela que diz respeito aos custos e remuneração de investimentos associados aos processos de: (i) Exploração e Produção (E&P), incluindo participações governamentais; (ii) compressão, escoamento e processamento do gás natural; e (iii) venda dos líquidos de gás natural.
- Tarifa de Transporte: parcela responsável por arcar com os custos e remunerar os investimentos associados ao transporte do gás natural até o ponto de entrega às distribuidoras;
- Margem bruta de distribuição: parcela do preço que remunera a atividade de distribuição;
- Tributos na comercialização/faturamento: parcela do preço relativa aos tributos que incidem sobre a comercialização até o usuário final do gás natural, sendo estes PIS e COFINS (esfera federal) e ICMS (esfera estadual).

Deve-se observar que na incidência tributária, para o cálculo do preço de oferta do gás natural especificado e da tarifa de transporte, são contemplados os tributos e encargos: (i) relacionados ao investimento (IPI, ICMS, PIS/COFINS, IRRF, ISS e despesas aduaneiras) e (ii) incidentes sobre o resultado (IRPJ e CSLL). A Figura 14 apresenta a composição típica do preço final ao mercado.

O preço do gás natural vendido às distribuidoras é composto, fundamentalmente, por duas parcelas: uma referida como “preço na boca do poço”, destinada a remunerar o produtor, e outra denominada tarifa de transporte, destinada ao serviço de movimentação do gás entre as áreas de produção e consumo (ANP, 2017c). Até dezembro de 2001, o preço do gás natural de origem nacional foi regulamentado pela Portaria Interministerial MME/MF nº 3/2000. O valor determinado era o somatório das duas parcelas mencionadas, sendo a tarifa de transporte calculada pela ANP.

Figura 14 – Composição do preço final de gás natural ao mercado.



Fonte: (EPE; MME, 2014)

Nota: 1 - Também chamado de Custo Econômico, o preço de oferta é o preço mínimo que motiva o ofertante a disponibilizar o gás natural para o mercado. É importante ressaltar que o preço a ser praticado pelo ofertante é livre, e que o preço calculado pela metodologia estabelecida no PEMAT é apenas uma estimativa do mínimo valor que viabilizaria uma oferta específica

Para o gás natural importado, o preço de venda às distribuidoras locais já havia sido liberado desde a publicação da referida Portaria. O preço do produto e as tarifas de transporte nesse caso vêm, desde então, sendo negociados livremente entre as partes (ANP, 2017c). Ainda, há uma regulamentação em particular para o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), a Portaria Interministerial MME/MF nº 176 de 2001, que estabelece o preço máximo de suprimento do gás natural destinado às termelétricas integrantes do PEMAT, independente da origem do gás (nacional ou importado).

Ainda, conforme avaliação do preço adotado nas diferentes regiões do país assim como as diferentes tarifas e meios de distribuição na pesquisa elaborada por (PINTO, 2014), ressalta-se que:

- Os descontos atualmente praticados pela Petrobras nos preços de venda para as distribuidoras das regiões Nordeste e Sudeste provocam alterações significativas, não apenas na competitividade do gás natural frente aos demais combustíveis, mas também dentro do próprio mercado de gás natural.
- As tarifas praticadas entre os estados permitem dizer que a região Nordeste, além de ser atendida apenas com gás natural nacional (mais custoso que o gás importado), apresenta uma carga tributária superior às alíquotas praticadas nos demais estados do país (com exceção da Bahia). Dessa maneira, a política tributária adotada nessa região tem como propósito privilegiar a arrecadação em detrimento da competitividade do

setor industrial, o que reflete na diminuição da atratividade das indústrias intensivas no uso do gás natural e na migração da demanda para outras regiões.

- O Fator Distância, o qual não se encontra claramente definido na nova fórmula de preços do gás nacional, é, portanto, um dos principais fatores que penalizam os maiores produtores de gás natural (Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe) frente aos demais estados.

No entanto, esse modo de formação de preço pode ser alterado, pois a ANP, recentemente, abriu consulta pública para discutir as metodologias de cálculo das parcelas de transporte nos contratos de compra e venda de gás. Segundo Ramalho (2018), a intenção da ANP é que, a partir de 2018, os novos contratos utilizem como metodologia de tarifação do transporte o conceito de "entrada-saída", método pelo qual o transportador cobra tanto pela injeção quanto pela retirada do gás da rede de gasodutos.

Em relação ao Gás Natural para fins de Gás Natural Veicular, ou para fins de transporte, na área de concessão da Comgás em São Paulo, por exemplo, os valores levantados em janeiro de 2018 seguem na Tabela 4.

Tabela 4 – Imposto do gás natural veicular pela concessionária Comgas.

	Valores sem ICMS	Valores com ICMS
	Variável – R\$/m ³	Variável – R\$/m ³
Postos	1,291499	1,519411
Transporte Público	1,201423	1,413439
Frotas	1,201423	1,413439

Fonte: adaptado de COMGÁS (2018)

Tabela 5 – Preço atualizado do GNV em R\$/m³ ao consumidor.

DADOS REGIÃO						
REGIÃO	Nº DE POSTOS PESQUISADOS	Preço ao Consumidor				
		PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO	MARGEM MÉDIA
CENTRO OESTE	9	2,57	0,145	2,399	2,699	0,742
NORDESTE	187	2,592	0,238	2,29	2,99	0,764
NORTE	2	2,8	0,071	2,75	2,85	0,44
SUDESTE	509	2,396	0,251	1,989	3,157	0,593
SUL	162	2,421	0,377	1,76	3,299	0,827

Fonte: Adaptado de (ANP, 2018)

Os preços no consumidor final são avaliados periodicamente por pesquisa de empresas especializadas no segmento, assim como pela ANP. A Tabela 5 ilustra os preços praticados do GNV no mês de janeiro de 2018 para o consumidor das diferentes regiões do país.

Em relação ao gás natural comprimido disponibilizado pela Comgas para uso industrial, os valores seguem a Tabela 6.

Tabela 6 – Imposto do gás natural para fins de uso industrial/residencial pela concessionária Comgas conforme as classes de consumo.

Classes	Volume consumido – m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo – R\$/mês	Variável – R\$/m ³	Fixo – R\$/mês	Variável – R\$/m ³
1	Até 50.000,00 m ³	164,75	1,684572	193,82	1,981849
2	50.000,01 a 300.000,00 m ³	25.774,90	1,172349	30.323,41	1,379234
3	300.000,01 a 500.000,00 m ³	42.958,17	1,115020	50.539,02	1,311788
4	500.000,01 a 1.000.000,00 m ³	48.229,02	1,104479	56.740,02	1,299387
5	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m ³	69.773,02	1,082935	82.085,91	1,274041
6	> 2.000.000,00 m ³	107.791,81	1,063925	126.813,89	1,251676

Fonte: Adaptado de (COMGÁS, 2018b).

A disponibilidade do insumo em condições adequadas e a precificação do gás natural ao consumidor final envolvem questões complexas, que impactam diretamente a competitividade frente aos energéticos substitutos, e se mostram fundamentais no processo de desenvolvimento estratégico da indústria nacional de gás natural. A presença de diversos segmentos tecnologicamente separáveis, mas com elevado grau de interdependência, distingue a dinâmica de funcionamento da indústria de gás natural em relação a outras indústrias energéticas. Ao longo da cadeia produtiva, as especificidades técnica e econômica condicionam a estrutura organizacional da indústria e impactam de maneira significativa o processo de formação da tarifa final de gás natural aplicada ao mercado consumidor. Em meados de 2014, a parcela variável ou *commodity* representava 73% da composição da tarifa global de gás natural para o setor industrial no Brasil, o que corresponde ao maior peso entre as partes na formação da tarifa. A parcela fixa ou transporte, por sua vez, representava 27% do preço do gás entregue nos citygates das distribuidoras, o que corresponde a uma participação efetiva de 16% na tarifa final aos consumidores da classe industrial (PINTO, 2014). Atualmente, o custo da parcela variável está em torno de 78% em média no Brasil, enquanto a parcela fixa situa-se em 22% para o gás nacional e 30% para o gás importado (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2018).

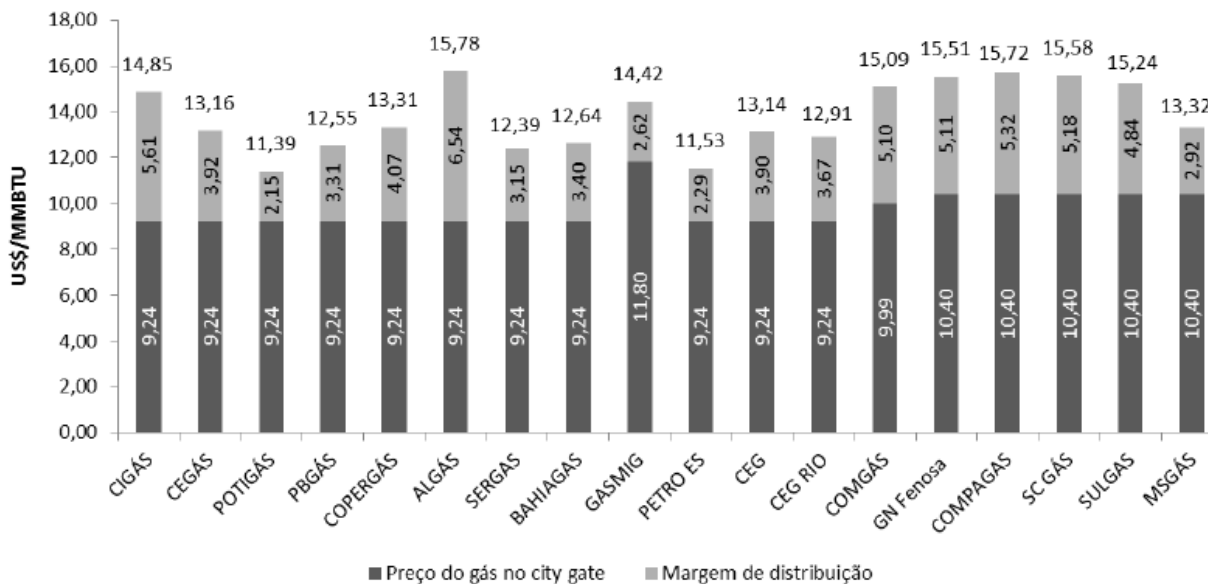
Os tributos que incidem sobre a atividade de comercialização de gás natural são o PIS/COFINS e o ICMS.

As Companhias Distribuidoras Locais (CDLs) estão sujeitas ao regime de incidência não cumulativa de PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social) (Lei nº 10.637/02, Lei nº 10.833/03). Para determinação do valor de contribuição sob este regime, deve-se aplicar, sobre a base de cálculo, a alíquota de 1,65% para a contribuição do PIS e a alíquota de 7,6% para COFINS (EPE; MME, 2014).

O ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Prestação de Serviços) é estadual e suas alíquotas variam de acordo com o produto e com o estado. (EPE; MME, 2014).

A margem de lucro das distribuidoras é a parcela da tarifa responsável por remunerar as atividades e a expansão da malha das Companhias Distribuidoras Locais. A margem das CDLs é calculada subtraindo-se da tarifa cobrada pelo gás natural sem impostos o preço do gás natural para as distribuidoras (EPE; MME, 2014).

Figura 15 – Preços e margens do gás natural (US\$/MMBTu).



Fonte: Adaptado de EPE e MME (2014).

Para a elaboração da Figura 15 foi considerado que a distribuidora Comgas (SP) recebe 65% de gás importado e 35% de gás nacional, enquanto a distribuidora Gasmig (MG) recebe 50% de gás importado e 50% nacional (EPE; MME, 2014). As demais distribuidoras de São Paulo, assim como as pertencentes aos estados da Região Sul, recebem apenas gás

importado. As distribuidoras do Rio de Janeiro e as das Regiões Norte e Nordeste recebem apenas gás nacional. Ademais, a Petrobras, a seu exclusivo critério, tem aplicado um desconto médio de 30% sobre os preços contratuais do gás nacional para as distribuidoras das Regiões Nordeste e Sudeste, a exceção da Gasmig (EPE; MME, 2014). Avaliando-se a síntese dos preços praticados no Brasil, segundo dados apresentados pela ANP, em junho de 2018 o preço médio do GNV cobrado pelas distribuidoras era de 1,941 R\$/m³, variando entre 1,47 a 2,495 R\$/m³, em municípios da Bahia e da Paraíba respectivamente. Já o preço repassado ao consumidor era de 2,677 R\$/m³ em média, com o mínimo de 1,969 R\$/m³ e o máximo 3,89 R\$/m³, em municípios de Santa Catarina e Goiás, respectivamente.

Logo, a margem média de lucro ficou em 0,736 R\$/m³, o que significa um lucro médio entre as distribuídas de 27%, considerando o custo para o consumidor final. No estado de São Paulo estão as menores margens de lucro (19%) e em Pernambuco as maiores (42%).

Os custos aliados ao gás natural são contemplados por diversos fatores importantes para a avaliação da metodologia utilizada nessa dissertação. Os custos podem ser os principais entraves para o aumento do uso do gás natural em veículos leves de passageiros no país. Ainda, para os frotistas o uso do gás natural torna-se menos oneroso em comparação a gasolina e etanol em diversos estados brasileiros.

2.4 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E INCENTIVO FISCAL

2.4.1 Renovabio

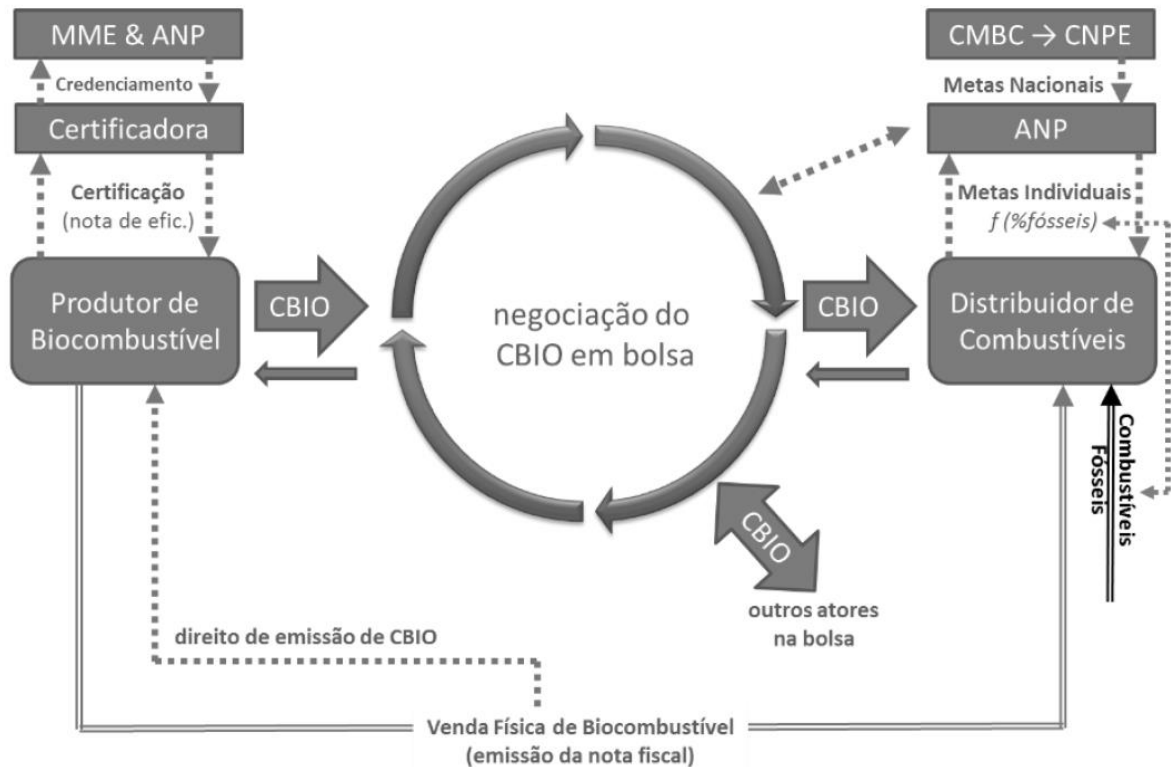
O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aprovou, em 8 de junho de 2017, as diretrizes estratégicas que nortearão a Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio. As diretrizes estratégicas direcionam para a necessidade de introduzir mecanismos de mercado para induzir a eficiência produtiva e a competição, com a menor emissão de gases causadores de efeito estufa (*greenhouse gases - GHG*) (MME, 2017). Desse modo, o RenovaBio foi obtido como uma proposta de regulação que visa induzir ganhos de eficiência energética na produção e no uso de biocombustíveis, e reconhecer a capacidade de cada combustível de contribuir para o atingimento de metas de redução de emissões de carbono (NASTARI, 2017). Tal programa é também tratado como uma política de Estado que, pela primeira vez, objetiva traçar uma estratégia conjunta para reconhecer o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene etc) na matriz energética brasileira, tanto no que se refere à sua contribuição para a segurança energética,

com previsibilidade, quanto para mitigação de redução de emissões de *GHG* (MME, 2017). Dentre os objetivos do programa estão: fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos nacionalmente determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris; promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e assegurar previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de *GHG* na produção, comercialização e uso de biocombustíveis (MME, 2017).

Para atingir esses objetivos, o RenovaBio é estruturado para a introdução de mecanismos de mercado para reconhecer a capacidade de cada biocombustível para redução de emissões, individualmente, por unidade produtora (MME, 2017). É proposto se utilizar de dois instrumentos principais, sendo que o primeiro visa o estabelecimento de metas nacionais de redução de emissões para a matriz de combustíveis, definidas para um período de 10 anos. O segundo visa a certificação da produção de biocombustíveis, atribuindo-se notas diferentes para cada produtor, privilegiando o produtor que obtiver maior quantidade de energia líquida, com menores emissões de CO₂ no ciclo de vida. A nota refletirá exatamente a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de uma quantidade específica de gases de efeito estufa em relação ao seu substituto fóssil (em termos de toneladas de dióxido de carbono equivalente - CO₂e) (MME, 2017). A união dos dois instrumentos citados ocorrerá com a criação do Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIO), um ativo financeiro, negociado em bolsa, emitido pelo produtor de biocombustível, a partir da comercialização com nota fiscal. Na Figura 16 é apresentado o modelo básico de funcionamento do programa, com as metas nacionais de redução de emissões sendo desdobradas para metas individuais para os agentes regulados (distribuidoras de combustíveis) e a emissão do CBIO pelos produtores/importadores de biocombustíveis certificados.

A aplicação do RenovaBio irá viabilizar a troca de Certificados de Redução de Emissão (CREs) relacionados ao uso de biocombustíveis e irá determinar, em condições de mercado, o valor da tonelada de Carbono, viabilizando a inserção dos biocombustíveis na matriz energética de transportes (NASTARI, 2017).

Figura 16 – Esquema do modelo de funcionamento do RenovaBio



Fonte: MME (2017).

Além disso, o RenovaBio é uma proposta de regulação construída a partir de conceitos e do aprendizado obtido com as mais modernas iniciativas internacionais, como o Padrão de Combustíveis de Baixo Carbono e o Padrão de Combustíveis Renováveis, ambos nos Estados Unidos, além da Diretiva de Energia Renovável na União Europeia. Entretanto, o programa brasileiro vai além, ao induzir e premiar a busca por maior eficiência energética no setor de biocombustíveis, conferindo eficiência e competitividade crescentes (NASTARI, 2017).

2.4.2 Rota 2030

O programa Rota 2030, sucessor do Programa de Incentivo a Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-auto) está sendo administrado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, e tem a oportunidade de induzir a otimização da frota “flex” para o uso de etanol, a introdução dos híbridos “flex”, e dos veículos equipados com células a combustível movidas a etanol (NASTARI, 2017). O programa tende a seguir os princípios do Inovar-Auto, que foi criado com o objetivo de fornecer condições para o aumento da competitividade no setor

automotivo, propiciando a produção de veículos mais econômicos e seguros, além de promover investimentos em engenharia, tecnologia e na pesquisa e desenvolvimento. Uma das metas do seu antecessor era a produção de veículos mais econômicos e, a partir de 2017, veículos que consumiam menos de 15,46% da média da frota, desfrutaram de abatimento do IPI (RIATO, 2017).

Para o Rota 2030, há previsão de ocorrer algumas mudanças em relação ao Inovar-Auto, como o refinamento da legislação com intuito de melhoria da eficiência energética. No lugar de impor um único número para todos os veículos leves, as metas devem ser segmentadas, com patamares específicos para automóveis, picapes e utilitários esportivos, por exemplo. Está em discussão também metas de eficiência para veículos pesados, mas isso só deve entrar em vigor no segundo ou terceiro ciclo da nova legislação (RIATO, 2017). Ainda, segundo a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva AEA (2017), no programa deve constar três macro-ações nas quais a indústria deve perseguir com o Rota 2030: revisão dos conceitos técnicos alinhados às práticas internacionais, trazendo maior clareza e aproximando a linguagem da legislação ao cotidiano dos profissionais técnicos da empresa; a busca pelas formas de incentivos mais atrativos para induzir os investimentos em P&D ao mínimo exigido; e estruturação dos centros de desenvolvimento para habilitar a participação das empresas nas estratégias globais.

2.4.3 Incentivos fiscais no Brasil

Para ampliar o consumo de GNV em Pernambuco, por exemplo, a Copergás implantou o Programa de Incentivo ao Uso do GNV, que oferece um bônus de R\$ 1 mil aos proprietários de veículos emplacados em Pernambuco que converterem seu veículo para o gás veicular. A promoção é válida para instalação de Kits GNV, em uma das oficinas credenciadas junto à Copergás. Os incentivos existentes no país citados nesta seção foram elencados no quadro Quadro 4.

No mesmo enfoque, nos estados da Paraíba, Ceará e Bahia, as Companhias de Gás efetuam o pagamento de R\$ 450,00, aos proprietários de veículos particulares que instalem kits e cilindros para consumo de GNV. Já em Minas Gerais, na “Promoção Vou no Gás”, e em Alagoas com a promoção “GNV Instale e Ganhe”, quem fizer a conversão do seu carro, deve levar as notas fiscais do kit e da instalação a um dos Organismos de Inspeção Acreditados (OIAS) participantes da promoção para receber, no mínimo, 300 m³ de GNV em bônus (ABEGAS, 2018b).

Quadro 4 – Programas de incentivo ao uso de GNV em automóveis nos estados brasileiros

Estados do Brasil	Programas de incentivo ao uso de GNV em automóveis
Acre, Amapá, Distrito Federal, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Piauí, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima, Tocantins	Não possui
Alagoas	Promoção: GNV Instale e Ganhe
Amazonas	GNV, Fazendo Mais por Você
Bahia	Incentivo na conversão para GNV
Ceará	Incentivo na conversão para GNV
Espírito Santo	Não possui – existem propostas de redução de 1% no IPVA
Goiás	Isenção do imposto (IPVA)
Minas Gerais	Promoção Vou no Gás
Paraíba	Incentivo na conversão para GNV
Paraná	Projeto “Fomento GNV” (Conversão para GNV)
Pernambuco	Programa de Incentivo ao Uso do GNV – Kits GNV de 5ª geração
Rio de Janeiro	GNV. Uma decisão inteligente
Rio Grande do Sul	Programa Instaladora GNV Nota 10
Santa Catarina	Projeto Venda Ativa e Projeto Qualificação de Instaladoras
São Paulo	Programa 10
Sergipe	Redução de 5% do ICMS na tarifa

Fonte: Autor.

Na região norte, em 2015, havia o programa “GNV, Fazendo Mais por Você”, onde mais de 250 motoristas foram beneficiados com um bônus de R\$ 1 mil ao adaptar o veículo para abastecer com gás natural.

No estado do Rio de Janeiro, as companhias CEG, CEG RIO e GNSPS continuarão trabalhando com o conceito de “GNV. Uma decisão inteligente.”, assim como na Gás Natural São Paulo Sul, que abrange 93 municípios entre as regiões administrativas de Sorocaba (SP). A campanha desmistifica as principais barreiras de aceitação do produto, seguindo a linha do que foi realizado em 2011 e buscando, assim, exaltar os principais benefícios do uso do produto. Nos meios de comunicação são destacados: rendimento, imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA), potência e manutenção. Destaca-se também o estado de Goiás que instituiu em 2016 o Código Tributário do Estado, que engloba conceder isenção do

imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA) a veículos movidos a gás natural veicular (GNV) (ABEGAS, 2018b).

Já a companhia Comgás, no estado de São Paulo, tem um programa de incentivo às instalações de kit GNV nos veículos. O programa é chamado Programa 10, o qual proporciona redução do IPVA em 25% no estado e ressalta a existência de mais de 1.600.000 veículos circulando no país a utilizar tal combustível. O Programa 10 tem ainda a Certificação, via “Selo de Qualidade do CTGAS”, que atesta que a oficina que faz a instalação de kits para GNV (gás natural veicular) atende aos critérios de segurança, qualidade e padronização necessários para a instalação do sistema (ABEGAS, 2018b; COMGAS, 2018).

No estado de Santa Catarina, a SCGÁS está com dois grandes projetos comerciais que estão concebidos e atualmente encontram-se em fase de desenvolvimento, sendo eles: Projeto Venda Ativa e Projeto Qualificação de Instaladoras, visando influenciar potenciais usuários de GNV (como frotas, pessoa jurídica) e a oferta de prestadores de serviços de instalação de Kits GNV, assim como sua qualificação. No mesmo foco, o Rio Grande do Sul possui o “Programa Instaladora GNV Nota 10”, uma iniciativa da Sulgás em parceria com o Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGÁS-ER), que busca implantar e manter um padrão de qualidade certificado nas instaladoras de sistemas de GNV. No estado do Paraná existe o projeto Fomento GNV – parceria firmada entre a Fomento Paraná e a Companhia Paranaense de Gás (Compagas) – o qual financia a instalação de equipamentos e a conversão para uso de Gás Natural Veicular (GNV) em veículos utilizados em atividades empreendedoras, tais como prestação de serviços, entregas, representação comercial, entre outras. Há previsão de R\$ 5 milhões em créditos aplicados para a reabertura da linha Banco Empreendedor Taxistas e para o início das operações da linha de microcrédito Fomento GNV. (ABEGAS, 2018b; SULGÁS, 2017).

2.4.4 Incentivos fiscais no exterior

O governo alemão incentiva a utilização de gás natural como combustível mediante importantes incentivos fiscais para o gás natural veicular (GNV) uma vez que a manutenção da baixa alíquota do imposto de energia, especialmente para os combustíveis alternativos continuarão, a longo prazo mais econômicos do que gasolina e diesel. Isso cria uma estrutura de incentivos garantindo a segurança de planejamento para pessoas físicas, operadores de frotas e postos de abastecimento. Com a definição de incentivos fiscais mesmo depois de

2018, o número de veículos de gás natural na Alemanha deve voltar a crescer (BECHER, 2016).

Na Áustria, projetos de subsídio são organizados pelos governos estaduais ou pelas concessionárias de gás. Os incentivos referem-se, em geral, à nova aquisição de veículos a gás natural e/ou a conversão de veículos para operação com gás natural. Na Áustria, o gás natural combustível é isento de taxa de petróleo, no entanto, não há uma segurança a longo prazo como, por exemplo, a existente na Alemanha. O programa alemão exige a isenção da taxa de petróleo para gás natural até 2025 (BECHER, 2016).

Desde 2010, na Suíça, todos os veículos a gás natural com emissão de CO₂ de até 143g/km nos três primeiros anos após a colocação no trânsito estão isentos do imposto sobre veículos. O imposto é calculado a partir de diferentes bases de cálculo e é cobrado diretamente pelas prefeituras. Cada vez mais prefeituras concedem uma redução do imposto para veículos econômicos e de baixas emissões, assim como para veículos com combustíveis alternativos como gás e hidrogênio, mas também para veículos elétricos, híbridos e a células de combustível (BECHER, 2016).

Os programas de incentivos ao uso de combustíveis alternativos, principalmente àqueles que visam mitigar os gases de efeito estufa, devem ser avaliados quando se trata da avaliação do uso do gás natural no Brasil. O Rota2030, por exemplo, deve ser levando em consideração na metodologia dessa pesquisa principalmente por almejar que sejam produzidos veículos mais eficientes e com baixos índices de emissões, atendendo a normas cada vez mais rígidas em se tratando de emissões. Assim sendo, isso pode impactar na produção de automóveis que utilizam o combustível gás natural.

2.5 COMPETITIVIDADE

As organizações empresariais tendem a estar inseridas em ambientes altamente competitivos, de tal modo que a adoção de estratégias eficazes torna-se crucial no processo de gestão (PORTER, 2009). Desta forma, para se garantir a sobrevivência das empresas, deve-se desempenhar atividades que criem valor não apenas dentro das fronteiras da organização, mas também visando o ambiente estrutural e sistêmico a qual se está inserido, visto que a competitividade ultrapassa os processos internos e manifesta-se também no ambiente externo (DI SERIO; VASCONCELLOS, 2009). Para alguns autores a competitividade trata-se de uma questão de melhora no padrão de vida da nação, enquanto para outros está ligado às habilidades de uma empresa de competir e negociar com êxito (LOVATEL, 2002). Para Siluk

(2007), diagnosticar a competitividade consiste em identificar a situação da empresa no espaço de tempo a ser avaliado e no que se refere ao desempenho recente quanto à postura estratégica, à gestão corporativa, à cultura da organização, ao marketing, às finanças, à pesquisa e desenvolvimento, às operações e logística, recursos humanos, sistemas de informação, fatores internos gerais, oportunidades e ameaças, avaliação e controle.

A análise da competitividade sugerida por Thompson e Strickland (2003) apresenta uma compilação realizada a partir de vastas pesquisas bibliográficas referentes a esta temática, organizada em um roteiro de diagnóstico contendo os sete principais pontos de verificação que abrangem todos os níveis em que a competitividade se manifesta. Para cada um destes pontos, os autores propõem questionamentos para auxiliar a correta contribuição de cada fator, como mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Perfil para análise da competitividade industrial

1	Características econômicas dominantes do ambiente industrial.	Quais são as características econômicas dominantes da indústria?
2	Análise competitiva.	Como a competitividade se manifesta e qual a intensidade de cada uma das cinco forças competitivas?
3	Forças direcionadoras.	O que está causando modificações no ambiente competitivo interno e estrutural?
4	Posição competitiva das principais companhias/grupos estratégicos.	Quais companhias ocupam as posições competitivas mais fortes? E quais ocupam as mais fracas?
5	Análise dos competidores.	Quais são os próximos movimentos estratégicos que os concorrentes provavelmente farão?
6	Fatores chave de sucesso.	Quais são os fatores críticos para o sucesso competitivo?
7	Prospecção da indústria e atratividade.	A indústria é atrativa? Quais são as prospecções de rentabilidade?

Fonte: Adaptado de Thompson e Strickland (2003).

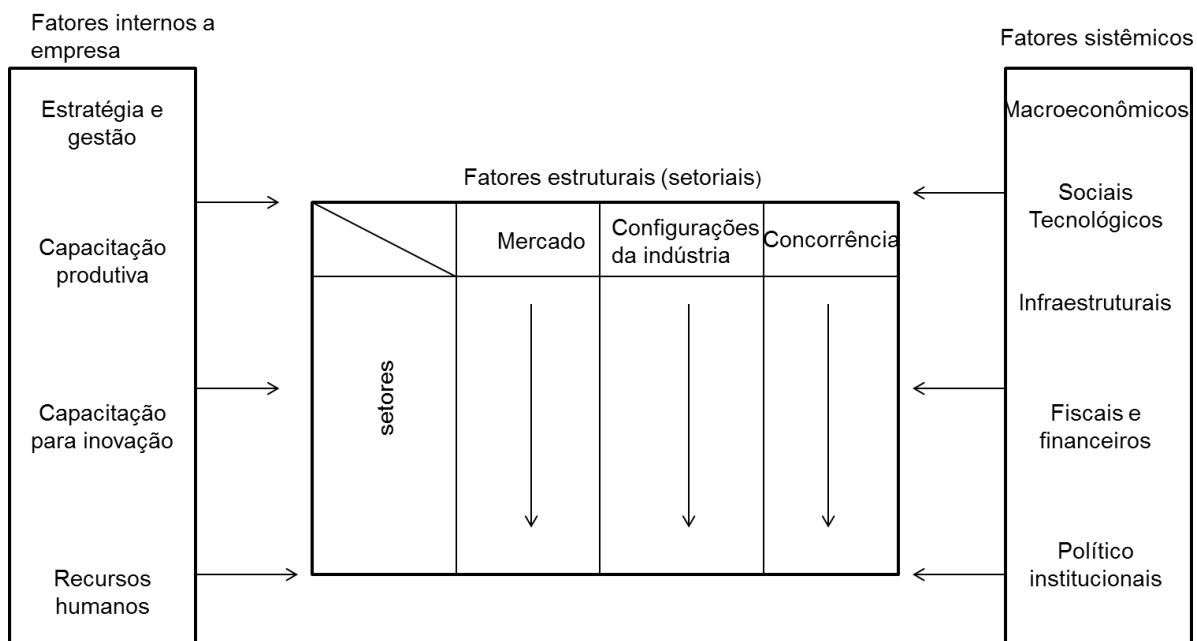
O modelo apresentado, embora seja uma ferramenta prática e concisa, não deve ser utilizado de forma mecanizada, cabendo ao analista ter a sensibilidade de interpretar a realidade observada para uma correta identificação das tendências que realmente impactam no setor. Ainda, o cenário é dinâmico e deve-se ter em mente que a análise é um corte estático no tempo, portanto mais do que analisar é preciso dispor de ferramentas gerenciais que permitam controlar e monitorar o desempenho destes fatores (THOMPSON; STRICKLAND, 2003).

2.5.1 Fatores competitivos

A competitividade pode ser analisada em nível empresarial, em nível de indústria ou setor, ou ainda de um país ou região. Para uma empresa, a competitividade pode ser sinônimo do desempenho, de lucros em longo prazo e de sua capacidade de compensar seus funcionários e proporcionar retornos superiores aos seus proprietários. Para um país, a competitividade pode ser entendida como um conjunto de instituições, políticas e fatores que determinam o nível de produtividade. Ou ainda, a competitividade de um país pode ser definida como a capacidade de entregar o produto interno bruto além das metas. (BUCLEY; PASS; PRESCOTT, 1998; SALA-I-MARTIN, 2015)

Existem diversos fatores que influenciam a competitividade de uma empresa ou região: eles podem ser de origem interna à empresa, relativos à indústria onde a empresa está inserida ou podem ser fatores macroeconômicos. Na Figura 17 são apresentados os fatores determinantes para a competitividade.

Figura 17 – Fatores determinantes para a competitividade.



Fonte: adaptado de Coutinho e Ferraz (1993).

Essa abordagem reconhece que a competitividade também é resultado de fatores que estão fora do âmbito da empresa, sendo pertinente falar de competitividade sistêmica. Em

relação aos fatores como determinantes da competitividade, são definidos três grupos: fatores empresariais, fatores estruturais, e fatores sistêmicos (COUTINHO; FERRAZ, 1993).

Os fatores empresariais são os internos, e sobre os quais a empresa detém total poder de decisão. Além disso, referem-se ao estoque de recursos acumulados e às estratégias de ampliação nas quatro áreas de competência: gestão, inovação, capacidade produtiva e recursos humanos. Já os fatores estruturais são aqueles em que a capacidade de intervenção da empresa é parcial e limitada pelo processo de concorrência. Ainda, o ambiente competitivo é caracterizado pela demanda e oferta e pelas instituições extra mercado. Há também os fatores sistêmicos que são aqueles sobre os quais a empresa possui pouca ou nenhuma possibilidade de intervir. Para os mesmos autores, são aqueles que constituem externalidades para a empresa e afetam as características do ambiente competitivo. Podem ser: macroeconômicos, político-institucionais, legais-regulatórios, infraestruturas, sociais e internacionais. Nenhum dos níveis de competitividade pode ser concebido como mais importante que os demais e a resultante entre esses níveis de competitividade é a competitividade global. A competitividade estrutural trata da situação competitiva da empresa ou região em relação ao segmento que ela está atuando, dentro do conceito de cadeia produtiva e da região de sua abrangência. Dentro da competitividade empresarial é muito importante a integração e cooperação entre os diversos elos da cadeia produtiva, a mencionar: elos de produção da matéria prima, elos de beneficiamento das matérias primas e insumos, elos de produção ou operação, elos de comercialização e serviços de apoio, e elos de apoio de transporte e apoio tecnológico. A competitividade empresarial compreende a área que está sob o controle e decisão dos empresários. As competências e recursos adquiridos ao longo do seu desenvolvimento, capacidade de atender requisitos e desejos dos clientes e domínio de tecnologia (MATTOS; BELTRAND; BERTÉ, 2002).

O último nível de competitividade, mas não menos importante, é a competitividade sistêmica. Esta trata os fatores macroeconômicos, ou seja, através de suas políticas cambiais, monetária, industrial, tecnológica, entre outras, nacionalmente ou mesmo internacionalmente (MATTOS; BELTRAND; BERTÉ, 2002). Esses fatores estão localizados externamente às portas das empresas, mas influenciam de maneira direta o ambiente competitivo na qual as empresas ou nações estão inseridas. De Paiva (2011) listou os fatores sistêmicos da competitividade como sendo os seguintes:

- a) Macroeconômicos: taxa de câmbio, carga tributária, produto interno bruto, taxa de juros, entre outros;
- b) Político-institucionais: política tributária e tarifária e apoio a iniciativas tecnológicas;

- c) Legal-regulatórios: políticas de defesa da concorrência e do consumidor e de preservação ambiental;
- d) Infra estruturais: disponibilização de energia com qualidade e custos competitivos, insumos básicos, ciência e tecnologia, informação tecnológica, serviços de engenharia e projetos e telecomunicações;
- e) Sociais: qualificação da mão de obra e seguridade social;
- f) Internacionais: ações voltadas para inserção internacional do comércio e para o fluxo de capitais, acordos internacionais, investimentos de risco em tecnologia e relações com organismos multilaterais.

Em relação aos fatores que tornam o gás natural comprimido competitivo em relação aos demais combustíveis, Imran Khan (2017) identificou os principais fatores para o sucesso do combustível em diversos países do mundo. Em se tratando da política de incentivos, os principais fatores são: instrumentos baseados no mercado; mecanismos financeiros inovadores; comando e medidas de controle; e programas de Informação, Educação e Assistência Técnica. No Brasil esses aspectos se traduzem em:

- Redução do imposto de vendas sobre o GNV em comparação com os veículos convencionais;
- Fornecimento de empréstimos à taxistas para conversão pós-venda de veículos convencionais a gasolina ou *flex-fuel*;
- Fornecimento de empréstimos com juros atrativos de longo prazo para investidores em estações de reabastecimento;
- Redução de até 75% nas taxas anuais de impostos do veículo;
- Ajuste do preço do GNV a cerca de 50% do preço da gasolina;

Percebe-se que a competitividade envolve a busca por estratégias que proporcionem algum tipo de vantagem sobre a concorrência. No entanto, quando este objetivo é atingido, inicia-se um processo de readequação do setor, de tal maneira que a vantagem conquistada se transformará ao longo do tempo em um critério apenas qualificador, sendo este processo acelerado quando as barreiras à entrada no setor forem facilitadas. Desta forma, a competitividade é um conceito dinâmico, o que implica na necessidade das empresas renovarem-se constantemente por meio de inovações e atualizações que, por um lado, adicionem valor aos processos ou produtos, e por outro instalem barreiras que limitem o acesso da concorrência às novas tecnologias (CHRISTENSEN, C.M. RAYNOR, 2013; PORTER, 2009). Sendo assim, este referencial teórico apresentou alguns conceitos

relacionados à competitividade, com a finalidade de servir como base para a elaboração da modelagem proposta.

2.6 SISTEMAS DE MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO

No atual ambiente competitivo as organizações devem ser capazes de avaliar seus objetivos, como custo unitário, lucro, desempenho subjetivo (por exemplo, qualidade, satisfação) e estabelecer estratégias apropriadas para alcançar seus objetivos. O processo de mensuração de desempenho é considerado como um dos principais elementos da gestão estratégica, sendo capaz de identificar a distância existente entre a situação atual de uma organização e o nível considerado como o de excelência através da proposição de metas alinhadas com o planejamento estratégico e o uso de indicadores. A proposta do uso de indicadores baseia-se no fato de que fatores tangíveis e intangíveis sempre podem ser mensurados, contanto que se utilizem métricas bem definidas, rotinas que operacionalizem a coleta de dados e escalas de medição padronizadas, traduzindo-se assim dados dispersos em informações úteis para o gerenciamento de unidades produtivas. Os indicadores também são um mecanismo capaz de fornecer informações que são úteis para a tomada de decisão nas organizações (HADDADI; YAGHOUBI, 2014; HILL; JONES, 2012).

Na literatura diversos modelos estão disponíveis para mensurar e indicar o desempenho, cada um com suas características que visam acompanhar a competitividade atual. Em meio aos diversos modelos existentes, Neuenfeldt Júnior (2014) organizou os principais modelos que visam à mensuração de desempenho e também as suas características, conforme o Quadro 6.

As possibilidades supracitadas devem ser entendidas como opções flexíveis capazes de se ajustarem da melhor forma possível à realidade que se pretende modelar, cabendo ao usuário da ferramenta a sensibilidade para tanto, uma vez que nem mesmo a literatura científica apresenta um consenso de qual método seja o mais apropriado. Ainda, existem estudos que visam identificar atributos desejáveis em Sistemas de Mensuração de Desempenhos (SMD). Nesse quesito destaca-se o estudo realizado por (Figueiredo, 2005), que identificou com base na análise de diversas fontes bibliográficas nove características: aprendizado organizacional; análise crítica; balanceamento; clareza; dinamismo; integração; alinhamento; participação; e relacionamento causal.

Quadro 6 – Modelos de mensuração de desempenho.

Método	Características principais
Administração por Objetivos (APO)	Técnica de direcionamento de esforços através do planejamento e controle administrativo, no qual as metas são definidas em conjunto entre administrador e seu superior e as responsabilidades são especificadas para cada posição em função dos resultados esperados.
<i>Key Performance Indicators</i> (KPI)	Ferramenta para avaliar o estado de determinada atividade, de maneira que os níveis de uma empresa compreendam a forma como seus trabalhos influenciam no negócio.
<i>Balanced Scorecard</i> (BSC)	Traduz a estratégia da organização em um conjunto de medidas capazes de realizar a mensuração do seu desempenho, a fim de se atingir os principais objetivos estratégicos traçados.
Três Níveis de Desempenho	Considera o estabelecimento de três níveis (organização, processo e executor) de desempenho, de maneira a qual uma empresa ou um sistema pode ser avaliado a partir do cumprimento dos requisitos destes vértices.
<i>Mckinsey 7-S</i>	Modelo de gestão desenvolvido para compreender sete fatores considerados como de determinação para a efetiva mudança de uma organização.
<i>Baldrige</i>	Tem por objetivo prestar um auxílio às empresas no que tange o estímulo ao aperfeiçoamento da sua qualidade e produtividade, fornecendo as informações necessárias para se chegar a um alto nível de qualificação dos seus processos.
<i>Quantum</i>	Modelo proposto com o objetivo de associar missão, estratégia, metas e processos dentro da organização, trabalhando com uma matriz em três dimensões: qualidade, custo e tempo, visando equilíbrio entre estas.
<i>Performance Prism</i>	É uma metodologia que visa integrar os processos a fim de se criar valor para as partes interessadas no sistema, partindo-se de indicadores capazes de remeter o status no qual a gestão se encontra.

Fonte: adaptado de Neuenfeldt Júnior (2014).

Com isso, tal estudo encontrou alguns atributos desejáveis na tentativa de guiar o pesquisador na hora de encontrar o melhor método de mensuração de desempenho nas pesquisas. Ainda, um conjunto de princípios orientadores, derivados de um estudo aprofundado da literatura, em torno do qual um esquema eficaz de medição de desempenho de inovação pode ser projetado, são descritos por Dewangan e Godse (2014), conforme segue:

- a) O esquema de medição de desempenho deve fornecer uma visão multidimensional do desempenho;
- b) O regime deve centrar-se na medição do desempenho de várias fases no ciclo de vida da inovação; deve ser um processo de inovação orientada;
- c) O esquema deve efetivamente abordar os objetivos organizacionais das partes interessadas, pertencendo tanto dentro como fora da empresa;
- d) O regime deve apoiar uma relação de causa e efeito entre as medidas de desempenho;
- e) O esquema deve ser fácil de implementar e usar.

Com esse rol de atributos desejáveis e princípios orientadores, destaca-se sobre os demais, o método *Key Performance Indicators* (KPIs), visto que está mais bem alinhado com

a proposta deste estudo. Indicadores-chave de desempenho são indicadores financeiros e não financeiros que as organizações usam para estimar e fortalecer o sucesso, objetivando metas estabelecidas previamente e duradouras (VELIMIROVIĆ, D.; VELIMIROVIĆ, M.; STANKOVIĆ, 2011). Para Bartz; Siluk; Barth (2011) indicadores-chave de desempenho ajudam as organizações a compreender o quão bem eles estão se saindo em relação a suas metas e objetivos estratégicos. Ainda, Parmenter (2007) afirma que existe um equívoco de entendimento geral sobre esta ferramenta, pois muitas organizações utilizam medições que, apesar de retornarem informações preciosas, não podem ser consideradas KPIs. Para definir o que são e o não são KPIs, o autor enquadra os indicadores sob quatro grupos:

- a) Indicadores Chave de Resultados (Key Results Indicators – KRIs) expressam o desempenho atingido em uma perspectiva do *Balanced Scorecard* ou fatores críticos de sucesso;
- b) Indicadores de Resultado (Result Indicators – RIs) expressam um resultado qualquer atingido;
- c) Indicadores de Desempenho (Performance Indicators – PIs) expressam o que deve ser realizado; e
- d) Indicadores Chave de Desempenho (Key Performance Indicators – KPIs) expressam o que deve ser realizado para alavancar o desempenho drasticamente.

Como pode ser visto, KPIs são um conjunto de indicadores especiais capazes de refletir de forma quantitativa e condensada o desempenho de um setor específico da organização como um todo, atingindo não apenas uma, mas várias perspectivas do *Balanced Scorecard* (BSC) ou Fatores Críticos de Sucesso (FCS). Desta forma, a utilização de KPIs pressupõe que se estabeleça uma estratégia com um alvo que se deseja atingir (KPI objetivo), e por meio do qual se desdobram os FCS, onde a correta identificação desses fatores e indicadores corresponde, em grande parte, ao êxito na implementação da metodologia (PARMENTER, 2007; SAMSONOWA, 2012). Assim, a utilização de KPIs como sistema de mensuração de desempenho pode ser considerada como uma ferramenta atualizada, devido à recorrência deste tema em obras científicas (SOLIMAN, 2014).

2.7 ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO

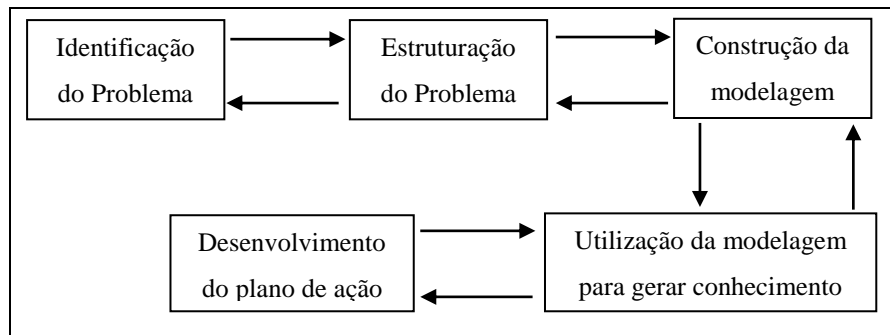
A Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) pode ser utilizada em problemas nos quais existem mais de dois critérios a serem avaliados. O apoio multicritério de apoio à decisão pode ser visto como um conjunto de métodos que se prestam a tornar claro

um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005). A abordagem multicritério de apoio à decisão é uma ferramenta eficaz para resolver problemas de decisão da vida real, tais como problemas de planejamento de produção, problemas de dieta, mistura de óleo, planejamento financeiro e análise de políticas (GUPTA; MOHANTY, 2016). As Metodologias Multicritério de Apoio a Decisão (*Multi Criteria Decision Aid – MCDA*) contribuem justamente por auxiliar a tornar este processo menos complexo, ao dispor de ferramentas que permitem elucidar as relações de causa e efeito sobre as preferências dos decisores, aumentando o nível de conhecimento sobre o problema, o que difere substancialmente do conceito de busca da solução ótima dos métodos de otimização da Pesquisa Operacional tradicional (BELTON; STEWART, 2001). Ainda, a MCDA não tem por objetivo remover a subjetividade do problema, mas visa torná-la clara aos decisores, guiando-os por caminhos lógicos para satisfazer os objetivos de todos os envolvidos (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

Deluka-Tibljás et al. (2013) avaliaram a questão de tomada de decisões sobre a infraestrutura de transporte em áreas urbanas e o uso da análise multicritério neste processo é estudada. A análise mostrou que o método de Análise Hierárquica de Processos (*Analytic Hierarchy Process AHP*) é o método MCA mais utilizado para a tomada de decisão no domínio da infraestrutura de transportes. Os próximos métodos mais frequentes são: *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation, Elimination and Choice Translating Reality* e *Simple Additive Weighting*. Métodos menos frequentes são o *Analytic Network Process*, REGIME, Teoria da Utilidade Multiatributo, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* e outros.

Taha e Daim (2013) revisaram a literatura científica a respeito das aplicações multicritério em análise de energia renovável. Os autores concluíram que mesmo com o grande número de métodos MCDA disponíveis, nenhum deles é considerado o melhor para todos os tipos de situações de tomada de decisão. Para eles não há um melhor método, mas apenas uma técnica que se encaixa melhor em uma determinada situação. Os autores notaram que a AHP é a metodologia mais utilizada entre todos os métodos, ainda que a questão remanescente é como escolher a metodologia MCDA apropriada em tomada de decisão de energia alternativa. Além disso, as fases que compõem um processo de apoio à decisão são discutidas por vários autores, entre os quais se destacam as obras de Belton e Stewart (2001); Doumpos, M. e Grigoroudis (2013); Gomes; Autran e Gomes (2012), onde nota-se bastante semelhança entre as mesmas. Especificamente, a abordagem contida em Belton e Stewart (2001) é mostrada na Figura 18.

Figura 18 – Processo de apoio à decisão.



Fonte: adaptado de Belton e Stewart (2001)

A primeira fase do processo de apoio à decisão compreende uma ampla investigação para a identificação do problema e do contexto que permeia a decisão, uma vez que entre um grupo de decisores estes conceitos nem sempre estão claros, pois o problema pode envolver nuances e percepções diferentes para cada um dos envolvidos (DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, 2013; ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001). Durante a fase de estruturação, os autores utilizam de ferramentas para auxiliar no processo de identificação das alternativas, incertezas, pontos chaves de avaliação e fatores externos, com base nos seus sistemas de valores. Entre estas ferramentas, destacam-se as hierarquias de meios e fins, diagrama de Ishikawa, *brainstorming*, e árvore de decisão. Em específico, essa última prevê a decomposição do problema por meio da divisão do objetivo central em critério e subcritérios organizados hierarquicamente, mostrando-se bastante útil na visualização das inter-relações entre os diversos elementos que impactam a decisão, sendo amplamente utilizada em processos decisórios (GOMES; AUTRAN; GOMES, 2012).

A construção da modelagem, por sua vez, envolve a utilização de mecanismos que permitam avaliar quantitativamente cada critério. Para tanto, uma das necessidades neste ponto é a definição de taxas de substituição entre os elementos do modelo, a fim de demonstrar as diferenças de importância entre cada um deles. Isso pode ser realizado por meio de métodos como *Trade-Off*, *Swing Weights* e comparação par-a-par, todos baseados no conceito de compensação, onde o ganho de *performance* em um critério implica na perda de outro (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

Além disso, também é necessária nesta fase a construção de funções de valor capazes de promover a medição dos atributos desejáveis de cada alternativa, os quais são definidos

com base nos critérios considerados como relevantes para a decisão (GOMES; AUTRAN; GOMES, 2012). Esta etapa pode ser realizada, dentre outros métodos, por meio da Pontuação Direta, Julgamento Semântico, ou método Bisseção, sendo esse último especialmente válido para variáveis quantitativas contínuas (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

Uma vez que as funções de valor e as taxas de substituição estejam estruturadas, faz-se necessário a construção de uma equação global capaz de avaliar efetivamente o desempenho de cada alternativa. Para encontrar as taxas locais de substituição (P_i) o procedimento é realizado com o cálculo da razão entre o valor de importância do FCS (Z_i) e o do somatório obtido pela importância de todos os FCSs que fazem parte do critério em análise. Já as taxas globais de substituição (W_i) são calculadas multiplicando as P_i dos FCS localizados nos níveis mais elevados da árvore de decisão, Eq. 1 (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

$$W_i = P_i \times P_i \times P_i \quad (1)$$

Uma vez que as taxas locais e globais de substituição estejam calculadas, faz se necessário à construção de uma equação global capaz de avaliar o desempenho competitivo ($V(a)$). Para agregar as avaliações locais de desempenho $V_i(a)$ utiliza-se a Eq. 2 (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001):

$$V(a) = \sum W_i \times V_i(a) \quad (2)$$

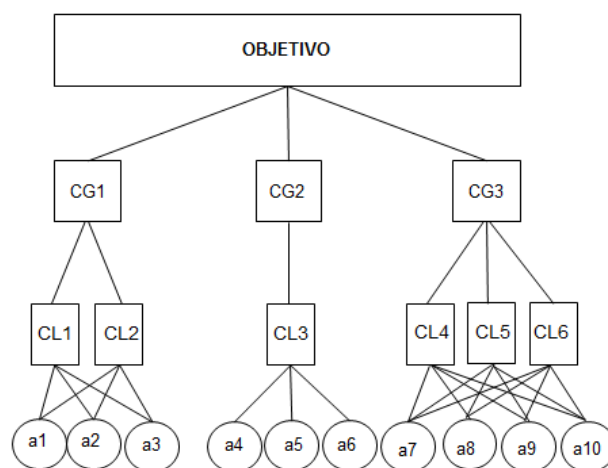
A fase denominada por utilização da modelagem para gerar conhecimento envolve, em um primeiro momento, o cálculo do desempenho global das alternativas a partir da construção realizada na fase anterior, sendo possível analisar as diferenças entre elas. Posteriormente, esta visa apontar qual é o melhor curso de ação para o problema modelado, além de propor qual o incremento necessário para que as alternativas avaliadas negativamente possam vir a ser consideradas como atrativas, realizando-se simulações e verificando-se os resultados (DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, 2013; ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

A última fase, intitulada por desenvolvimento do plano de ação, visa buscar estratégias para a implementação da decisão que foi apoiada pelo processo desenvolvido. Neste estágio, já se considera que a melhor alternativa (ou conjunto destas) esteja definida, concentrando os esforços na realização das atividades necessárias para execução da solução encontrada (BELTON; STEWART, 2001).

2.7.1 Análise hierárquica de processos

A Análise Hierárquica de Processos (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) foi proposta por Thomas Lorie Saaty em 1980 e tem sido uma técnica popular e poderosa para a tomada de decisão, a qual é construída sobre a capacidade intrínseca do ser humano para estruturar suas percepções ou ideias de forma hierárquica (ZHU; XU, 2014). A AHP utiliza uma estrutura de árvore hierárquica para simplificar problemas complexos, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Estrutura de árvore hierárquica



Fonte: Yeap; Ignatius; Ramayah (2014)

A AHP é amplamente utilizada para apoio à decisão multicritério com base em uma decomposição hierárquica de um problema de decisão em vários critérios. Com isso, são realizados julgamentos durante todos os níveis da estrutura hierárquica estudada, de quais alternativas elencadas são mais interessantes para o caso, facilitando assim a decisão de cada critério (DURBACH; LAHDELMA; SALMINEN, 2014; GOMES; AUTRAN; GOMES, 2012). O método começa por definir um objetivo central, que é seguido por critérios globais (CG) e, em seguida, subníveis ou critérios locais (CL). O número de níveis depende se o exercício de decomposição pode fornecer diferenciação mais significativa dos critérios entre os tomadores de decisão (YEAP; IGNATIUS; RAMAYAH, 2014). Uma vez que a estrutura tenha sido finalizada, o processo de tomada de decisão começa por comparar dois critérios de cada vez. Um conjunto de n elementos em toda a estrutura hierárquica renderia $n(n-1)/2$ comparações.

Quadro 7 – Escala AHP.

ESCALA AHP	
Nível de Importância	Definição
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Alta importância
7	Importância muito alta
9	Importância extremamente alta
2,4,6,8	Meio termo entre os níveis

Fonte: adaptado de Yeap; Ignatius; Ramayah (2014)

A escala utilizada no processo de tomada de decisões varia de 1 a 9 e permite que os tomadores de decisão possam expressar a sua preferência, conforme exemplificado pelo Quadro 7. Os pesos dos elementos estão escalonados em cada um dos níveis hierárquicos em relação a um elemento em um nível superior de modo que a matriz reflète a importância relativa entre as entidades nos níveis mais baixos da hierarquia. Isto implica que as medidas em última camada podem ser interpretadas como os *drivers* que permitem a realização do objetivo global do problema. Além disso, os nove pontos são utilizados pelos tomadores de decisão para expressar suas preferências para uma alternativa sobre outra, por um critério particular, e para o quanto um critério é valorizado em detrimento de outro. Um elemento quando comparado a si próprio é considerado de igual importância. Os valores 2, 4, 6 e 8 são utilizados para facilitar comparações entre elementos levemente diferentes (YEAP; IGNATIUS; RAMAYAH, 2014).

Após o levantamento dos valores referentes ao grau de importância dos elementos, é construída uma matriz de julgamento “A”. Oliveira e Martins (2015) propõem um método de cálculo de prioridades do método AHP baseado em Saaty (1989). A adaptação utilizada possui a mesma eficiência do método original no levantamento dos pesos de cada critério, e alguns de seus elementos são utilizados. A Eq. 3 expressa genericamente os elementos definidos, tendo os elementos a_{ij} definidos pelas seguintes regras:

- Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$;
- Se o conjunto de atividades C_i é julgado como de igual importância relativa ao conjunto de atividades C_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$, e $a_{ii} = 1$.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Após a definição da matriz de julgamento, é necessário normalizar os valores a_{ij} da matriz. O cálculo é expresso pela Eq. 4.

$$* a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

A matriz normalizada $*A$ é de ordem n é representada na Eq. 5.

$$* A = \begin{bmatrix} * a_{1j} & \cdots & * a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ * a_{n1} & \cdots & * a_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para realizar o cálculo do peso de cada alternativa p , é utilizada como base a Eq. 6, a partir dos dados da matriz normalizada $*A$. Os valores de p encontrados são representados na matriz da Eq.7:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n * a_{ij}}{n} \quad (6)$$

$$p = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_l \end{bmatrix} \quad (7)$$

De acordo com Saaty (1989), para se obter a consistência de uma matriz recíproca, seu autovalor máximo (λ_{\max}) precisa ser igual a n . O autovetor mostra a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. Para encontrar o λ_{\max} , primeiramente, é calculada a soma ponderada da matriz de julgamento, baseado na soma do valor das linhas da matriz recíproca A pelo valor de p correspondente, expresso por b na Eq. 8.

$$b_i = \sum_{j=1}^n a_{1j} \cdot p_j \quad (8)$$

Após o cálculo dos valores de b , dividem-se os resultados pelos vetores da matriz p , demonstrado na Eq. 9.

$$c_i = \frac{b_i}{p_i} \quad (9)$$

O cálculo de λ_{\max} então é expresso pela Eq. 10, através do cálculo da média dos resultados de cada linha.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=i}^n c_i}{n} \quad (10)$$

Então, é possível calcular o valor do índice de consistência (IC) através da Eq. 11, considerando n a ordem da matriz de julgamento.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

Ainda, segundo Saaty (1989), a Relação de Consistência (RC), apresentada na Eq. 12, é a razão entre índice de consistência e um índice randômico médio. Uma RC de 0,10 ou menos é considerada aceitável.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (12)$$

O índice randômico é obtido através da Tabela 7 e leva em consideração a ordem das matrizes de julgamento. Para cada ordem de matriz, existe um índice randômico correspondente.

Tabela 7 – Relação do índice randômico com a ordem da matriz de julgamento.

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice Randômico	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

Fonte: Adaptação de Saaty e Peniwati (2013).

Essas comparações estabelecem as prioridades dos elementos de um dos níveis de hierarquia relacionando ao nível seguinte. Se existirem mais de dois níveis, os diversos vetores de prioridade podem ser combinados em matrizes de prioridades, que darão o vetor de prioridade final para o nível da base (SAATY, 1989).

A principal vantagem da AHP tem sido sua capacidade para decompor, de forma detalhada, estruturada e sistemática, o problema de decisão em subproblemas mais facilmente compreendidos que podem ser analisados de forma independente. Este método é relatado para implicar uma grande quantidade de subjetividade particularmente na comparação par-a-par dos diferentes critérios envolvidos. Pode ser difícil para o tomador de decisão, entretanto, comparar dois critérios e atribuir-lhes um peso objetivo de acordo com a sua importância relativa (FRIKHA; MOALLA, 2015). Por fim, os principais passos envolvidos na metodologia são (AHMAD; TAHAR, 2014):

- a) Estruturar o problema de decisão em uma hierarquia de níveis, com objetivo no nível superior, seguido de critérios, subcritérios e alternativas no nível mais baixo;
- b) Aos pares, comparar cada elemento no nível correspondente através da atribuição de um valor numérico;
- c) Para cada comparação matriz calcule: autovalor máximo, o índice de consistência (CI), razão de consistência (CR), e autovetor normalizado obter pesos prioritárias para cada critério / alternativa;
- d) Integrar os julgamentos mais diversos em níveis de hierarquia para produzir uma pontuação total para alternativas;

Dessa forma, a abordagem multicritério dispõe de uma riqueza de ferramentas para auxiliar no entendimento de uma problemática muitas vezes abstrata e repleta de interesses muitas dispersos (SOLIMAN, 2014).

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Para atingir o objetivo proposto, a metodologia apresentada será composta pelo enquadramento metodológico, instrumentos utilizados, e desenvolvimento da pesquisa.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A condução de pesquisas científicas deve estar balizada em pressupostos metodológicos para que possa ser considerada válida e apresentar resultados coerentes (MARCONI; LAKATOS, 2003). Neste sentido, o enquadramento da metodologia a ser utilizada nesta dissertação é apresentado no Quadro 8 – Enquadramento metodológico.

Quadro 8 – Enquadramento metodológico.

Classificação	Enquadramento
Natureza	Aplicada
Abordagem	Qualitativa
	Quantitativa
Método Científico	Indutivo
Objetivos	Exploratória
	Descritiva
Procedimentos técnicos	Bibliográfica
	Documental
	Estudo de caso

Fonte: Autor.

Quanto à natureza, essa pesquisa pode ser enquadrada como aplicada, pois a resposta prática pode ser obtida por seus resultados, contribuindo para a solução de problemas pontuais no contexto e no momento da investigação (GIL, 2010).

Em relação a abordagem, a pesquisa é qualitativa e quantitativa, pois primeiramente busca-se descrever a complexidade do problema, levando em conta todos os componentes da situação, e em seguida, busca-se quantificar os dados e informações recolhidos (GRESSLER, 2004).

Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva, pois os fatos são observados, registrados e analisados sem a interferência do pesquisador e também porque a coleta de dados é através de questionários e observação sistemática (ANDRADE, 2010). Também quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória, porque se tem a finalidade de gerar mais informações sobre o assunto a ser investigado, ou seja, conhecer com maior clareza o assunto (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Em relação ao método científico, este se enquadra como indutivo, pois a partir de observações de casos particulares, é possível chegar a uma conclusão de ordem mais geral (PRODANOV; FREITAS, 2013)

Os procedimentos técnicos utilizados foram: bibliográfico, documental e estudo de caso. O procedimento bibliográfico foi devido à necessidade de realizar buscas por publicações científicas para embasar as temáticas abordadas, e documental para possibilitar um melhor entendimento de todas as fases, dos procedimentos e das tendências relacionadas ao gás natural. Por outro lado, se encaixa como estudo de caso porque é caracterizado como um estudo exaustivo e profundo, de forma a obter um amplo conhecimento a respeito deste (GIL, 2010).

3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

A etapa de coleta de dados foi realizada com o envio dos mecanismos de avaliação submetido à usuários e especialistas da área – universidades, fundações, associações, centros de pesquisa e empresas – com a finalidade de coletar as informações necessárias para se realizar a avaliação proposta.

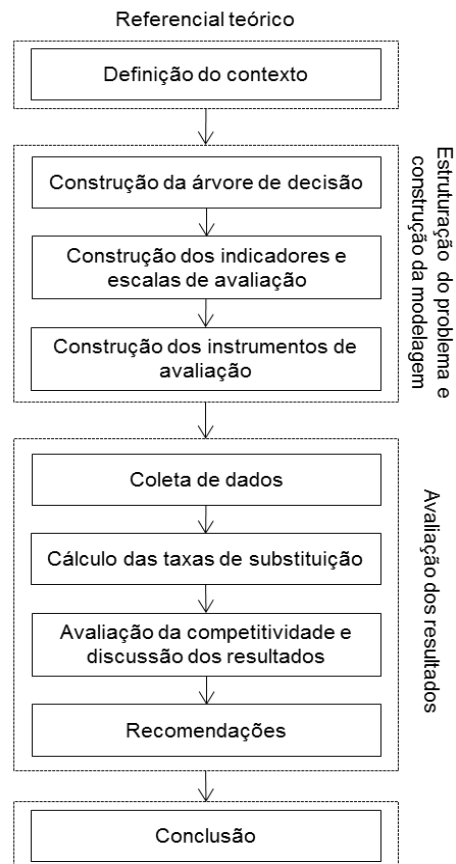
O instrumento contém questões fechadas de múltipla escolha para cada indicador da modelagem, onde as alternativas de resposta estarão relacionadas com as escalas de avaliação dos KPIs construídos, conforme apêndice A. Desta maneira, a partir dos dados obtidos, foi possível avaliar o desempenho dos participantes da pesquisa, tornando-se possível realizar comparações entre os mesmos, pois os dados serão coletados de forma uniformizada e serão utilizadas as mesmas métricas para cada respondente. Os respondentes também foram questionados sobre o nível de importância que atribuem para cada indicador da modelagem, conforme o uso de uma escala padronizada. Desta forma, foi possível analisar as percepções dos diferentes gestores quanto aos fatores que mais impactam na competitividade deste setor, para que se possa então proceder com o cálculo das taxas de substituição durante a fase de avaliação dos resultados.

O envio e preenchimento dos formulários foi realizado através de instrumentos construídos na plataforma *Google forms* e enviados por meio eletrônico para os participantes da pesquisa, a fim de garantir a agilidade e a redução de custos e investimentos na pesquisa. A pesquisa também foi embasada através de pesquisa bibliográfica e documental, na qual foram identificados e analisados os fatores relevantes para a competitividade da utilização gás natural no Brasil.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Com o intuito de compreender como está estruturada a pesquisa, a Figura 20 apresenta as etapas metodológicas para desenvolvimento da pesquisa, que são definidas como: referencial teórico, estruturação do problema e construção da modelagem, e por fim, a avaliação dos resultados e conclusões.

Figura 20 – Etapas metodológicas.



Fonte: Autor.

A primeira fase, intitulada definição do contexto, contemplou a revisão bibliográfica, apresentada no capítulo 2, onde as características sobre o gás natural foram estudadas. Para a realização da revisão bibliográfica, foram utilizados portais de conteúdo científico Science Direct e Scopus, assim como o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Para a pesquisa referente ao contexto brasileiro do gás natural, tais como tarifas, encargos e projetos governamentais e empresariais, utilizou-se pesquisas em websites dos órgãos competentes. A pesquisa documental compreendeu a busca por relatórios, informativos, planos de desenvolvimento e expansão, estatísticas referentes ao status e projeções do gás natural, disponibilizados por órgãos governamentais, departamentos de energia, de origem nacional ou internacional, além da consulta junto aos portais eletrônicos de órgãos do governo. Como principais órgãos consultados para a pesquisa documental destacam-se: *International Energy Agency* (IEA), Ministério de Minas e Energia, Agência Nacional de Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural, entre outros. Os resultados obtidos incluem dados mercadológicos, panoramas setoriais e regionais, tendências, séries históricas e predição de eventos futuros, os quais foram apresentados ao longo do referencial teórico e suportam o subcapítulo que retrata informações gerais sobre a economia do gás natural.

A segunda etapa, de estruturação do problema e construção da modelagem, foi realizada em três etapas: construção da árvore de decisão; construção dos indicadores e escalas de avaliação; e construção dos instrumentos de avaliação. Para a primeira etapa, a árvore de decisão foi elaborada a partir do desdobramento do objetivo central em PVFs, os quais representarão o primeiro nível da hierarquia e agruparão os fatores considerados como críticos de sucesso (FCS) para a competitividade. A determinação dos PVFs e FCS foi realizada a partir das recorrências identificadas por meio da pesquisa bibliográfica e documental, atendo-se assim ao terceiro objetivo específico, de identificar os fatores mais relevantes para a competitividade da utilização do gás natural no Brasil.

A construção dos indicadores e escalas de avaliação serão realizadas segundo os pressupostos da metodologia *Key Performance Indicators* (KPIs) fundamentados em Parmenter (2007), os quais permitiram a construção de métricas capazes de retornar ao usuário a real situação de cada fator crítico de sucesso que compõem a modelagem. Em específico, para a construção de escalas padronizadas, foi utilizada a metodologia de pontuação direta para o caso das variáveis discretas e qualitativas, enquanto que para as variáveis quantitativas contínuas foi utilizado o método da bisseção (GOMES; AUTRAN; GOMES, 2012; SOLIMAN, 2014). Na sequência, foi elaborada a construção dos instrumentos de avaliação por meio de dois formulários eletrônicos na plataforma Google

Forms. O primeiro foi referente à coleta dos dados que alimentarão a modelagem, enquanto o segundo diz respeito à importância atribuída pelos gestores das empresas que foram consultadas quanto ao nível de importância destinado a cada KPI. Para a fase de avaliação dos resultados, foi proposto o cumprimento a partir de quatro etapas: coleta de dados, cálculo das taxas de substituição, avaliação da competitividade e discussão dos resultados, além das recomendações. A coleta de dados envolveu o envio dos instrumentos – para especialistas da área, grupos de pesquisa e empresas – e o seu retorno.

O cálculo das taxas de substituição foi realizado a partir dos dados que foram coletados na pesquisa, onde primeiramente computou-se a média dos valores obtidos para a importância atribuída em cada critério pelos vários decisores. Posteriormente, as taxas de substituição foram definidas através do método *Swing Weights*, onde cada nível da estrutura hierárquica obteve sua soma normalizada em 100%, iniciando-se pela base e seguindo até o último nível que antecede o objetivo principal. Foi seguida a lógica *bottom-up*, iniciando-se pela base da estrutura hierárquica e continuando até o último nível (GOMES; AUTRAN; GOMES, 2012). A partir disso, possibilitou-se contemplar a etapa de avaliação da competitividade, considerando que os dados coletados foram utilizados como entradas para alimentar a modelagem. Dessa forma foi possível realizar uma discussão dos dados analisados. Durante a etapa de recomendações foi apresentada uma lógica para a formulação de ações de adequação no sentido de alavancar o desempenho competitivo do gás natural. Assim, possibilitou-se a realização de simulações de resultados para o objetivo global, visualizando-se o impacto das ações pontuais sobre o desempenho como um todo.

A fase final desta pesquisa foi compreendida pela redação das conclusões. Nessa etapa, o objetivo geral e os específicos foram retomados, a fim de se verificar se os resultados obtidos satisfizeram o problema de pesquisa definido na seção introdutória, além de se apresentar as limitações e a sugestões de trabalhos futuros.

4 CONSTRUÇÃO DA MODELAGEM

Neste capítulo são descritos os procedimentos adotados para a estruturação do problema e para a construção da modelagem de avaliação da competitividade da utilização do gás natural veicular em automóveis no Brasil. Esta fase foi dividida em três etapas: construção da árvore de decisão; construção dos indicadores e escalas de avaliação; e construção dos instrumentos de avaliação.

Para a primeira etapa, a árvore de decisão foi elaborada a partir do desdobramento do objetivo central em PVFs, os quais representaram o primeiro nível da hierarquia e agruparão os fatores considerados como críticos de sucesso (FCS) para a competitividade. A determinação dos PVFs e FCS foi realizada a partir das recorrências identificadas por meio da pesquisa bibliográfica e documental, atendo-se assim ao terceiro objetivo específico, de identificar os fatores mais relevantes para a competitividade da utilização do gás natural no Brasil.

4.1 CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO

Durante a leitura da bibliografia pertinente a esse contexto, buscou-se identificar nas publicações os elementos que moldaram a competição no setor, ou seja, os FCS. Após, criou-se um banco de dados com a listagem dos FCS mais relevantes nas publicações e a origem da informação. De acordo com a recorrência nas publicações, pode-se verificar a relevância dos FCS.

Em seguida foi realizada uma triagem dos FCSs, com o intuito de identificar os PVFs. A triagem dos FCSs levou a consequente adoção de quatro PVFs, que são a Produção (PVF-1), Distribuição (PVF-2) e Utilização (PVF-3), Quadro 9, Quadro 10 e Quadro 11, respectivamente. Na bibliografia que trata o contexto do uso do gás natural como combustível em veículos, existe a clara distinção entre produção, distribuição e utilização, conforme foi descrito na seção 2.2.

No Quadro 9 estão descritos os FCSs pertencentes ao PVF-1-Produção, ao total foram listados 3 FCSs. Dentro deste PVF se encaixam todos os possíveis métodos de obtenção do gás natural assim como a questão de capacidade produtiva (infraestrutura) para atender a demanda do gás, tanto aquele produzido nacionalmente quanto o gás importado.

Quadro 9 – PVF-1-Produção

PVF 1 – PRODUÇÃO	
FCSs	Referências
FCS-1.1- Origem Fóssil Nacional	EPE e MME (2014); MME e EPE (2017); PINTO (2014); MME e Secretaria de petróleo (2018); ANEEL (2018; ANP, 2017b); ANP (2009)
FCS-1.2 – Origem renovável Nacional	NASTARI; CNPE (2017); GAHB, (2017); ANEEL, (2018); ANP (2017b).
FCS-1.3 – Mercado externo	(EPE; MME, 2014) (MME; EPE, 2017; PINTO, 2014) (MME; SECRETARIA DE PETRÓLEO, 2018). (ANP, 2009)

Fonte: Autor.

No Quadro 10 estão descritos os FCSs pertencentes ao PVF-2-Distribuição e foram listados 3 FCSs. Dentro deste PVF estão inseridos os modos de distribuição do gás natural até os postos de combustíveis, elencados como entrega ao usuário, que posteriormente irão abastecer os consumidores.

Quadro 10 – PVF-2-Distribuição

PVF 2 – DISTRIBUIÇÃO	
FCSs	Referências
FCS-2.1 – Transporte Dutoviário	ABEGAS (2017); ANP, (2018). MME; EPE, (2017); Pinto (2014). ANP, (2017 ^a); Devos (2014).
FCS-2.2 – Transporte Rodoviário	MME; EPE, (2017); Pinto (2014); Bendezú (2009)(ABEGAS, (2017). Devos (2014).
FCS-2.3- Entrega ao Usuário	ANP (2017 ^a , 2017b); MME e Secretaria de Petróleo (2017) ABEGAS, (2018a) Janssen et al., (2006). Rabenschlag (2013) ANFAVEA (2017); ANP, 2018; Devos (2014) (EPE; MME, 2014).

Fonte: Autor.

Já o Quadro 11 demonstra os FCSs pertencentes ao PVF-3-Utilização, os quais elencam 4 FCSs. Dentro deste PVF estão inseridas as características dos usuários finais assim como aquelas propriedades que o GNV possui e são pertinentes ao uso do gás como combustível.

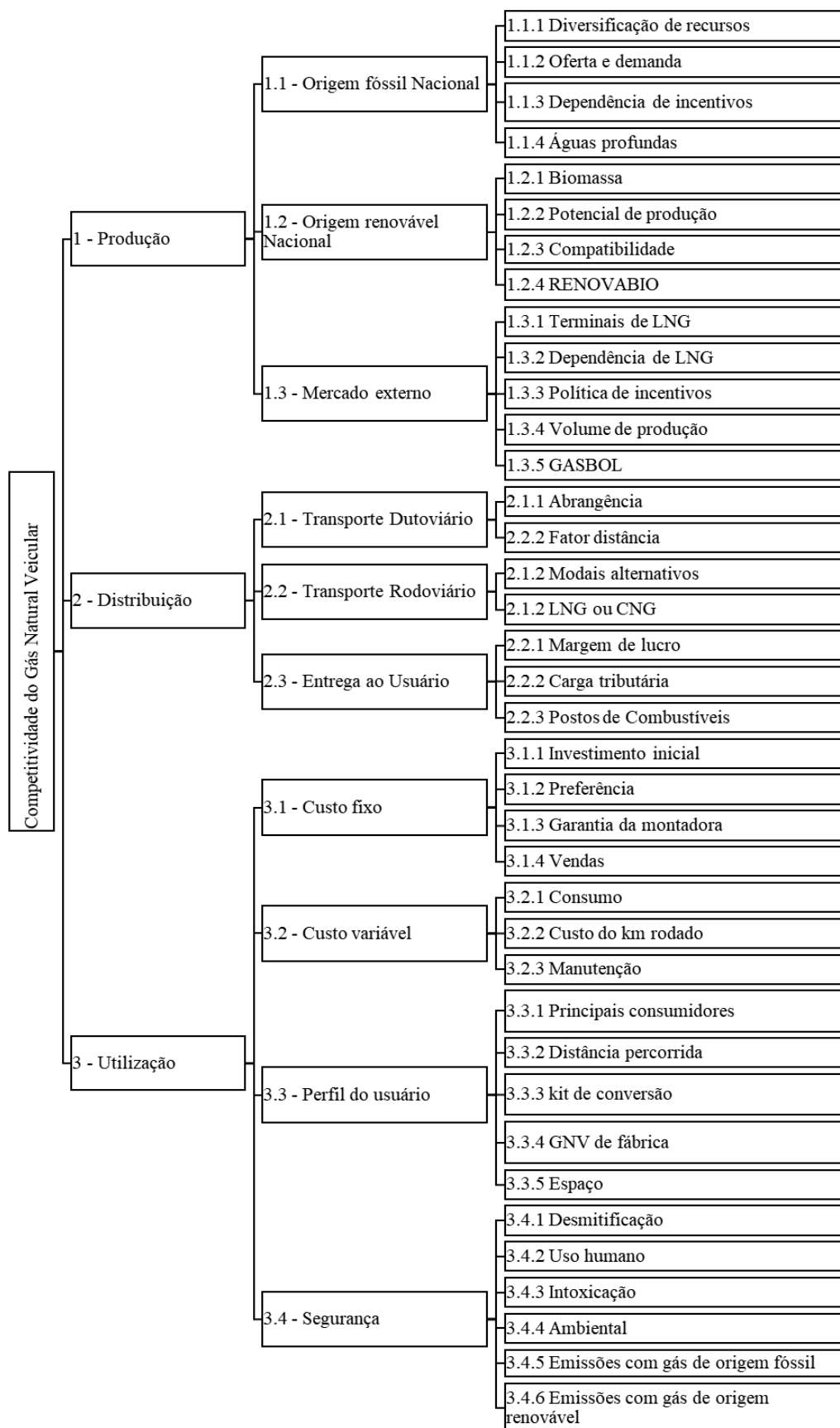
Quadro 11 – PVF-3-Utilização

PVF 3 – UTILIZAÇÃO	
FCSs	Referências
FCS- 3.1 – Custo fixo	ABEGAS (2017); ANP, (2018); Daniel Valiante (2006; Devos (2014); Khan et al. (2016 ^a , 2016b); Pavani (2012); Rabenschlag (2013); Souza e Silva (2008)
FCS- 3.2 – Custo variável	Daniel Valiante (2006); ANP (2018; ABEGAS (2017) Rabenschlag (2013)
FCS- 3.3 – Perfil do usuário	Devos (2014); Rabenschlag (2013); Kakaee; Paykani; Ghajar (2014); Castro; De Souza; Bovolenta (2012) (Souza; Silva, 2008); (ABEGAS, 2017; ANP, 2018; Devos (2014); Khan et al. (2016 ^a , 2016b); Pavani (2012);
FCS- 3.4 – Segurança	ABEGAS (2017); ANP, (2018); Daniel Valiante (2006; Devos (2014); Khan et al. (2016 ^a , 2016b); Pavani (2012); Rabenschlag (2013); Souza e Silva (2008) Autocatalog (2018); Sherry Stoner Et. Al. (2007); GASNET (2017); Jalihal; Reddy (2006)

Fonte: Autor.

A estrutura hierárquica para avaliação da competitividade do GNV no país pode ser melhor visualizada na Figura 21.

Figura 21 – Estrutura hierárquica para avaliação do desempenho competitivo do gás natural na mobilidade no Brasil.



Desta forma, foram averiguados 3 PVFs, 10 FCSs e 38 indicadores de desempenho para realizar a avaliação do desempenho competitivo do gás natural como combustível em automóveis na mobilidade brasileira.

4.2 DEFINIÇÕES DE INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO

A partir da definição dos FCSs, enumerados na seção 4.1, pôde-se dar início a construção dos indicadores e escalas de avaliação para mensurá-los. O primeiro passo foi a definição de um conceito de avaliação para cada um dos FCSs apresentados. Essa conceituação objetivou definir claramente o que se deseja mensurar, a fim de evitar interpretações equivocadas de quem for responder os indicadores propostos.

Posteriormente, cada um dos FCS foi desdobrado em cinco possíveis níveis de mensuração (N1, N2, N3, N4, N5), onde em cada caso, a situação “N1” corresponde à situação mais adequada possível, enquanto o “N5” corresponde a situação mais inadequada, ou seja, com menor grau de competitividade. O ponto médio “N3”, refere-se ao desempenho competitivo médio, neste patamar o cenário não é considerado totalmente eficiente ou ineficiente.

Com o propósito de construção de indicadores normalizados para a mesma escala, permitindo uma comparação e agregação dos mesmos, foram propostas funções lineares com pontuação entre 0 e 100. Desta forma, o nível mais alto “N1” recebeu pontuação 100%, o nível “N2” recebeu pontuação 75%, o nível “N3” recebeu pontuação 50%, “N4” recebeu como pontuação 25% e o nível mais baixo que é o “N5” foi atribuída a pontuação mínima de 0%.

O Quadro 12 representa um exemplo de indicador que foi construído. Percebe-se que todos os indicadores são compostos pelo nome do indicador, pelo índice de localização de sua posição na estrutura hierárquica, níveis de avaliação, descrição dos níveis de avaliação com sua respectiva valoração. Como exemplo o KPI do Quadro 13, a numeração 2.1 significa que o indicador é subordinado ao FCS-2. A listagem completa de todos os indicadores elaborados está contida no Apêndice A.

A valoração, de cada um dos níveis de avaliação dos indicadores foi fundamentada com base em estatísticas encontradas na literatura. Contudo, nem sempre as estatísticas estavam disponíveis na literatura, desta forma, ficou a cargo do pesquisador propor a valoração para os níveis de avaliação.

Quadro 12 – Exemplo de indicador construído.

FCS-1.1	Origem Fóssil
1.1.4: Para o Brasil reduzir a quantidade de petróleo e gás natural importados, qual será o nível de dependência das explorações do Pós-sal, Extra Pré-sal e Pré-sal?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Totalmente independente
()	Parcialmente independente
()	Médio
()	Parcialmente dependente
()	Totalmente dependente

Fonte: Autor.

Para minimizar essa subjetividade na pesquisa e validá-la, o pesquisador buscou o apoio de especialistas da área, conforme é discutido na seção 4.3.

4.3 VALIDAÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO

O objetivo principal da validação dos indicadores e escalas de avaliação foi elevar a confiabilidade da modelagem construída através da análise crítica realizada por um especialista que conheça as etapas que envolvem a utilização do gás natural como combustível na mobilidade. Para isso, contou-se com ajuda de alguns profissionais que possuem conhecimento nessa área.

Foram enviados materiais contendo a descrição da pesquisa e os indicadores e escalas de avaliação que foram construídos. Os profissionais fizeram algumas sugestões e realizaram a aprovação dos indicadores e escalas de avaliação propostos. Alguns dos especialistas respondentes, a destacar o gerente da empresa SULGÁS-companhia distribuidora RS, que auxiliou na correção de alguns itens do questionário. Sua experiência no fornecimento do gás natural contribuiu para a melhor elaboração e entendimento do questionário. O gerente auxiliou na retificação dos termos utilizados no modal de transporte do gás natural que é, prioritariamente, através de dutos, os quais podem ser de transporte ou de distribuição, como é o caso da tubulação da SULGÁS. Acrescentou também que o modal de transporte por carretas (GNC) é usado em alguns casos para antecipação de mercado ou ainda para ampliar a rota de abastecimento dos usuários de GNV.

4.4 CONSTRUÇÃO DO MECANISMO DE AVALIAÇÃO

O mecanismo utilizado nesta pesquisa foi construído contendo uma questão de múltipla escolha para cada um dos FCS, onde as possibilidades de resposta estão relacionadas com os níveis de avaliação e as escalas construídas. Desta maneira, torna-se possível analisar e comparar o desempenho competitivo dos cenários que empregam o gás como combustível para a mobilidade, permitindo uma coleta de dados padronizada.

Complementarmente, o mecanismo de avaliação questiona os respondentes quanto ao nível de importância que os mesmos atribuem para cada um dos FCS.

Figura 22 – Exemplo de questão utilizada na coleta dos pesos dos FCS.

Quanto ao aumento da disponibilidade de gás natural e petróleo em função da exploração das reservas marinhas, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()

Fonte: Autor.

Desta forma, foi elaborada a escala apresentada na Figura 22, onde os questionados devem assinalar uma resposta entre 1-9 para cada indicador.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os dados coletados com a aplicação do mecanismo de pesquisa. Este capítulo é composto pelas seções Coleta de Dados (item 5.1), Cálculo das Taxas de Substituição (item 5.2), Mensuração do desempenho Competitivo (item 5.3) e Simulações (item 5.4).

5.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no período de julho de 2018 e dezembro de 2018. O questionário foi enviado para especialistas de universidades, fundações, associações, centros de pesquisa e empresas, que trabalham no desenvolvimento e pesquisa do uso do gás natural como combustível na mobilidade no Brasil. Foi enviado o questionário via plataforma *Google Forms* através de e-mails para 19 especialistas e obteve-se 11 respostas válidas, portanto uma taxa de retorno de aproximadamente 58%, Quadro 13. Salienta-se que foram enviados e-mails e realizadas ligações telefônicas a fim de estabelecer contato prévio com os especialistas, e, posteriormente foi efetuado o envio do questionário.

Quadro 13 – Origem dos respondentes do instrumento de coleta de dados.

(continua)

Respondente	Cargo/Atividade	Instituição/Empresa	Infraestrutura da região
Renan Pires de Araújo	Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Rio Grande do Norte. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis. Terminais de LNG.
Thiago Brito	Doutorando em Energia	Pesquisador do Centro de Pesquisa e inovação em Gás – USP	São Paulo. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis. Terminais de LNG.
Marcelo Bratenahl Bastos	Coordenador Técnico do Segmento Veicular	Gerente Executivo de Mercado de Grandes Consumidores – Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul - Sulgás	Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis.

Quadro 13 – Origem dos respondentes do instrumento de coleta de dados.

(conclusão)

Daniel Valiante	Mestre em Engenharia Automotiva	Consultor de Vendas corporativas e Marketing (Volkswagen do Brasil)	São Paulo. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis. Terminais de LNG.
Denis Rasquin Rabenschlag	Professor/ Pesquisador	Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis.
Macklini Dalla Nora	Professor/ Pesquisador	Membro do Grupo de Pesquisa em Motores, Combustíveis e Emissões e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis.
Mario Eduardo dos Santos Martins	Professor/ Pesquisador	Membro do Grupo de Pesquisa em Motores, Combustíveis e Emissões e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis.
Daniel Argenta da Rosa	Diretor/Responsável técnico/Eng. Mecânico	Credenciada ao INMETRO, empresa Manegás Mecânica LTDA realiza serviços de conversão para GNV	Região de Caxias do Sul - Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário. Postos de Combustíveis.
Paulo Romeu Moreira Machado	Professor/ Pesquisador	Membro do Grupo de Pesquisa em Motores, Combustíveis e Emissões da Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis.
Alessandro Gardemann	Presidente	Abiogás – Associação Brasileira de Biogás e de Biometano	Nacional.
Clayton Barcelos Zabeu	Professor/ Pesquisador	Responsável pelas pesquisas em Propulsão Veicular/ Motores de combustão interna/ Biocombustíveis do Instituto Mauá de Tecnologia – São Paulo	São Paulo. Transporte Rodoviário, Ferroviário, Gasodutos. Postos de Combustíveis. Terminais de LNG.

Fonte: Autor.

O e-mail de contato dos especialistas foi coletado em artigos que foram utilizados na análise bibliométrica e revisão bibliográfica e também em sites de órgãos governamentais, centros de pesquisa e associações. Alguns exemplos de centros de pesquisas e associações são: Companhia de Gás de Santa Catarina, Centro de tecnologia do gás e energias renováveis (CTGÁS-ER), SULGAS, ABEGÁS, ABIOGÁS, Instituto brasileiro de petróleo, gás e biocombustíveis, Companhia de Gás do Paraná, empresa brasileira de pesquisa energética (EPE), Eng. Plínio Mário Nastari, Universidades – UFSM e UERJ (Prof. Dr Sergio Machado Correa) – Empresa Volkswagen (Eng. Daniel Valiante), entre outros pesquisadores. Procurou-se enviar o questionário somente para instituições e pesquisadores que possuem comprovado conhecimento na área e de locais em que há esforços atualmente para o desenvolvimento das tecnologias da mobilidade.

5.2 CÁLCULO DAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO

Os dados coletados para definir a importância de cada um dos FCSs foram utilizados para calcular e definir as taxas de substituição, permitindo assim identificar quais dos FCSs possuem maior ou menor importância frente ao contexto. Utilizou-se para a coleta dessas informações a escala padronizada [1,9] conforme visto na seção 4.4. Os cálculos das taxas de substituição foram realizados em uma planilha eletrônica do software Microsoft Excel®, seguindo a sequência *bottom up* e utilizando elementos da metodologia AHP. A fim de ilustrar a metodologia adotada para calcular as taxas de substituição, com um exemplo, apresentam-se no Quadro 14 os valores de importância encontrados para os indicadores 2.1.1 ao 2.3.3, pertencentes ao FCS-2.3 – Entrega ao usuário.

Quadro 14 – Importância e taxas de substituição para os Indicadores 2.3.1 ao 2.3.3

FCS _i	KPI 2.3.1	KPI 2.3.2	KPI 2.3.3	Média
Importância (Z_i)	6,10	7,36	7,20	6,89
Taxa local (P_i)	100%	100%	100%	100%

Fonte: Autor.

Após a realização do cálculo da importância e das taxas de substituição neste nível (KPI), partiu-se para o próximo nível da árvore decisão (FCS). Seguindo o mesmo exemplo anterior, calculou-se a importância do FCS-2.3 – Entrega ao usuário. O valor de importância do FCS-2.3 foi calculado com a média de importância do KPI-2.3.1, KPI-2.3.2 e do KPI-

2.3.3, que foi de 6,89 e sua taxa local de substituição foi de 13,32%. Esta taxa local de substituição representa o peso do FCS-2.3, dentro do PVF-2-Distribuição. A importância dos demais FCS e suas respectivas taxas locais de substituição são apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Importância e taxas de substituição locais para os FCS.

	FCSi	Importância (Zi)	Taxa local (Pi)
PVF-1	FCS-1.1 - Origem Fóssil	6,64	6,94
		7,82	8,18
		6,90	7,22
		7,44	7,79
	FCS-1.2 - Origem Renovável	8,00	8,37
		7,91	8,28
		7,73	8,08
		7,33	7,67
	FCS-1.3 - Mercado externo	7,90	8,27
		6,64	6,94
		7,64	7,99
		7,27	7,61
PVF-2	FCS- 2.1 - Transporte Dutoviário	8,10	15,66
		7,80	15,08
	FCS- 2.2 - Transporte Dutoviário	7,55	14,59
		7,60	14,70
	FCS-2.3 - Entrega ao Usuário	6,10	11,80
		7,36	14,24
PVF-3	FCS 3.1 - Custo fixo	7,20	13,92
		6,36	4,51
		7,64	5,41
		6,64	
	FCS 3.2 - Custo variável	7,91	5,60
		6,64	4,70
		8,55	6,05
		8,50	6,02
	FCS 3.3 - Perfil do usuário	6,91	4,89
		6,91	4,89
		7,18	5,09
		7,30	5,17
	FCS 3.4 – Segurança	6,73	4,77
		7,09	5,02
		7,45	5,28
		7,18	5,09
		7,60	5,38
		8,10	5,74

Fonte: Autor.

Para encontrar a importância e a taxa de substituição para os PVFs, calculou-se a média dos valores de importância dos FCS que estão em cada um dos PVF, Quadro 16.

Quadro 16 – Importância e taxa de substituição para os PVFs.

PVF	PVF-1	PVF-2	PVF-3	Soma
Importância	7,35	7,39	7,43	30,22
Taxa de substituição	33,17	33,32	33,51	100%

Fonte: Autor.

O cálculo das taxas de substituição globais (W_i) foi realizado multiplicando-se as taxas locais de substituição dos FCS localizados no nível superior da árvore de decisão. Por exemplo, para o caso do KPI-1.1.1, a taxa global encontrada foi de 2,30, utilizando a Eq. 1, onde (P_i) são as taxas locais de substituição (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

$$W_{1.1} = P_1 * P_1 * P_{1.1}$$

$$W_{1.1} = 100 * 6,94 * 33,17$$

$$W_{1.1} = 2,30 \%$$

As taxas de substituição globais foram aplicadas em todos os elementos que fazem parte da árvore de decisão. No Quadro 17 são mostradas as taxas de substituição para os FCSs e KPIs do PVF-1-Produção. O PVF-1 possui peso relativo de 25,19% em relação aos demais PVFs. Pode-se notar que os pesos dos critérios apresentaram baixa variação, o que transmite a ideia de uniformidade nas respostas dos especialistas quanto o nível de importância.

Quadro 17 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-1.

PVF-1- Produção – 33,17 %		
Taxa de substituição global do FCSs – W_i (%)	Taxa de substituição global – W_i KPIs (%)	KPI
2,30%	2,30%	KPI 1.1.1
2,71%	2,71%	KPI 1.1.2
2,39%	2,39%	KPI 1.1.3
2,58%	2,58%	KPI 1.1.4
2,78%	2,78%	KPI 1.2.1
2,74%	2,74%	KPI 1.2.2
2,68%	2,68%	KPI 1.2.3
2,54%	2,54%	KPI 1.2.4
2,74%	2,74%	KPI 1.3.1
2,30%	2,30%	KPI 1.3.2
2,65%	2,65%	KPI 1.3.3
2,52%	2,52%	KPI 1.3.4
2,21%	2,21%	KPI 1.3.5

Fonte: Autor.

Com os dados apresentados no Quadro 17 percebe-se que os especialistas respondentes atribuem como um fator muito importante a origem renovável para a produção do combustível, como o biogás, por exemplo. Em segundo lugar de importância na produção de gás natural, os especialistas julgaram a possibilidade da biomassa de suprir parte do gás produzido. No entanto, entre a maior importância (2,78%) e a menor (2,30%) percebe-se que há uma proximidade nos índices o que reflete homogeneidade entre as respostas.

No Quadro 18 encontram-se as taxas de substituição globais para o PVF-2, a qual recebeu peso relativo de 33,32%. O fator crítico que recebeu a mais alta ponderação, em se tratando deste ponto de vista fundamental (distribuição), foi o transporte dutoviário pelo fato de não atingir todo o país, o qual acaba priorizando as regiões mais industrializada. A segunda maior importância se deu na política de preços atuais no transporte de combustíveis. Em contraponto, a menor importância foi dada para a possibilidade de a margem de lucro das distribuidoras e as elevadas variações entre as mesmas acarretarem a inviabilidade do consumo de GNV. Observa-se que há grande variação relativa entre o fator de maior importância e o de menor, de 5,22% para 3,93%, respectivamente.

Quadro 18 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-2.

PVF-2- Distribuição – 33,32 %		
Taxa de substituição global do FCSs – Wi (%)	Taxa de substituição global – Wi KPIs (%)	KPI
5,22%	5,22%	KPI 2.1.1
5,03%	5,03%	KPI 2.1.2
4,86%	4,86%	KPI 2.2.1
4,90%	4,90%	KPI 2.2.2
3,93%	3,93%	KPI 2.3.1
4,75%	4,75%	KPI 2.3.2
4,64%	4,64%	KPI 2.3.3

Fonte: Autor.

As taxas globais de substituição para a utilização do gás natural veicular, PVF-3, aparecem no Quadro 19. O FCS que recebeu a mais alta pontuação dentro deste PVF-3 – Utilização – foi o custo com combustível dos veículos alimentados a GNV, comprovando-se a importância do fator econômico e financeiro para a tomada de decisão dos consumidores/motoristas.

Quadro 19 – Taxas de substituição global para os FCSs e KPIs do PVF-3.

PVF-2- Utilização – 33,51 %		
Taxa de substituição global do FCSs – Wi (%)	Taxa de substituição global – Wi KPIs (%)	KPI
1,51%	1,51%	KPI 3.1.1
0,91%	1,81%	KPI 3.1.2
0,91%		KPI 3.1.2
1,88%	1,88%	KPI 3.1.3
1,58%	1,58%	KPI 3.1.4
2,03%	2,03%	KPI 3.2.1
2,02%	2,02%	KPI 3.2.2
1,64%	1,64%	KPI 3.2.3
1,64%	1,64%	KPI 3.3.1
1,71%	1,71%	KPI 3.3.2
1,73%	1,73%	KPI 3.3.3
1,60%	1,60%	KPI 3.3.4
1,68%	1,68%	KPI 3.3.5
1,77%	1,77%	KPI 3.4.1
1,71%	1,71%	KPI 3.4.2
1,80%	1,80%	KPI 3.4.3
1,92%	1,92%	KPI 3.4.4
1,95%	1,95%	KPI 3.4.5
1,96%	1,96%	KPI 3.4.6

Fonte: Autor.

Da mesma forma, o segundo fator mais importante foi o custo do quilômetro rodado do GNV em relação aos demais combustíveis. Nota-se que os fatores mais importantes estão atrelados a questão econômica e financeira. Isso já era esperado visto que a revisão de literatura aborda esses fatores como imprescindíveis para o sucesso da utilização do GNV. Além disso, os incentivos governamentais e fiscais devem ser associados a esse fator, a exemplo dos estados brasileiros que possuem programas para mitigar o uso do gás. Em contraponto, a menor importância atrelada ao PVF-3 foi em relação à disponibilidade de investir em um modelo ambientalmente mais correto. Esse modus operandi reflete a realidade em países menos desenvolvidos onde as questões ambientais ainda são menos importantes quando comparado a questão econômica, por exemplo. Verifica-se também que, assim como as pesquisas na literatura, os resultados refletem a importância da mitigação ao uso de combustíveis renováveis, como por exemplo o biogás. Nota-se também que há grande variação relativa entre o fator de maior importância e o de menor, de 2,03% para 1,51%, respectivamente.

5.3 AVALIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A mensuração do desempenho competitivo envolve a obtenção de resultados quantitativos da aplicação da modelagem, que representam um diagnóstico de cada um dos PVFs, ou ainda os resultados obtidos em alguns cenários atuais.

A avaliação global da competitividade do cenário V(a) foi obtida por meio de uma função de agregação aditiva, que leva em conta o desempenho obtido (V_i) por cada KPI e sua taxa de substituição global (W_i), Eq. 2, seção 2.5.

Foram propostos quatro faixas para avaliar o nível de competitividade dos cenários avaliados, conforme o Quadro 20.

Quadro 20 – Faixas de avaliação da competitividade.

Nível competitividade	Descrição
0% I--- 25%	Sem competitividade
25% I--- 50%	Pouco competitiva
50% I--- 75%	Potencialmente competitiva
75% I---I 100%	Plenamente competitiva

Fonte: Autor.

Por exemplo, um desempenho de 50% representa que o cenário está em patamares medianos, enquanto um desempenho acima desse índice representa que o cenário tem potencial de ser competitivo.

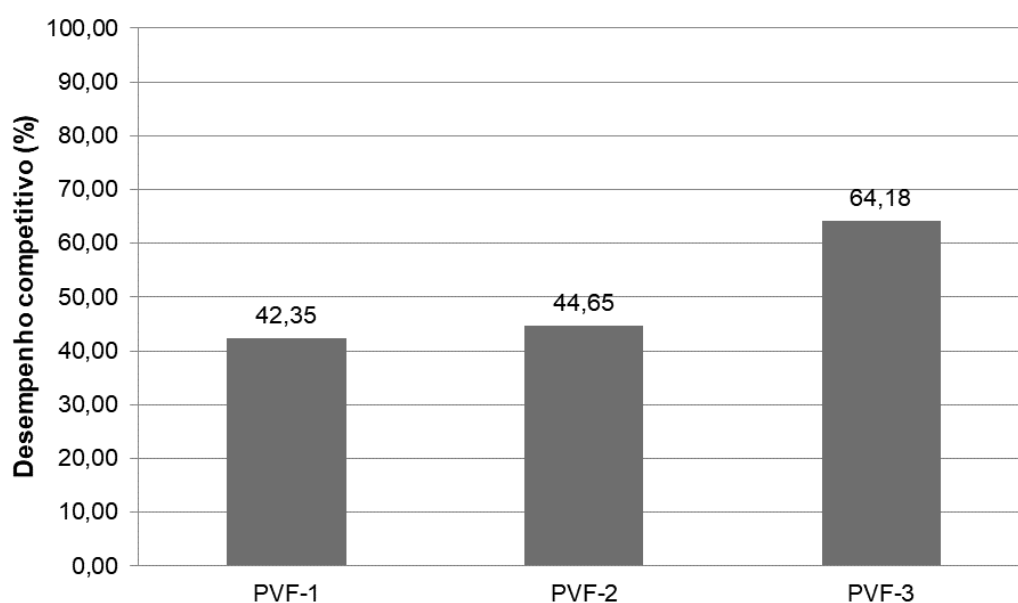
5.3.1 Desempenho competitivo global

Na avaliação global da competitividade, considerando todos os cenários avaliados, o desempenho foi de 50,39%, localizado no limiar entre potencialmente competitivo e pouco competitivo. Esse desempenho foi distribuído nos três cenários avaliados, conforme o gráfico da Figura 23, e é baseado em todos os níveis conforme foi hierarquizado na Figura 21.

O PVF-3 – Utilização – apresentou o melhor desempenho competitivo (64,18%) estando assim na faixa “potencialmente competitivo”, com destaque para o indicador que trata do custo com combustível, ressaltando a importância do aspecto econômico. Ao comparar todos os PVFs nota-se um desempenho semelhante entre a produção (42,35%) e distribuição (44,65%) de gás natural, ficando na faixa de “pouca competitividade”. Com isso, observa-se que apesar de a utilização do GNV possuir desempenho competitivo, estando cerca de 20%

acima dos demais PVFs, o que torna o desempenho global potencialmente competitivo, os demais cenários ainda devem sofrer avanços significativos a ponto de o gás natural tornar-se plenamente competitivo.

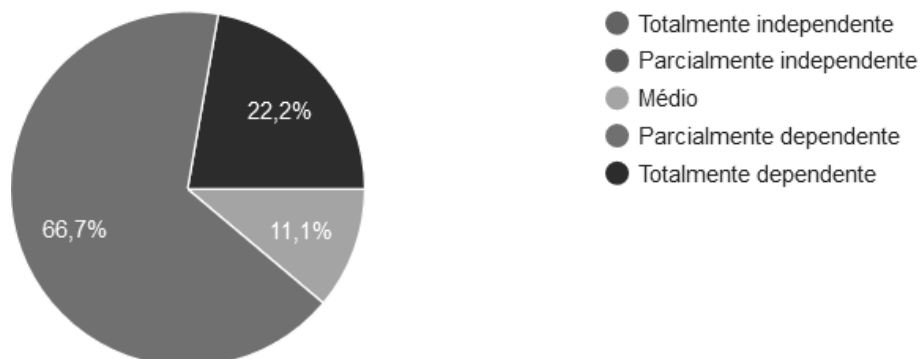
Figura 23 – Desempenho competitivo global por PVF.



Fonte: Autor.

No PVF-1 – Produção – foi onde obtiveram-se os piores índices. Com isso, buscou-se avaliar quais indicadores foram os principais responsáveis desses índices. Primeiramente observa-se que o índice menos priorizado está intimamente ligado às questões de extração do pré-sal, extra pré-sal e pós-sal. Ao responder a afirmação “Para o Brasil reduzir a quantidade de petróleo e gás natural importados, qual será o nível de dependência das explorações do Pós-sal, Extra Pré-sal e Pré-sal?” obteve-se a maioria das respostas no sentido de que o país é total ou parcialmente dependente, Figura 24. Pode-se concluir que a grande maioria dos respondentes (acima de 88%) disseram que este indicador possui pouca ou nenhuma competitividade, pois 66,7% disseram que o Brasil está na posição parcialmente dependente e 22,2% na posição totalmente dependente para a pergunta realizada.

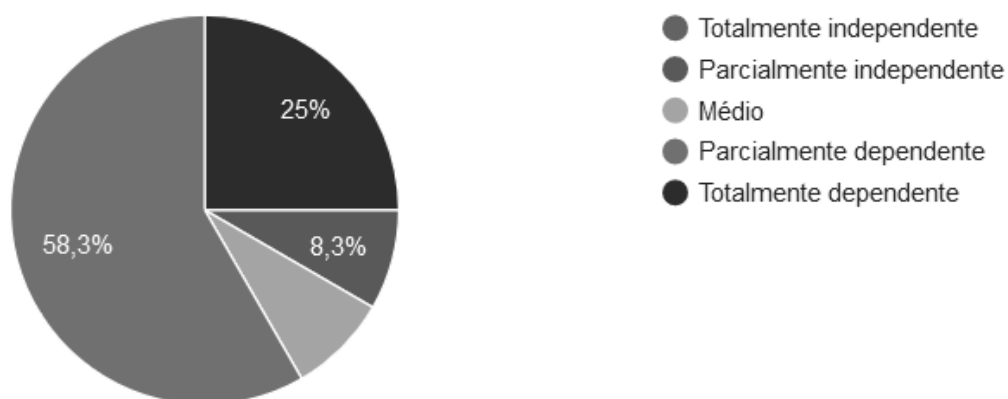
Figura 24 – Respostas ao indicador 1.1.4 – Nível de dependência das explorações do Pós-sal, Extra Pré-sal e Pré-sal



Fonte: Autor

Também se destaca, como segundo índice menos priorizado, a questão dos programas governamentais. Para responderem a seguinte questão: “Para o sucesso das explorações em águas profundas (pré-sal, extra pré-sal e pós-sal) no Brasil, qual é o nível de dependência existente da Petrobras e dos programas governamentais?” a maioria (83,3%) novamente disse que este indicador possui pouca ou nenhuma competitividade Figura 25. Isso reflete a importância de uma política estável e transparente sobre os aspectos das explorações em águas profundas (como o pré-sal). Assim como abordado pela literatura, além de investimentos sólidos em projetos futuros, o aumento de investimentos no setor, e a conclusão dos projetos previstos pela Petrobras são importantes para esse cenário.

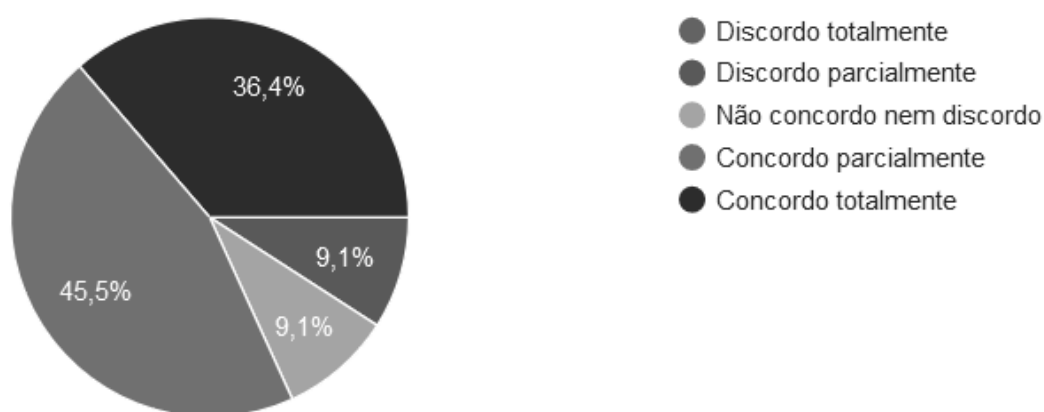
Figura 25 – Indicador 1.1.3 – Nível de dependência existente da Petrobras e dos programas governamentais.



Fonte: Autor

Ainda, juntamente com o anterior como segundo índice menos priorizado, se encontra outro fator que trata dos projetos previstos e política governamental. Ao responderem a seguinte questão: “A concretização dos projetos previstos (expansão dos terminais de liquefação e da malha de gasodutos, entre outros) possuem grande dependência da política governamental de investimentos adotada para o setor.” 36,4% respondentes citaram que concordam totalmente e 45,5% que concordam parcialmente, Figura 26.

Figura 26 – Indicador 1.3.3 – A concretização dos projetos previstos e a dependência da política governamental de investimentos adotada para o setor



Fonte: Autor.

Salienta-se que, na Figura 26, apenas um respondente respondeu “discordo totalmente”, diferentemente dos demais. Este respondente representa a academia, na região de São Paulo, podendo ser atribuído essa resposta pela sua região estar bem suprida de GNV, o que não acontece em todo país.

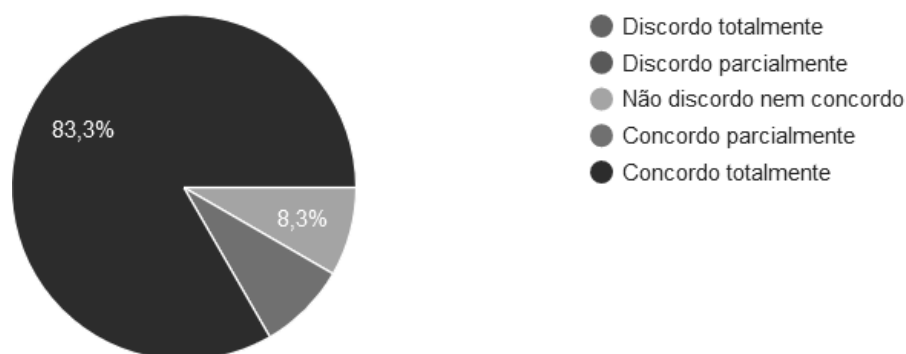
Portanto, no que se refere a produção (PVF-1) de gás natural veicular estes foram os principais pontos que devem ser revistos para alavancar o desempenho do gás no Brasil. Conclui-se que para este PVF houve uma linearidade nas respostas em relação a representatividade dos especialistas que representam a academia e aqueles da indústria e utilização do gás, havendo apenas pontuais divergências não substanciais.

Em relação do PVF-2 – Distribuição, os principais fatores que influenciaram negativamente foram a abrangência do sistema dutoviário de transporte de gás natural no Brasil e a opção do transporte ferroviário como alternativa, a qual não é a principal utilizada.

Os especialistas, ao responderem a seguinte questão: “O sistema dutoviário de transporte de gás natural no Brasil não atinge todos possíveis usuários de GNV e prioriza as

regiões mais industrializadas”, 83,3% citaram que concordam totalmente, Figura 27. Este índice foi o menos favorável em relação ao PFV-2.

Figura 27 – Indicador 2.1.1 – O sistema dutoviário de transporte de gás natural no Brasil.

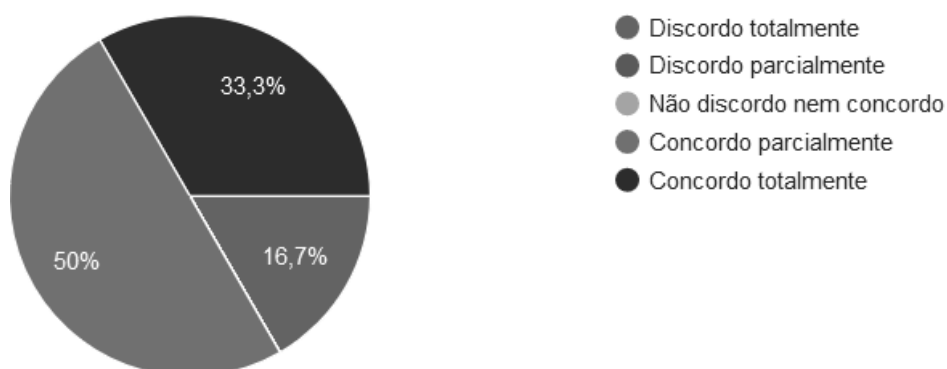


Fonte: Autor.

Salienta-se que apenas um respondente respondeu “discordo parcialmente”, e outro “não discordo nem concordo”, diferentemente dos demais, para esse indicador. O primeiro representa a academia, na região de São Paulo, e o segundo as distribuidoras do estado RS, não havendo, portanto, uma explicação explícita a essas divergências.

O segundo índice menos priorizado foi encontrado quando 1/3 dos especialistas citaram que concordam totalmente para a afirmação: “Considerando que o transporte rodoviário é o principal modal utilizado para o transporte de gás no Brasil, o transporte ferroviário seria uma alternativa viável para melhorar o transporte de gás natural, Figura 28.

Figura 28 – Indicador 2.2.1 – o transporte ferroviário seria uma alternativa viável para melhorar o transporte de gás natural.



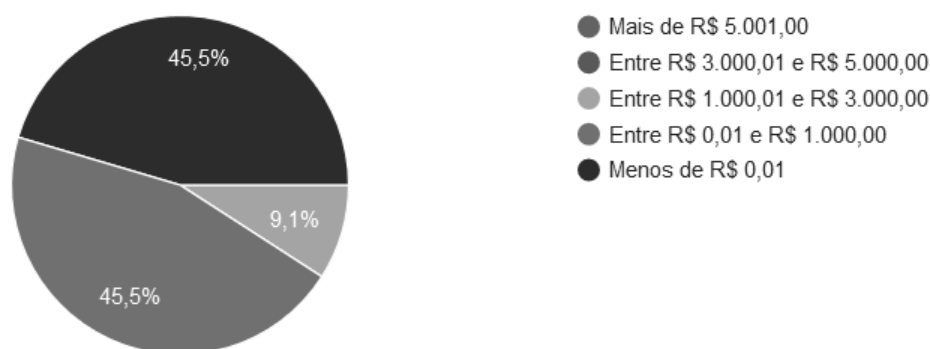
Fonte: Autor

Salienta-se que dois respondentes responderam “discordo totalmente”, em oposto aos demais. Infere-se que isso possa ter ocorrido pelos mesmos interpretarem que o modal rodoviário não é necessariamente o principal modal, distorcendo o ponto chave da questão, que seria focar no modal ferroviário. Ainda, esses respondentes representam regiões em que existem gasodutos, o que também pode ter influenciado. Pode-se extrair tais conclusões através do embasamento teórico realizado pois o modal ferroviário seria uma ótima alternativa se fosse utilizado para o transporte de gás.

Em relação do PVF-3 – Utilização, apesar de este ter apresentado o cenário mais competitivo dos três analisados, vale destacar os principais fatores que influenciaram negativamente, tais como: gasto com a manutenção, preferência pela opção do veículo com GNV, perda de potência e espaço no porta-malas, e investimento inicial para aquisição do veículo.

O indicador com desempenho menos priorizado para os especialistas, visto Figura 29, foi obtido ao responderem a seguinte questão: “Em comparação a um veículo flexfuel (Gasolina-Etanol), quanto a menos por ano você acredita que seja gasto com a manutenção (revisões, troca de peças, mão-de-obra, etc.) de um veículo com GNV?”.

Figura 29 – Indicador 3.2.3 – Gasto com a manutenção de um veículo com GNV.



Fonte: Autor.

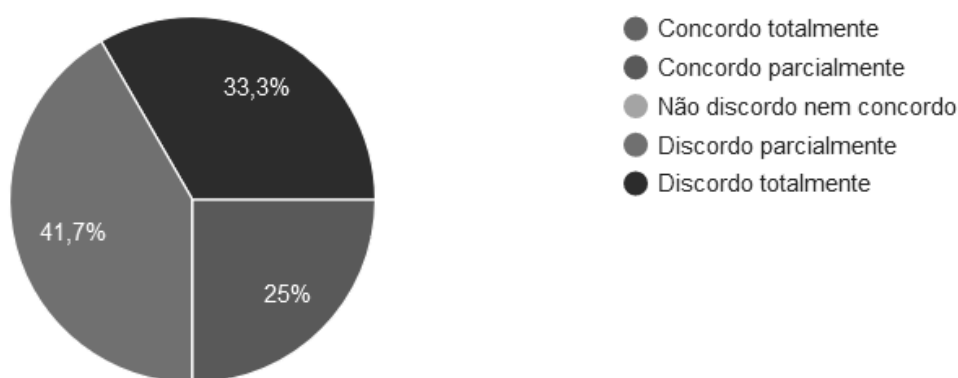
Verifica-se que 45,5% disseram que gastariam menos de R\$ 0,01 centavos anualmente em um veículo GNV quando comparado a um flexfuel. A mesma fração acredita gastar até R\$ 1.000,00 reais em um ano.

Pode-se concluir que o índice encontrado para o gasto com manutenções no veículo vai ao encontro da pesquisa documental realizada e influencia a tomada de decisão, visto que

o fator “economia” é extremamente importante para a escolha em utilizar o GNV. Além disso, os especialistas estão cientes que a utilização de gás natural teria pouco ou nenhum impacto no custo de manutenção do veículo, o que também é evidenciado pela literatura ao se relacionar esse fator a vida útil das peças do veículo.

O segundo desempenho menos priorizado foi no indicador gerado pela pergunta: “Você utilizaria GNV mesmo que o preço do gás fosse maior que a gasolina, unicamente por ele ser ecologicamente mais correto?”, Figura 30.

Figura 30 – Indicador 3.1.2 – Utilização de GNV ainda que seu preço seja maior que a gasolina, unicamente por ele ser ecologicamente mais correto.



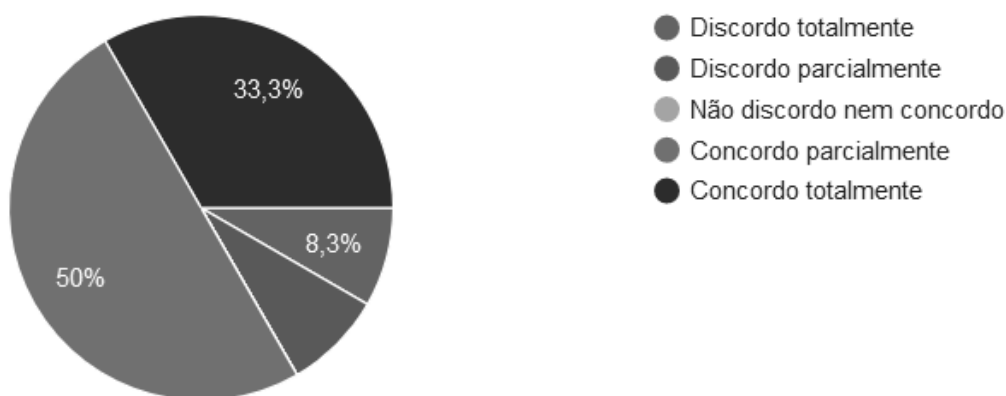
Fonte: Autor.

Percebe-se que 1/3 dos especialistas não dispenderiam nenhum valor (R\$) a mais pelo combustível ser ecologicamente mais correto que aquele de sua preferência. Ainda, com respostas um pouco mais recuada, 41,7% responderam que discordam parcialmente, podendo então utilizar um combustível ecológico, porém com preponderância contrária a este uso. Ainda, nenhum respondente disse que dispenderia de mais recurso monetário e utilizaria tal combustível apenas por ser ecologicamente correto.

Pode-se concluir que é imprescindível que o combustível seja atrativo economicamente, não importando sua relevância na mitigação de emissões. Esse fator, em partes, vai ao encontro a pesquisa documental realizada, visto que o fator “economia” é extremamente importante na tomada de decisão para a escolha do combustível a ser utilizado. Essa análise pode causar espanto, principalmente para aqueles que defendem a redução das emissões de gases de efeito estufa. No entanto, conforme abordado na revisão bibliográfica são necessários incentivos governamentais para tornar o GNV atrativo economicamente, onde ainda isso não ocorre, a fim de mitigar esse cenário.

Outro indicador com baixo desempenho para os especialistas, Figura 31, foi obtido ao responderem a seguinte afirmação: “A instalação dos kits de conversão para GNV pode não agradar em veículos populares menos potentes, devido à perda de potência e espaço no porta-malas ser mais perceptível, o que não ocorre em veículos maiores”.

Figura 31 – Indicador 3.3.2 – Perda de potência e espaço no porta-malas



Fonte: Autor

Percebe-se que 1/3 respondeu que concorda totalmente com a afirmação e 50% concorda parcialmente. Em contraponto, dois respondentes responderam cenários opostos. Como a questão se trata de aspectos de uso do veículo (espaço interno) não se pode fazer afirmações com embasamento científico ou mesmo através da revisão bibliográfica realizada. Tendo em vista a utilização de kits de conversão, onde os reservatórios de GNV situam-se no porta-malas e a potência do veículo é comprometida, a maioria dos respondentes fazem jus ao senso comum e aos resultados da análise bibliográfica. Entretanto, quando da instalação de sistemas de GNV diretamente de fábrica, tal problema pode ser amenizado pelo reprojeto do veículo para acomodar os reservatórios, bem como compensar a perda de potência (New TGI EVO-VW)

Em relação aos demais índices dos diversos Pontos de Vistas Fundamentais, conclui-se que foram respondidos de maneira positiva para o uso do GNV, na maioria dos especialistas, havendo pouca variação entre as respostas dos especialistas, o que demonstra a assertividade do questionário.

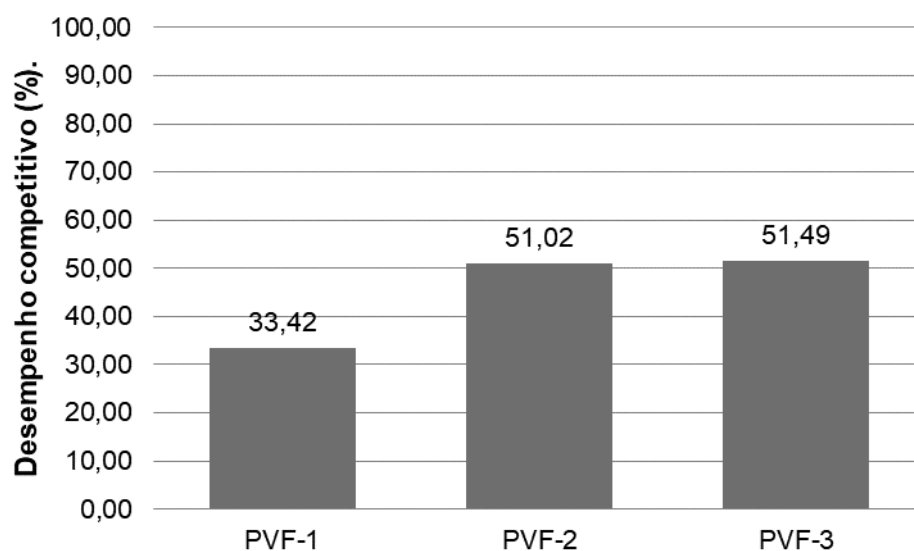
5.3.2 Desempenho por respondente

Para a avaliação do desempenho competitivo de forma mais criteriosa foram calculados os índices de cada respondente e avaliados os melhores desempenhos e os desempenhos menos priorizados em todos os aspectos avaliados na pesquisa. De forma a avaliar posteriormente os pontos importantes para alavancar a competitividade do GNV, avaliou-se o cenário competitivo menos priorizado do gás natural veicular.

Desse modo, apresenta-se a competitividade baseada na resposta do respondente Denis Rasquin Rabenschlag (Professor/ Pesquisador da Universidade Federal de Santa Maria), o qual foi obtido o menor desempenho global. O desempenho competitivo baseado na resposta deste especialista foi de 41,10%, definido como “pouco competitivo”. Avaliando-se em função dos PVFs, o desempenho menos priorizado foi apresentado no PVF-1-Produção. Este resultado deu-se principalmente sob três aspectos: o nível de dependência existente da Petrobras e dos programas governamentais em relação às explorações em águas profundas (pré-sal, extra pré-sal e pós-sal) no Brasil; o volume de injeção de biogás em gasodutos nos próximos 8 anos, com o advento do programa RENOVABIO; e o elevado nível de dependência do Brasil ao gás natural liquefeito importado.

O melhor desempenho competitivo, para o respondente supracitado, foi alcançado pelo PVF-3, tendo em vista os baixos custos fixos e variáveis quando se utiliza o gás veicular em automóveis.

Figura 32 – Desempenho competitivo com dados do Prof. Dr. Denis R. Rabenschlag.



Este resultado vai ao encontro ao evidenciado pelos demais especialistas, obtendo-se um leve aumento no PVF-2 e redução no PVF-3, quando se comparado ao desempenho global encontrado. Apesar de este especialista residir em uma região onde o GNV é disponibilizado em apenas um posto de combustível, e o gás ser transportado pelo modal rodoviário, o PVF-2 e PVF-3 foram definidos como “potencialmente competitivo”, já que o GNV é economicamente atrativo na região.

5.4 SIMULAÇÕES

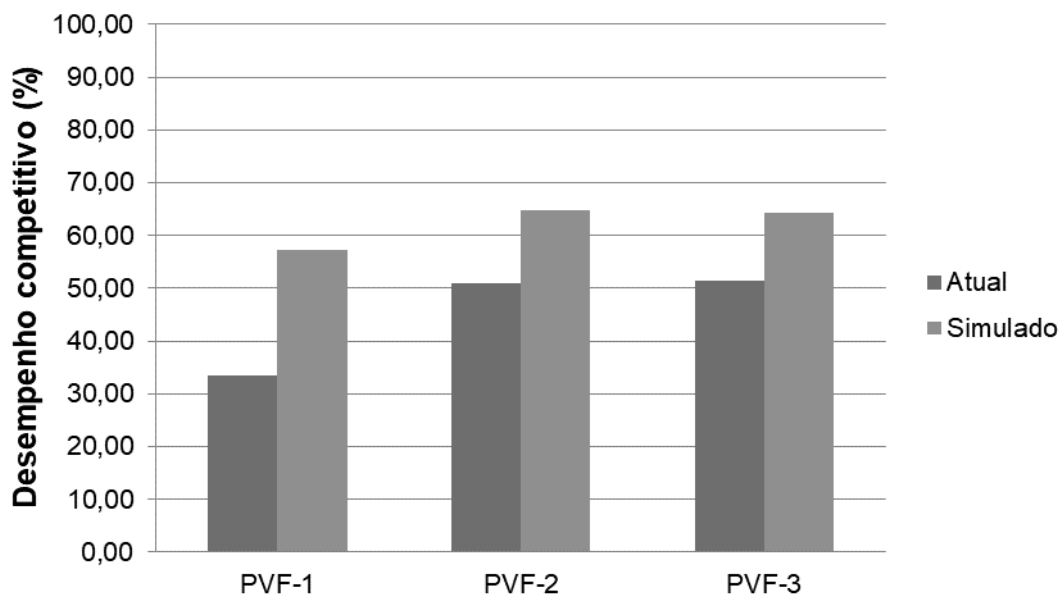
O foco nesta etapa é propor melhorias, através de um plano de ação, para então alavancar o desempenho competitivo. As soluções visam impactar as taxas de substituição que possuem maior nível de importância dentro da modelagem.

Para demonstrar o efeito do plano de ação foi analisado o caso mencionado no item 5.3.2, no qual foi verificado o menor desempenho global. Dessa forma, o resultado do desempenho competitivo da situação mencionada anteriormente foi de 41,10%, visando alavancar este desempenho as seguintes propostas de melhorias são indicadas, focando principalmente nos menores índices:

- a) Reavaliação dos programas de extração do pré-sal, extra pré-sal e pós-sal, visando dar robustez às oscilações do mercado internacionais e tornar mais atrativos a investimentos;
- b) Incentivos e programas governamentais na produção de gás natural para o uso veicular;
- c) Investimentos na produção de gás natural a partir de fontes renováveis;
- d) Incentivos fiscais para a injeção de biogás na malha de gasodutos nacional;
- e) Redução da dependência do Brasil ao gás natural liquefeito importado;
- f) Incentivos para ampliação da malha de gasodutos visando as demais regiões;
- g) Desmitificação quanto ao uso do gás natural veicular;
- h) Conscientização da população para o uso dos combustíveis renováveis ou ecologicamente mais corretos que os tradicionais;

A partir da aplicação das ações de melhoria elencadas realizou-se uma simulação, Figura 33, onde foram inseridos o valor relativo ao potencialmente competitivo (75%) onde constavam índices de 0% e 25%, nos casos listados acima.

Figura 33 – Desempenho simulado.



Fonte: Autor.

O desempenho global prospectado foi de 62,22%, definido qualitativamente como “potencialmente competitivo”. Assim, realizando melhorias nos requisitos listados obteve-se uma melhora significativa de 21,12% no desempenho. Ainda que a simulação tenha sido no caso menos priorizado para o menor desempenho, verifica-se que é possível chegar a um patamar competitivo principalmente com grandes melhorias no aspecto de produção de GNV, onde se obteve o desempenho menos priorizado. Entretanto, para se alcançar o desempenho altamente competitivo deve-se otimizar as estratégias de todos fatores críticos avaliados, visto que nenhum deles se encontram nesse nível de desempenho.

Portanto, considerando o desempenho menos priorizado cenário menos favorável avaliado, através de melhorias significativas em alguns pontos chaves é possível alavancar significativamente a competitividade do GNV.

6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as considerações finais e a conclusão obtida a partir dos resultados encontrados. Em complemento, as limitações e indicativos de estudos futuros são apresentados nas seções 6.3 e 6.4.

6.1 DISCUSSÕES FINAIS

A pesquisa realizada teve como objetivo principal criar uma modelagem com o intuito de medir o desempenho competitivo do uso do gás natural veicular em automóveis no Brasil. Como objetivos específicos estavam criar a modelagem e após isso testá-la.

Esses objetivos foram alcançados a partir da identificação de três pontos de vistas fundamentais, 10 fatores críticos para o sucesso e 38 indicadores de desempenho. Houve ainda a validação desta modelagem construída por alguns especialistas que trabalham na área. A partir da investigação teórica realizada, dos dados coletados e da aplicação prática da modelagem construída, as seguintes considerações podem ser elencadas:

- a) Os principais influenciadores da competitividade da utilização do gás natural veicular no Brasil podem ser visualizados sob a óptica de três pontos de vistas fundamentais. O primeiro diz respeito ao processo produtivo, modos de extração e importação, enquanto o segundo diz respeito ao armazenamento e distribuição do gás. O terceiro está relacionado à utilização do gás natural em veículos;
- b) Os cálculos das taxas de substituição levaram a entender como cada fator crítico para o sucesso possui uma importância relativa. As ponderações obtidas por cada ponto de vista fundamental entre os respondentes tiveram pouca variação, o que confirma uma proximidade nas respostas dadas pelos especialistas.
- c) O teste da modelagem propiciou mostrar que a modelagem funciona de maneira satisfatória e que pode ser aplicada nos diversos cenários do gás natural veicular no país. Contudo, como o intuito era apenas testar e aplicar a modelagem, não foi realizado uma coleta exaustiva com dados estatísticos representativos de cada cenário. A fundamentação teórica e o desempenho competitivo alcançado permitem dizer que a competitividade dos diversos cenários do gás natural para uso veicular no Brasil está em uma transição entre “pouco competitiva” – PVFs Produção e Distribuição – e “potencialmente competitivo” – Utilização.

- d) A modelagem pode ser utilizada para criar simulações e montar um plano de ação que ajude os decisores a focar seus esforços. Com isso, possibilita-se atacar as prioridades e visualizar como as melhorias influenciam na maximização dos resultados. Na avaliação realizado para o respondente com desempenho competitivo menos priorizado, percebe-se que uma melhoria em poucos quesitos faz alavancar a competitividade do GNV.
- e) Pode-se inferir que, em relação ao aspecto “Produção”, deve haver uma reavaliação quanto à extração do pré-sal, extra pré-sal e pós-sal visando dar robustez às oscilações do mercado internacionais e torná-los mais atrativos a investimentos. Ainda, devem ocorrer maiores incentivos na produção de gás natural e biogás visando mitigar o uso dos combustíveis de origem fóssil, assim como a redução da dependência do Brasil ao gás natural liquefeito importado.
- f) Já em relação ao aspecto da distribuição de gás natural, conclui-se que deve haver maiores incentivos para ampliação da malha de gasodutos visando atender as regiões ainda não conectadas, assim como uma maior adesão ao modal ferroviário.
- g) Quanto a utilização do gás natural veicular, pode-se inferir que o conforto e economia são primordiais para a população. Outro aspecto relevante nesse quesito é a mitigação quanto a falta de conhecimento da população principalmente em relação ao uso do gás natural no veículo. Ainda, vale destacar o incentivo e conscientização da população para o uso dos combustíveis renováveis frente àqueles de origem fóssil.
- h) Como o questionário foi produzido com base em referências bibliográficas, pode-se afirmar que as respostas estão compatíveis com a teoria explorada ao longo desta dissertação. Percebe-se também que o cenário de produção que apresentou o desempenho menos priorizado foi o mais abordado durante o embasamento teórico.

Com base nas colocações apresentadas, considera-se que o objetivo geral e os específicos foram cumpridos, uma vez que a modelagem construída satisfaz a condição de ser capaz de mensurar o nível de competitividade do uso gás natural veicular no Brasil.

Pode-se concluir que o gás natural veicular se encontra no *status* potencialmente competitivo quanto ao aspecto global, embora ainda possua pouca competitividade em se tratando dos cenários produção e distribuição.

6.2 LIMITAÇÕES

Uma das principais limitações que pode ser mencionada para este estudo é a complexidade existente em elencar os principais indicadores chave e seus fatores críticos para o sucesso, o que dificultou a criação da modelagem. Outra dificuldade encontrada foi obter contato direto aos especialistas, onde para tanto, teve de se realizar exaustivas ligações e troca de e-mails até se conseguir o primeiro contato e o retorno do questionário.

Como a abrangência de estudo é relativamente grande, pois são avaliadas as etapas desde a produção até a utilização em veículos, os FCS apresentados são apenas os mais importantes encontrados como referência pela pesquisa documental. No entanto, podem existir outros FCSs que possam não ter sido considerados e, portanto, podendo influenciar na competitividade. Ainda, em uma coleta de dados estatisticamente representativa, os resultados podem diferir daqueles aqui apresentados.

6.3 ESTUDOS FUTUROS

O presente estudo possui pontos que podem ser avançados em estudos futuros. Destaca-se a possibilidade de desenvolver uma modelagem que considere produção de biogás pelas mais diversas formas (biomassa, rejeitos, etc). Nesse aspecto, destaca-se também a importância de se avaliar a competitividade do biometano injetado na malha de gás natural, como também as outras formas de distribuição possíveis de serem adotadas. Na etapa de distribuição não foi considerado o transporte em navios por este não ser amplamente utilizado no país, o que pode ser explorado em um estudo futuro. Em relação a utilização do GNV, destaca-se a importância de uma pesquisa de mercado diretamente ao consumidor. Ainda, sugere-se que seja realizada uma pesquisa regional, como estudo de caso, de modo a aumentar a confiabilidade para a tomada de decisão. Destaca-se também a sugestão de adicionar etapas intermediárias da cadeia de valor para melhor avaliar os diversos cenários do GNV.

REFERÊNCIAS

- ABEGAS, A. B. DAS E. D. DE G. C.-. **Economia para quem roda com GNV chega a 65% em relação ao etanol, revela estudo da Abegás.** Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=62700>>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- ABEGAS, A. B. DAS E. D. DE G. C.-. **Concessionárias.** Disponível em: <http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=839>. Acesso em: 12 fev. 2018a.
- ABEGAS, A. B. DAS E. D. DE G. C.-. **Campanhas de incentivo.** Disponível em: <http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=1966>. Acesso em: 23 fev. 2018b.
- AEA, A. B. DE E. A.-. **SIMEA 2017 antecipa projeções do Rota 2030.** Disponível em: <<http://aea.org.br/home/simea-2017-antecipa-projecoes-do-rota-2030/>>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- AHMAD, S.; TAHAR, R. M. Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. **Renewable Energy**, v. 63, p. 458–466, 1 mar. 2014.
- ANDRADE, M. M. DE. **Introdução à metodologia do trabalho científico.** 10. ed. São Paulo: ATLAS, 2010.
- ANFAVEA, A. N. DOS F. DE V. A. **Indústria Automobilística e sustentabilidade: Encontro da Indústria para a Sustentabilidade.** Ponto & Le ed. São Paulo: Gráfica Mundo, 2012.
- ANFAVEA, A. N. DOS F. DE V. A. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira: 2016.** Ponto & Le ed. São Paulo: Gráfica Mundo, 2016.
- ANFAVEA, A. N. DOS F. DE V. A. **Anuário da indústria automobilística brasileira: 2017.** [s.l.] Gráfica Mundo, 2017.
- ANFAVEA, A. N. DOS F. DE V. A. **Anuário da indústria automobilística brasileira: 2018.** [s.l.] Gráfica Mundo, 2018.
- ANP, A. EM N. Abastecimento em números - ANP. **Anp**, n. 52, p. 12, 2016.
- ANP, A. N. D. P. G. N. E. B.-. **RESOLUÇÃO ANP Nº 16, DE 17.6.2008.** Disponível em: <<http://www.scgas.com.br/uploads/editores/20100720165420.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- ANP, A. N. D. P. G. N. E. B.-. **Transporte de Gás Natural.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural>>. Acesso em: 12 fev. 2018a.
- ANP, A. N. D. P. G. N. E. B.-. **RESOLUÇÃO ANP Nº 685 , DE 29.6.2017.** p. 1–9, 2017b.

ANP, A. N. DO P. G. N. E B.-. Relatório final do grupo de trabalho instituído para o acompanhamento do PLANGÁS. **Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis** -, p. 27, 2009.

ANP, A. N. DO P. G. N. E B.-. **Tarifas**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/tarifas>>. Acesso em: 22 nov. 2017c.

ANP, A. N. DO P. G. N. E B.-. **Sistema de Levantamento de Preços**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Regiao.asp>. Acesso em: 28 jan. 2018.

ARAÚJO, D. F. A. DE; COSTA, A. P. C. S. Bibliometric Analysis Of R&D In The Energy Sector. **IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS**, v. 14, n. 16, p. 1221–1226, 2016.

AUTOCATALOG. **Technical specifications: Volkswagen - Polo VI - 1.0 TGI (90 Hp) CNG**. Disponível em: <<https://www.auto-data.net/en/volkswagen-polo-vi-1.0-tgi-90hp-cng-31693>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

BARTZ, T. .; SILUK, J. C. M. .; BARTH, L. E. Importance of industrial performance measurement in industry: a case study. **Sebrae. Revista Brasileira de Estratégia**, v. 4, n. 1, p. 91–104, 2011.

BAUER, C. et al. The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework. **Applied Energy**, 2015.

BECHER, U. **Biometano como combustível veicular**. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. 1. ed. New York: Springer US, 2001.

BENDEZÚ, M. A. L. **Avaliação Técnico-Econômico das Alternativas Tecnológicas de Transporte de Gás Natural**. [s.l.] Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL, M. D. M. A.-M. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília: Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental., 2014. v. 53

BRITISH PETROLEUM. BP Statistical Review of World Energy 2017. **British Petroleum**, n. 66, p. 1–52, 2017.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. Volume 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2012. v. 1

BUCLEY, P. J. .; PASS, C. L. .; PRESCOTT, K. Measures of international competitiveness: a

critical survey. **Journal of Marketing Management**, v. 4, n. 2, p. 175–200, 1998.

CASTRO, D. E.; DE SOUZA, V. L. M.; BOVOLenta, A. G. **Reciclagem & sustentabilidade na indústria automobilística**. 1º ed. Belo Horizonte: [s.n.].

CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. DE. **Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza**. [s.l.] Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2005. v. 25

CHRISTENSEN, C.M. RAYNOR, M. E. The innovator's solution: creating and sustaining successful growth. **Boston: Harvard Business Review Press**, p. 320, 2013.

COMGAS. **Oficinas e postos autorizados**. Disponível em: <<https://www.comgas.com.br/para-seu-veiculo/oficinas-e-postos-autorizados-2/>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

COMGÁS. **Comgás e Prefeitura de Rafard oficializam conexão de indústrias à rede de gás natural**. Disponível em: <<https://www.comgas.com.br/noticias/comgas-e-prefeitura-de-rafard-oficializam-conexao-de-industrias-rede-de-gas-natural/>>. Acesso em: 1 fev. 2018a.

COMGÁS. **Tarifas do Gás Natural Canalizado**. Disponível em: <<https://www.comgas.com.br/tarifas/gas-natural-comprimido-gnc/>>. Acesso em: 27 jan. 2018b.

COMPAIR, ©. **Compair**. Disponível em: <http://www.compair.pt/Products/High_Pressure_Pistons-CNG_-and-_Vehicle_refuelling_solutions--About_CNG_-and-_NVG-a-s.aspx>. Acesso em: 1 fev. 2018.

CONAMA, C. N. D. M. A.-. **Minuta da Versão Preliminar 11-10-2017**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/informes/consulta-publica-sobre-novas-fases-dos-programas-de-controle-da-poluicao-do-ar-proconve-e-promot-para-veiculos-novos>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

COUTINHO, L. .; FERRAZ, J. . Estudo Da Competitividade Da Indústria Brasileira. p. 334, 1993.

CROSO, T.; SANTOS, E. M. DOS. PEMAT, SEUS IMPACTOS SOBRE O MERCADO FUTURO DE GÁS NATURAL. **Revista Brasileira de Energia**, v. 20, n. 2, p. 119–130, 2014.

DANIEL VALIANTE. **Análise de viabilidade técnica, econômica, ambiental e mercadológica da instalação original de fábrica de sistema de conversão para uso de gás natural em veículos leves movidos a gasolina e / ou álcool**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

DE PAIVA, R. V. C. **Competitividade, estratégia e desempenho financeiro: Um estudo das instituições privadas de educação superior brasileiras**. [s.l.] Universidade Federal de

Minas Gerais, 2011.

DELETAR. DELETAR. 2014.

DELUKA-TIBLJAS, A. et al. Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. **Gradevinar**, v. 65, n. 7, p. 619–631, 2013.

DENATRAN, D. N. DE T.-. **Frota de Veículos - 2019**. Disponível em: <<https://www.denatran.gov.br/estatistica>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

DEVOS, K. A Review of Compressed Natural Gas as a Viable Alternative Fuel for Passenger Vehicle , Spark Ignition , Four - Stroke Engines by. 2014.

DEWANGAN, V. .; GODSE, M. Towards a holistic enterprise innovation performance measurement system. **Technovation**, v. 34, n. 9, p. 536–545, 2014.

DI SERIO, L. .; VASCONCELLOS, M. . **Estratégia e competitividade empresarial: inovação e criação de valor**. São Paulo: Saraiva, 2009.

DIMOPOULOS, P. et al. Hydrogen-natural gas blends fuelling passenger car engines: Combustion, emissions and well-to-wheels assessment. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2008.

DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, E. **Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2013.

DURBACH, I.; LAHDELMA, R.; SALMINEN, P. The analytic hierarchy process with stochastic judgements. **European Journal of Operational Research**, v. 238, n. 2, p. 552–559, 16 out. 2014.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para a estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. 1. ed. Florianópolis SC: Insular, 2001.

EPE; MME. Plano decenal de expansão da malha de transporte dutoviário - PEMAT 2022. p. 294, 2014.

FIGUEIREDO, M. A. D. ET AL. Definição de atributos desejáveis para auxiliar a auto-avaliação dos novos sistemas de medição de desempenho organizacional. **Gestão & Produção**, v. 12, n. 2, p. 305–315, 2005.

FRIKHA, A.; MOALLA, H. Analytic hierarchy process for multi-sensor data fusion based on belief function theory. **European Journal of Operational Research**, v. 241, n. 1, p. 133–147, 16 fev. 2015.

GASMIG. **Rede de distribuição**. Disponível em:

<<http://www.gasmig.com.br/GasNatural/Paginas/Rede-de-Distribuicao.aspx>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

GASNET. Postos de GNV. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/gasnatural/vantagens.asp>>. Acesso em: 1 fev. 2019.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5ª ed. São Paulo: EDITORA ATLAS S.A., 2010.

GOMES, C. F. S.; AUTRAN, L. F.; GOMES, M. Tomada de decisão gerencial: Enfoque Multicritério. 4. ed. São Paulo: ATLAS, 2012.

GRESSLER, L. A. Introdução a Pesquisa: Projetos e relatórios. 2ª ed. São Paulo: Loyola, 2004.

GUPTA, M.; MOHANTY, B. K. Attribute Partitioning in Multiple Attribute Decision Making Problems for a Decision with a Purpose - a Fuzzy Approach. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 23, n. 3–4, p. 160–170, 1 maio 2016.

HADDADI, F. .; YAGHOOBI, T. Key indicators for organizational performance measurement. **Management Science Letters**, v. 4, n. 9, p. 2021–2030, 2014.

HEYWOOD, J. B. Internal Combustion Engines Fundamentals. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

HILL, C. W. .; JONES, G. R. Strategic management theory: an integrated approach. 10. ed. [s.l.] Cengage Learning, 2012.

IBAMA. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - PROCONVE / PROMOT. v. 3 ed, p. 7, 2011.

IMRAN KHAN, M. Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. **Energy Policy**, v. 110, n. August, p. 126–136, 2017.

INOVAR-AUTO. Inovar-Auto: Lei nº 12.715/2012. Disponível em: <http://www.inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.jsp?_adf.ctrl-state=gybfnhk6x_9>. Acesso em: 15 out. 2016.

INOVAR-AUTO. Sistema de Acompanhamento do Inovar-Auto. Disponível em: <http://www.inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.jsp?_adf.ctrl-state=gybfnhk6x_44>. Acesso em: 29 dez. 2017.

JALIHAL, S. A.; REDDY, T. S. CNG: An alternative fuel for public transport. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 65, n. 5, p. 426–431, 2006.

JANSSEN, A. et al. Model aided policy development for the market penetration of natural gas

vehicles in Switzerland. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 40, n. 4, p. 316–333, 2006.

KAKAEE, A.-H.; PAYKANI, A.; GHAJAR, M. The influence of fuel composition on the combustion and emission characteristics of natural gas fueled engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 64–78, 2014.

KHAN, M. I. et al. Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991-2016). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 702–741, 2016a.

KHAN, M. I. et al. **Exploring the potential of compressed natural gas as a viable fuel option to sustainable transport: A bibliography (2001-2015)**. [s.l.] Elsevier B.V, 2016b. v. 31

KHAN, M. I. Identifying and addressing barriers for the sustainable development of natural gas as automotive fuel. **Energy Policy**, v. 42, n. August 2017, p. 126–136, 2017.

KRUPNICK, A. J. Will Natural Gas Vehicles Be in Our Future? n. May, 2011.

LOVATEL, E. **Fatores empresariais determinantes da competitividade da indústria de vinhos finos da serra gaúcha**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª ed. São Paulo: EDITORA ATLAS S.A., 2003.

MATTOS, J. F. .; BELTRAND, M. DE;; BERTÉ, R. S. Cooperar para competir: o novo desafio da competitividade. **MBC/SEBRAE**, 2002.

MME, M. D. M. E. E.-; SECRETARIA DE PETRÓLEO, G. N. E C. R. Boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural - EDIÇÃO N° 128. **Governo Federal**, p. 42, 2017.

MME, M. D. M. E. E.-; SECRETARIA DE PETRÓLEO, G. N. E C. R. Boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural - EDIÇÃO N° 133. **Governo Federal**, p. 42, 2018.

MME, M. DE M. E E. Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET. **Governo Federal**, p. 6, 2011.

MME, M. DE M. E E. **RenovaBio - Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis**. [s.l.] Ministério de Minas e Energia7, 2017.

MME, M. DE M. E E.; EPE, E. DE P. E. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. 2v. ed. Brasília: [s.n.].

MORGAN STANLEY. Natural Gas as a Transportation Fuel Energy Market Wild Card. 2013.

NASTARI, P. O que é o renovabio. **SINDALCOOL, Sindicato da Industria de Fabricação do Alcool**, p. 2, 2017.

NATIONS, U. Kyoto Protocol To the United Nations Framework Kyoto Protocol To the United Nations Framework. **Review of European Community and International Environmental Law**, v. 7, p. 214–217, 1998.

NEUENFELDT JÚNIOR, A. L. **Modelagem Para a Mensuração De Desempenho Dos Sistemas Bus Rapid Transit No Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

OLIVEIRA, V. H. M. DE; MARTINS, C. H. **AHP: Ferramenta Multicritério para Tomada de Decisão - Shopping Centers**. 1. ed. Curitiba - PR: Appris, 2015.

OSORIO-TEJADA, J. L.; LLERA-SASTRESA, E.; SCARPELLINI, S. A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, 2017.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs**. United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

PAVANI, R. H. Análís das vantagens e desvantagens do uso do gás natural em veículos de passeio. **Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação em Engenharia Automotiva**, v. 1, p. 88, 2012.

PINTO, R. P. **Tarifação na Malha de Gasodutos de Transporte no Brasil: Evolução e Perspectivas**. [s.l.] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014.

PORTER, M. **Competição**. São Paulo: Campus, 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

RABENSCHLAG, D. R. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE GNV EM FROTA DE TÁXI**. IX CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. **Anais...**2013

RAMACHANDRAN, S.; STIMMING, U. Well to wheel analysis of low carbon alternatives for road traffic. **Energy and Environmental Science**, 2015.

RAMALHO, A. **ANP propõe nova forma de tarifar transporte de gás a partir de 2018**. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4707241/anp-propoe-nova-forma-de-tarifar-transporte-de-gas-partir-de-2018>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

RIATO, G. **Rota 2030 terá meta de melhorar em 12% a eficiência energética dos carros.** Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/26807/rota-2030-tera-meta-de-melhorar-em-12-a-eficiencia-energetica-dos-carros>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo: Makron Books, 1989.

SAATY, T. L.; PENIWATI, K. **Group decision making: drawing out and reconciling differences.** 1ª ed. Pittsburgh: RWS Publications, 2013.

SALA-I-MARTIN, X. ET AL. The Global Competitiveness Index 2014–2015: accelerating a robust recovery to create productive jobs and support inclusive growth. **The Global Competitiveness Report**, p. 3–52, 2015.

SAMSONOWA, T. **Industrial Research Performance Management: Key Performance Indicators in the ICT Industry.** 1. ed. [s.l.] Physica-Verlag Heidelberg, 2012.

SHERRY STONER, TIM OLSON, MCKINLEY ADDY, ROSELLA SHAPIRO, B. B. BLEVINS, JAMES D. BOYD, J. D. B. Full Fuel Cycle Assessment: Well to Wheels Energy Inputs, Emissions and Water Impacts: State Plan to Increase the Use of Non-Petroleum Transportation Fuels AB 1007 (Pavley) Alternative Transportation Fuels Plan Proceeding. n. June, 2007.

SILUK, J. C. M. **Modelo de gestão organizacional com base em um sistema de avaliação de desempenho.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SOLIMAN, M. **Avaliação da competitividade em indústrias de transformação de plástico.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

SOUZA, L. M. DE; SILVA, L. M. E. **A UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL VEICULAR (GNV): ESTUDO DA VIABILIDADE SOB A ÓTICA AMBIENTAL E ECONÔMICA.** [s.l.] Universidade Católica de Goiás, 2008.

SULGÁS, C. DE G. DO E. DO R. G. DO S.-. **Instaladora GNV Nota 10.** Disponível em: <<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/veicular/instaladora-nota-10>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

TAHA, R. A.; DAIM, T. **Multi-criteria applications in renewable energy analysis, a literature review.** [s.l.] Springer London, 2013.

THOMPSON, A. A.; STRICKLAND, A. J. **Strategic management: concepts and cases.** New York: McGraw-Hill, 2003.

VELIMIROVIĆ, D.; VELIMIROVIĆ, M.; STANKOVIĆ, R. Role and importance of key performance indicators measurement. **Serbian Journal of Management**, v. 6, n. 1, p. 63–72, 2011.

VIEIRA, J. L. **A história do automóvel: a evolução da mobilidade, da pré-história a 1908.**

Volume 1 ed. São Paulo: Alaúde Editorial, 2008.

WCED. **World Comission on Environment and Development**. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/>>. Acesso em: 2 out. 2016.

YEAP, J. A. L.; IGNATIUS, J.; RAMAYAH, T. Determining consumers' most preferred eWOM platform for movie reviews: A fuzzy analytic hierarchy process approach. **Computers in Human Behavior**, v. 31, p. 250–258, 1 fev. 2014.

ZHU, B.; XU, Z. Analytic hierarchy process-hesitant group decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 3, p. 794–801, 16 dez. 2014.

APÊNDICE A – INDICADORES PARA A MODELAGEM

Este questionário visa coletar informações para medir a competitividade no uso do gás natural comprimido como combustíveis na indústria automotiva. Na pesquisa, são considerados os estágios de distribuição, a sua aplicação em veículos, e a segurança deste combustível. Neste questionário, você está convidado a responder as perguntas com base no seu conhecimento, nos resultados das suas pesquisas, nos cenários público-privado (instituições públicas e/ou empresas privadas) que existem em sua região. As questões de múltipla escolha estão divididas em cinco opções de respostas possíveis. Se você desconhece o assunto da pergunta, poderá deixá-la sem resposta. A primeira opção de escolha é sobre o cenário "MAIS COMPETITIVO" (100% competitivo – N1), e o último é o cenário "SEM COMPETITIVIDADE" (0% competitivo – N5). As outras opções de resposta são intermediárias.

Nome: _____

Empresa/instituição: _____

Cargo: _____

Sua região (estado e cidade): _____

PVF 1: PRODUÇÃO

FCS-1.1	Origem Fóssil
1.1.1: O Brasil possui diversas fontes de extração de petróleo e gás natural, porém, para aumentar sua independência ao mercado externo e se tornar auto-suficiente, deve-se aumentar a exploração do pré-sal.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente
()	Discordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Concordo parcialmente
()	Concordo totalmente
Quanto à dependência brasileira ao gás importado e ao pré-sal, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.1	Origem Fóssil
1.1.2: A capacidade nacional de produção de gás natural é robusta o suficiente para amortecer as variações de oferta e demanda do mercado interno.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto à capacidade nacional de produção de gás natural, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-1.1	Origem Fóssil
1.1.3: Para o sucesso das explorações em águas profundas (pré-sal, extra pré-sal e pós-sal) no Brasil, qual é o nível de dependência existente da Petrobras e dos programas governamentais?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Totalmente independente
()	Parcialmente independente
()	Médio
()	Parcialmente dependente
()	Totalmente dependente
Quanto à dependência para o sucesso das explorações em águas profundas do gás natural no Brasil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-1.1	Origem Fóssil
1.1.4: Para o Brasil reduzir a quantidade de petróleo e gás natural importados, qual será o nível de dependência das explorações do Pós-sal, Extra Pré-sal e Pré-sal?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Totalmente independente
()	Parcialmente independente

<input type="checkbox"/>	Médio
<input type="checkbox"/>	Parcialmente dependente
<input type="checkbox"/>	Totalmente dependente
Quanto ao aumento da disponibilidade de gás natural e petróleo em função da exploração das reservas marinhas, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.2	Origem Renovável
1.2.1: Apesar de o setor de geração de energia ainda ser o principal usuário do biogás, há ainda margem para o aumento da capacidade produtiva de biometano para uso veicular?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não concordo nem discordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Quanto à capacidade produtiva de biometano, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.2	Origem Renovável
1.2.2: O Brasil possui grande potencial de produção de biogás em função da disponibilidade de biomassa podendo, por exemplo, suprir 25% da demanda de energia elétrica ou ainda, 75% do gás natural do país.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não concordo nem discordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Quanto ao potencial de produção de biogás no Brasil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.2	Origem Renovável
1.2.3: O gás natural de origem vegetal ou animal tem as mesmas características de utilização que o gás natural de origem fóssil.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente
()	Discordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Concordo parcialmente
()	Concordo totalmente
Quanto às características de compatibilidade do biogás com o gás natural de origem fóssil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-1.2	Origem Renovável
1.2.4: Você saberia informar quanto é esperado de injeção de biogás em gasodutos nos próximos 8 anos, com o advento do RENOVABIO, em relação ao injetado atualmente?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	No mínimo 100 vezes que o atual
()	Entre 50 e 99 vezes que o atual
()	Entre 11 e 49 vezes que o atual
()	Entre 1,1 e 10 vezes que o atual
()	Permanecerá inalterado ou pode até reduzir em relação ao atual
Quanto a perspectiva de aumento de injeção de biogás, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-1.3	Mercado externo
1.3.1: O Brasil tem condições de concluir as novas instalações previstas para 2026 (terminais de GNL, expansão da malha de distribuição, entre outros) para o atendimento de ponta do sistema termoeletrico?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente

<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não concordo nem discordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Quanto à conclusão das instalações previstas para atender o sistema termoeletrico, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.3	Mercado externo
1.3.2: Qual o nível de dependência do Brasil ao gás natural liquefeito importado?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Independente
<input type="checkbox"/>	Parcialmente dependente
<input type="checkbox"/>	Médio
<input type="checkbox"/>	Parcialmente dependente
<input type="checkbox"/>	Totalmente dependente
Quanto a dependência brasileira ao gás importado, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.3	Mercado externo
1.3.3: A concretização dos projetos previstos (expansão dos terminais de liquefação e da malha de gasodutos, entre outros) possuem grande dependência da política governamental de investimentos adotada para o setor.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não concordo nem discordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Quanto à política de investimentos no setor de gás natural, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS-1.3	Mercado externo
1.3.4: Se atualmente todos automóveis leves (<i>flexfuel</i>) novos no Brasil pudessem utilizar etanol, gasolina e GNV, a oferta de gás nacional e importado seria suficiente para entender essa demanda?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto a capacidade de oferta de gás nacional e importado para atender a demanda, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-1.3	Mercado externo
1.3.5: O Brasil tem capacidade de importar grandes quantidades de gás caso a produção nacional não seja capaz de atender a demanda?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto a dependência brasileira ao gás importado, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

PVF-2 – DISTRIBUIÇÃO

FCS- 2.1	Transporte Dutoviário
2.1.1: O sistema dutoviário de transporte de gás natural no Brasil não atinge todos possíveis usuários de GNV e prioriza as regiões mais industrializadas.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente
()	Discordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Concordo parcialmente
()	Concordo totalmente
Quanto à disposição dos gasodutos no Brasil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS- 2.1	Transporte Dutoviário
2.1.2: Sobre a política de preços atuais no transporte de combustíveis, pode-se afirmar que ela não é proporcional à distância de transporte.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente
()	Discordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Concordo parcialmente
()	Concordo totalmente
Quanto à política de preços do transporte no Brasil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS- 2.2	Transporte Rodoviário
2.2.1: Considerando que o transporte rodoviário é o principal modal utilizado para o transporte de gás no Brasil, o transporte ferroviário seria uma alternativa viável para melhorar o transporte de gás natural.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente

<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Quanto a escolha do modal de transporte ideal conforme a demanda de gás, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS - 2.2	Transporte Rodoviário
2.2.2: A forma de escolha entre o gás comprimido ou liquefeito para o transporte em caminhões no Brasil está sendo executada corretamente.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Quanto à escolha do modo de transporte ideal conforme os custos envolvidos, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-2.3	Entrega ao Usuário
2.3.1: A margem de lucro das distribuidoras de gás natural varia muito em cada estado e região do Brasil, podendo tornar inviável o consumo de GNV.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Quanto a margem de lucro das distribuidoras de GNV, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-2.3	Entrega ao Usuário
2.3.2: A carga tributária é um dos fatores que influencia muito nos preços do GNV, tendo os estados do Brasil um papel importante para desonerar esse combustível a ponto de torná-lo atrativo ao consumidor.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto a carga tributária, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS-2.3	Entrega ao Usuário
2.3.3: O GNV poderia ser vendido nos estados que possuem gás natural ofertados por distribuidoras de gás natural (uso residencial e industrial) se existissem postos de GNV.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto à disponibilidade de GNV no Brasil, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

PVF-3 – UTILIZAÇÃO

FCS 3.1	Custo fixo
3.1.1: Quanto a mais você estaria disposto (a) a investir na compra de um carro novo por ele ser ambientalmente mais correto (<i>flexfuel</i> Gasolina-Etanol-GNV), ainda que o modelo fosse mais caro e você não rodasse o suficiente para pagar o investimento?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Mais de R\$ 10.001,00
()	Entre R\$ 5.000,01 e R\$ 10.000,00
()	Entre R\$ 1.000,01 e R\$ 5.000,00
()	Entre R\$ 0,01 e R\$ 1000,00
()	Menos de R\$ 0,01
Quanto à disponibilidade de investir em um modelo ambientalmente mais correto, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.1	Custo fixo
3.1.2: Se o valor do veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol) fosse igual a um veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol-GNV), você preferiria a opção com GNV?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
()	Não compraria com GNV
Quanto à preferência em um veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol-GNV), qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.1	Custo fixo
3.1.2: Você utilizaria GNV mesmo que o preço do gás fosse maior que a gasolina, unicamente por ele ser ecologicamente mais correto?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente

<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Quanto a utilização do GNV, por ele ser ecologicamente mais correto que a gasolina, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.1	Custo fixo
3.1.3: As vendas de veículos com sistema de GNV original de fábrica podem ser mais significativas quando comparado a veículos convertidos por terceiros a partir de kits de conversão pra GNV?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Em relação a confiabilidade dos veículos a GNV originais de fábrica, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.1	Custo fixo
3.1.4: Se os veículos zero km já viessem operando com gás natural além da gasolina e etanol, os veículos a GNV seriam muito mais utilizados pois não haveria a despesa da instalação dos kits de conversão?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Quanto as vendas de veículos a GNV originais de fábrica, qual o nível de importância que	

você atribui a esse fator?
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()

FCS 3.2	Custo variável
3.2.1: Em comparação a um veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol), você acredita que o custo com combustível (“consumo”) de um veículo abastecido a GNV é:	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Muito inferior
()	Pouco inferior
()	Igual
()	Pouco superior
()	Muito superior
Em relação ao custo com combustível de um veículo alimentado a gás natural, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.2	Custo variável
3.2.2: Devido as diferenças de preços atuais entre os combustíveis (etanol, gasolina e GNV), a economia com o uso do GNV em um automóvel pode variar entre 29% e 65%, no estado onde GNV custa mais e menos, respectivamente. Em todos os casos a diferença é a favor do GNV.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Em relação ao custo do quilômetro rodado do GNV em relação aos demais combustíveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.2	Custo variável
3.2.3: Em comparação a um veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol), quanto a menos por ano	

você acredita que seja o gasto com a manutenção (revisões, troca de peças, mão-de-obra, etc.) de um veículo com GNV?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Mais de R\$ 5.001,00
()	Entre R\$ 3.000,01 e R\$ 5.000,00
()	Entre R\$ 1.000,01 e R\$ 3.000,00
()	Entre R\$ 0,01 e R\$ 1.000,00
()	Menos de R\$ 0,01
Em relação ao gasto com manutenção anual, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.3	Perfil do usuário
3.3.1: Devido à elevada distância percorrida necessária para se retomar o investimento feito do kit de conversão e as taxas necessárias, os maiores consumidores de GNV no Brasil são frotistas e taxistas?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto aos principais consumidores, aliado ao elevado percurso diário para retomada de investimento, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.3	Perfil do usuário
3.3.2: A instalação dos kits de conversão para GNV pode não agradar em veículos populares menos potentes, devido à perda de potência e espaço no porta-malas ser mais perceptível, o que não ocorre em veículos maiores.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Discordo totalmente
()	Discordo parcialmente

<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Em relação ao desempenho do veículo para seu uso, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.3	Perfil do usuário
3.3.3: A preocupação com perda de desempenho com o uso do GNV pode ser descartada atualmente, pois já existem automóveis desenvolvidos com tecnologias que entregam o mesmo desempenho com GNV e gasolina.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Em relação ao desempenho do veículo não ser afetado pelo combustível utilizado, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.3	Perfil do usuário
3.3.4: Se você fosse adquirir um veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol-GNV), estaria disposto a dispensar quanto de espaço do porta-malas (espaço ocupado pelos cilindros)?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Dispensaria todo o espaço do porta-malas
<input type="checkbox"/>	80 % do espaço do porta-malas
<input type="checkbox"/>	50 % do espaço do porta-malas
<input type="checkbox"/>	20 % do espaço do porta-malas
<input type="checkbox"/>	Não dispensaria espaço algum do porta-malas
Quanto ao espaço ocupado pelos cilindros no porta-malas do veículo <i>flexfuel</i> (Gasolina-Etanol-GNV), qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.3	Perfil do usuário
3.3.5: Atualmente, em automóveis projetados pelas montadoras para o uso de GNV e combustíveis líquidos, a redução do espaço do porta-malas é pequena.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Quanto ao espaço disponível no porta-malas dos veículos atuais, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.4	Segurança
3.4.1: Se ocorresse uma faísca próximo a um veículo após vazamento de GNV, gasolina ou etanol, a maior probabilidade de combustão (“explosão”) seria do GNV?	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não discordo nem concordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Em relação a inflamabilidade de combustíveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1.() 2.() 3.() 4.() 5.() 6.() 7.() 8.() 9.()	

FCS 3.4	Segurança
3.4.2: Ao contrário da gasolina e diesel, o gás natural não é quimicamente tóxico; sua ingestão ou inalação acidental não provoca danos à saúde; e na ocorrência de vazamentos durante sua manipulação, este não irrita a pele.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente

<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Em relação a toxicidade e danos à saúde causadas pelos combustíveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.4	Segurança
3.4.3: Os veículos que utilizam gasolina, diesel ou etanol podem levar à intoxicação quando os gases queimados forem inalados por pessoas em ambientes fechados, o que não ocorre com uso do GNV.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não discordo nem concordo
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
Em relação a intoxicação por inalação causada pelos combustíveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.4	Segurança
3.4.4: O GNV pode contaminar o solo e lençóis freáticos na ocorrência de vazamentos, tal como ocorre com combustíveis líquidos.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Não concordo nem discordo
<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente
<input type="checkbox"/>	Concordo totalmente
Em relação a contaminação de combustíveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	

1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()

FCS 3.4	Segurança
3.4.5: Automóveis abastecidos a GNV de origem fóssil podem reduzir as emissões de CO ₂ em 30 % em relação aos movidos a gasolina.	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Em relação as emissões de CO ₂ , qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	

FCS 3.4	Segurança
3.4.6: A utilização do GNV de origem renovável (biogás) em automóveis poderia zerar as emissões de CO ₂ .	
Resposta (x)	Descrição dos níveis de avaliação
()	Concordo totalmente
()	Concordo parcialmente
()	Não concordo nem discordo
()	Discordo parcialmente
()	Discordo totalmente
Em relação as emissões de CO ₂ utilizando biogás em automóveis, qual o nível de importância que você atribui a esse fator?	
1. () 2. () 3. () 4. () 5. () 6. () 7. () 8. () 9. ()	