

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise de Viabilidade Econômica para um Sistema Alternativo  
de abastecimento de GNV**

Rafael Mendes Pereira

Prof. Orientador: João de Jesus dos Santos, DSc  
Prof<sup>ª</sup> Coorientadora: Laís Amaral Alves, DSc

**Rio de Janeiro**

**2022**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Análise de Viabilidade Econômica para um Sistema Alternativo  
de abastecimento de GNV**

Rafael Mendes Pereira

Projeto final apresentado em cumprimento às  
normas do Departamento de Educação Superior do  
CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: João de Jesus dos Santos, DSc  
Prof<sup>a</sup> Coorientadora: Laís Amaral Alves, DSc

**Rio de Janeiro**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P436 Pereira, Rafael Mendes  
Análise de viabilidade econômica para um sistema alternativo de abastecimento de GNV / Rafael Mendes Pereira. — 2022.  
59f. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2022.

Bibliografia : f. 57-59

Orientador: : João de Jesus dos Santos

Coorientadora: Laís Amaral Alves

1. Engenharia mecânica. 2. Gás natural. 3. Gasodutos. 4. Veículos movidos a combustíveis alternativos. I. Santos, João de Jesus dos. (Orient.). II. Alves, Laís Amaral (Coorient.). III. Título.

CDD 621

À todos aqueles que estiveram ao meu lado  
nessa longa e dura jornada.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, meu agradecimento é para Deus, aquele que a todo momento me acompanho e me deu forças para continuar a caminhada, por mais difícil que pudesse parecer de chegar até aqui. A fé move montanhas e, assim, me trouxe até o lugar onde estou.

Agradecer ainda aos meus pais Ana Cristina e Amaro, por me mostrarem o caminho certo a ser seguido, por serem os melhores exemplos de ser humano que pode existir e por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos. Sem eles eu não teria chegado a lugar algum.

Agradeço ao meu irmão Felipe, por todo apoio e confiança que me foram dados, pelo companheirismo e pela lealdade.

Adicionalmente agradeço às minhas avós Ana e Alice, por me darem todo o suporte necessário e por todo o carinho que eu sempre recebi durante toda a minha vida.

Não menos importante, a turma 12GMEC, que foi essencial nesses anos de faculdade. Amigos que eu considero como irmãos, que sempre estiveram comigo nos melhores e nos piores momentos da graduação. Serei eternamente grato a todos.

Sou grato inclusive às minhas queridas amigas Deborah e Naina, que caminharam comigo durante todo esse tempo, sempre se colocando a disposição para me ajudar no que fosse possível.

Agradeço imensamente ao professor João, que se dispôs gentilmente a ser meu orientador e esteve sempre disponível a me auxiliar no que fosse preciso.

E não poderia deixar de agradecer ao CEFET/RJ, instituição que me abrigou desde o ensino médio, e aos profissionais que lá trabalham, por me proporcionarem uma educação sólida, de qualidade e serem o meio para que fosse possível concluir essa etapa da minha vida.

*If you stare into the abyss, the abyss stares back at you*

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

O Gás Natural Veicular (GNV) vem se mostrando cada vez mais presente na frota de automóveis brasileira. Isso ocorre devido a recorrentes aumentos de preços de outros combustíveis mais tradicionais associado às crises econômicas que o país tem enfrentado nos últimos anos. Dessa forma, o GNV se apresenta como alternativa de grande viabilidade, já que o mesmo apresenta diversos fatores que contribuem para a sua adoção. Visto isso, o objetivo desse estudo é demonstrar uma alternativa interessante para a redução de custos na comercialização do gás natural para veículos automotores, que vale tanto para os postos próximos aos gasodutos quando aos postos de áreas mais remotas onde o combustível chega por meio de caminhões. Essa alternativa é de, por meio da expansão do conjunto de armazenagem do sistema de compressão do posto e da divisão do mesmo em 3 partes de volumes distintos, garantir uma autonomia maior de abastecimento do sistema sem o uso do compressor de gás e calcular a economia que pode ser gerada por essa proposta. A metodologia adotada nesse trabalho é de fazer os cálculos pela Lei dos Gases Ideais, com intuito de obter a quantidade de veículos que o posto pode abastecer com esse projeto e, a partir disso, chegar ao tempo que o sistema tem de capacidade de abastecimento sem o uso de energia elétrica por parte do compressor. Por fim, realizou-se uma análise por meio de indicadores econômicos que demonstram a viabilidade do projeto e em quanto tempo ele passará a dar lucro. A conclusão obtida foi de que a proposta desse projeto se paga em menos de 2 anos, ou seja, menos de 10% da vida útil do equipamento, sendo um retorno muito satisfatório.

Palavras-chave: Gás Natural Veicular; Rede de Gasodutos; Gasodutos Virtuais; Postos de Abastecimento de GNV; Análise de Viabilidade Econômica.

## **ABSTRACT**

The Veicular Natural Gas has been increasingly present in the Brazilian car fleet. This is due to recurring price increases for other more traditional fuels associated with the economic crisis that the country has faced in recent years. In this way, CNG presents itself as a highly viable alternative, as it has several factors that contribute to its adoption. In view of this, the object of this study aims to demonstrate an interesting alternative for cost reduction in the sale of natural gas for motor vehicles, which applies both to stations close to gas pipelines and to stations in more remote areas where the fuel arrives by truck. This alternative is, through the expansion of the station's compression system storage set and its division into 3 parts of different volumes, to ensure greater autonomy for the system supply without the use of the gas compressor and to calculate the savings that can be generated by this proposal. The methodology adopted in this work is to make the calculations by the Ideal Gas Law, in order to obtain the number of vehicles that the station can supply with this project and, based on that, arrive at the time that the system has of supply capacity without the use of electricity by the compressor. Finally, an analysis will be carried out using economic indicators that demonstrate the project's viability and how long it will take for it to become profitable. The conclusion reached was that the proposal for this project pays for itself in less than 2 years, that is, less than 10% of the equipment's useful life, being a very satisfactory return.

Keywords: CNG, Compressed Natural Gas, Gas Pipeline Network, Virtual Pipelines, CNG Filling Stations, Economic Feasibility Analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação do gás natural quanto a sua origem. ....	25
Figura 2 - Esquema básico de um Posto de Serviço de GNV. ....	27
Figura 3 - Um "dispenser" típico Aspro Modelo AS 120 SI.....	32
Figura 4 - Dispositivo de abastecimento de linha múltipla tipo cascata .....	35
Figura 5- Conjunto de Armazenagem .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição do Gás Natural .....	23
Tabela 2 - Distâncias mínimas de afastamento entre os equipamentos .....	29
Tabela 3 - Pressão da armazenagem após abastecimento.....	41
Tabela 4 - Autonomia do Sistema .....	42
Tabela 5 - Ajustes Tarifários dos últimos anos da Light .....	45
Tabela 6 - Payback .....	47
Tabela 7 - Média da Taxa IPCA dos últimos 10 anos .....	49
Tabela 8 - Média da Taxa SELIC dos últimos 10 anos .....	49
Tabela 9 - Fluxo de Caixa Acumulado Descontado .....	50
Tabela 10 - Resultado do VPL e TIR .....	53
Tabela 11 - Indicadores do Tempo de Retorno do Investimento .....	53

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Fluxo de Caixa Acumulado .....	48
Gráfico 2 - Gráfico de Fluxo de Caixa Descontado Acumulado .....	51

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Lei dos Gases Reais.....	38
Equação 2 - Lei dos Gases Ideais com Fator de Compressibilidade.....	38
Equação 3 - Cálculo de abastecimento.....	39
Equação 4 - Cálculo da pressão final da armazenagem.....	40
Equação 5 - Cálculo da pressão da segunda armazenagem.....	41
Equação 6 - Cálculo dos Juros Reais.....	50
Equação 7 - Cálculo do Valor Presente Líquido.....	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CTC	Companhia de Transportes Coletivos
EUA	Estados Unidos da América
GN	Gás Natural
GNV	Gás Natural Veicular
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
PLANGAS	Plano Nacional de Gás Natural
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
a.a.	Ao ano
CH <sub>4</sub>	Metano
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Etano
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propano
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Butano
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Hidrocarboneto
Cm <sup>2</sup>	Centímetros quadrados
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
H <sub>2</sub> O	Água
Kgf	Quilograma força
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
l	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MWh	Megawatt hora
n	Número de moles
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Oxido de Nitrogênio
P	Pressão
R	Constante universal dos gases ideais
R\$	Real
T	Temperatura
v	Volume
V	Volts
z	Fator de compressibilidade

# SUMARIO

1. Introdução.....	15
1.1. Objetivo .....	16
1.2. Metodologia.....	16
1.3. Organização .....	17
2. O Gás Natural .....	18
2.1. Histórico .....	18
2.2. O Gás Natural Veicular .....	19
2.3. Características do GNV .....	22
2.4. Segurança.....	25
2.5. Impacto ao meio ambiente.....	26
3. Operação.....	27
3.1. Posto de serviço .....	27
3.2. Equipamentos de Abastecimento.....	32
4. Estudo de caso .....	37
4.1. Lei dos Gases Ideais .....	38
4.1.1. Cálculo.....	39
4.2. Análise Econômica .....	42
4.2.1. Custo Total de Investimento.....	43
4.2.2. Análise Tarifa Energética .....	44
4.2.3. Custos de Manutenção.....	45
4.2.4. <i>Payback</i> .....	46
4.2.5. <i>Payback</i> Descontado.....	48
4.2.6. VPL e TIR .....	51
5. Considerações Finais .....	55

# 1. Introdução

O mercado de Gás Natural Veicular (GNV) se apresenta em crescente expansão no decorrer dos últimos anos. Esse crescimento origina-se principalmente pela grande diferença de preço em comparação com os combustíveis líquidos tradicionais. Outro fator importante a ser considerado é o fato de o GNV ser uma alternativa muito menos poluente, devido às suas propriedades físicas e químicas. Além disso, há a influência histórica da crise do petróleo, ocorrida na década de 1970, que fez com que fossem necessárias medidas políticas para incentivar a adoção desse, até então, novo combustível.

O aumento considerável do custo dos combustíveis tem motivado os consumidores a buscarem alternativas mais econômicas. Isso aliado à crise financeira pela qual o país se encontra e às políticas públicas de incentivo, como no ES onde há redução de 1% no IPVA (FREITAG, 2019), é o que tem fomentado a procura dos condutores pela conversão dos veículos para GNV.

Outro ponto a ser considerado é o avanço tecnológico como uma causa muito influente nesse mercado pois a popularização dos aplicativos de serviço de transporte particular traz um aumento ainda maior na quantidade de carros em circulação nas ruas e no tempo de circulação dos mesmos. A consequência disso é o aquecimento ainda maior da demanda pelo GNV, o que vem chamando a atenção dos postos de combustíveis.

A greve dos caminhoneiros, ocorrida em meados de 2018, trouxe mais um alerta para o mercado de combustíveis no Brasil (FOLHA, 2018). A rede de abastecimento dos postos é, de modo geral, dependente do transporte de caminhões nas rodovias. Sendo assim, quaisquer bloqueios ou paralisações geram escassez na venda desses combustíveis. Por outro lado, o GNV não está exposto a esse risco já que o mesmo é transportado por gasodutos, chegando diretamente aos postos.

Esta é uma boa solução para as regiões cobertas por redes de gasodutos. Entretanto, para as regiões onde não tem disponibilidade de redes de gás natural e não possuem perspectiva para criação de uma rede local, existe a alternativa de transporte por meio dos chamados gasodutos virtuais, também conhecidos como semirreboque de feixe, que consistem em caminhões com capacidade para transportar grandes quantidades de gás natural (armazenados em cilindros) para o abastecimento dos postos.



Para a comercialização do GNV, o posto necessita de toda uma infraestrutura que permita o abastecimento dos carros. O gás chega do gasoduto a uma pressão baixa (cerca de 5 a 8 bar) e precisa ser pressurizado a 220 bar para chegar aos automóveis, para isso, é necessário usar um compressor para atingir tal pressão (GASNET, 2019). Outros equipamentos fazem parte dessa infraestrutura, como os “dispensers” e as armazenagens (ou estocagens). Os primeiros são conectados aos carros para realizar o abastecimento, seria o equivalente às bombas dos combustíveis líquidos, e os últimos são formados por um conjunto de cilindros conectados entre si por tubulações e dimensionados para suportar as elevadas pressões do gás, que são abastecidos enquanto não há carros no posto e, quando estão cheios, abastecem os carros, diminuindo com gasto com energia elétrica do compressor.

## **1.1. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise de uma alternativa que seja mais econômica aos comerciantes para abastecimento dos carros com menor consumo de energia por parte do compressor. A ideia é considerar 2 armazenagens de 1125 l de volume cada uma e dividi-las em 3 partes: uma de baixa pressão (de maior volume), uma de média (de volume intermediário) e uma de alta pressão (de menor volume). Dessa maneira, tem-se a quantidade de carros que serão abastecidos sem o uso de energia e pode-se fazer a análise da viabilidade desse sistema.

A análise financeira realizada neste trabalho se dá por meio dos indicadores financeiros: *Payback Simples*, *Payback Descontado*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

## **1.2. Metodologia**

A metodologia a ser utilizada parte da Lei dos Gases Ideais, de forma a permitir calcular a quantidade de carros que podem ser abastecidos com o sistema e o quanto de economia pode ser obtida com a implementação desse conjunto.

Em seguida, a análise financeira é feita por meio do cálculo do fluxo de caixa da operação com todas as informações de investimento e retorno, que permite que sejam encontrados os quatro parâmetros financeiros que balizam o estudo para que seja encontrada sua viabilidade.

## 1.3. Organização

O trabalho está organizado da seguinte forma:

- O primeiro capítulo traz uma primeira abordagem sobre o tema, colocando uma breve introdução começando pelo contexto histórico da utilização do gás, passando por algumas situações que influenciaram diretamente na política brasileira. Em seguida, são apresentadas algumas características da estrutura que permite a comercialização do GNV e, por fim, a explicação do objetivo do projeto e a metodologia adotada para obter os resultados.
- Ao longo do segundo capítulo, o texto se aprofunda na história do GNV e aborda a evolução do seu uso no Brasil, mostrando toda a regulamentação que foi sendo implementada com o passar dos anos. Em seguida demonstra-se o panorama da frota brasileira de veículos e, em seguida, características do gás com relação a segurança de utilização do mesmo e os aspectos ambientais.
- No terceiro capítulo, é apresentado de forma detalhada toda a composição dos postos de serviço que abastecem os veículos com GNV, desde a disposição física, amparada pelas normas, dos equipamentos que fazem parte de todo o sistema de abastecimento até a apresentação de cada um desses equipamentos que permitem que o serviço de abastecimento seja realizado.
- Já no quarto capítulo, além de ser demonstrado todo o procedimento para o cálculo da capacidade do sistema de abastecimento proposto nesse estudo, também é exposto uma análise econômica e de viabilidade para a implementação do mesmo.
- Por fim, são feitas algumas considerações finais acerca do estudo realizado, destacando algumas questões que não foram abordadas dentro do trabalho e também comentários sobre os resultados obtidos com o desenvolvimento dos cálculos.

## 2. O Gás Natural

O gás natural como combustível foi descoberto pelos chineses no século IX, porém o uso do gás natural em larga escala foi idealizado pelos norte-americanos, que até 1950 detinham praticamente todo o consumo mundial. Apesar de já possuir um grande mercado consumidor internacional, o gás natural encontra-se em franca expansão no Brasil como combustível automotivo. Apesar de ter iniciado na Itália, a Argentina e o Brasil, através de políticas de incentivos, ultrapassaram o consumo de Gás Natural Veicular (GNV) italiano (CAVALCANTI, 2005). Hoje, os líderes nesse quesito são a China e o Irã (IANGV, 2019).

Em síntese, é possível elencar os seguintes pontos favoráveis à sua adoção, sob o ponto de vista econômico e ambiental:

- a) O gás natural é considerado um combustível limpo, com baixa emissão de poluentes, principalmente o monóxido de carbono (CO), acarretando melhoria da qualidade de vida da população;
- b) O GNV tem menor consumo por km, proporcionalmente à gasolina, e é mais barato (cerca de R\$ 3,95 o m<sup>3</sup> de GNV, contra R\$ 6,55 o litro da gasolina, no Rio de Janeiro), propiciando uma economia estimada em cerca de 60% com despesas de abastecimento (ANP, 2021);
- c) Motores alimentados a gás sofrem menor desgaste, portanto duram mais e requerem menos manutenção. Observa-se ainda a redução da manutenção de velas e filtros, e o aumento do intervalo das trocas de óleo e escapamento. A redução com despesas de manutenção e peças de reposição chega a 70%, segundo o INMETRO (2022);
- d) O risco de incêndio ou explosão é significativamente menor, pois o gás natural se inflama quando submetido a uma temperatura superior a 540 graus celsius (o álcool se inflama 220°C; a gasolina a 420°C) (KHAN et al., 2016a);

### 2.1. Histórico

Segundo Cavalcanti (2005), a primeira notícia que se tem do uso de substâncias gasosas como combustíveis foi feita pelos chineses, por volta do século IX. Segundo os registros da época, os chineses canalizavam um gás combustível por meio de tubos de bambu e usavam-no para iluminação. A primeira produção de um gás combustível proveniente do carvão ocorreu por volta de 1665, na Inglaterra, e sua primeira utilização foi também em iluminação, em 1792. Pouco tempo

depois, as companhias de gás começaram a se organizar e a fabricação começou a ser feita em bases comerciais, construindo uma infraestrutura de transporte que será utilizada, posteriormente, pelo gás natural. Desde a Revolução industrial, no século XVIII, a expansão demográfica vem deixando cada vez mais evidente que nem os recursos naturais, nem a força de recuperação da natureza são ilimitados. Por isso, é preciso buscar novas formas de aproveitamento das fontes de energia. A substituição do gás de carvão pelo gás natural ocorreu em torno dos anos 1950, nos EUA. Até a metade do século XX os norte-americanos eram responsáveis por cerca de 95% do consumo mundial de gás natural. No Brasil, o gás natural teve seu uso iniciado na década de 1960, com a descoberta de reservas associadas ao petróleo na Bahia, mantendo-se, inicialmente, o consumo restrito aos mercados próximos à área produtora.

## **2.2. O Gás Natural Veicular (GNV)**

A escassez de combustíveis líquidos, sobretudo nos países da Europa, agravada com a crise do petróleo, nos fins da década de 1960 e início da de 1970, obrigou a sociedade, em especial governos e fabricantes de motores e veículos, a acelerar a busca de alternativas energéticas técnico-econômicas viáveis (FREITAG, 2019).

O gás natural iniciou no mercado de combustível veicular na Itália, na década de 1930, que manteve a liderança mundial neste mercado até a década de 1990, quando a Argentina, tradicional exportador de gás natural, decide incentivar o uso deste combustível. Em março de 2003, segundo ANP (2003), o Brasil chega ao segundo lugar neste mercado, com 400 mil veículos. Segundo a *International Association For Natural Gas Vehicles* (IANGV, 2019), já são quase 30 milhões de veículos movidos a GNV no mundo. A China e o Irã são os maiores mercados, e juntos representam 40% da frota mundial. O Brasil ocupa a 6ª posição com 2 milhões de veículos a Gás Natural.

Desde o primeiro choque do petróleo, a autossuficiência tem sido uma meta que sempre mobilizou a atenção das políticas macroeconômicas nacionais. Vale ressaltar que os combustíveis considerados “gargalos” da economia eram a gasolina, inicialmente (porém o álcool deslocou este consumo) e o diesel, posteriormente (ANP, 2009).

O plano nacional de gás natural - PLANGAS<sup>1</sup> - teve início em 1987 com o objetivo de substituir ou deslocar o consumo de diesel. Neste período, o Brasil importava cerca de 52% do petróleo refinado, tendo como gargalo o diesel - combustível que alimenta grande parte do transporte rodoviário brasileiro. Diante deste cenário, foram realizados experimentos em 150 ônibus nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, porém, devido a problemas administrativos e econômicos, este programa não atingiu os objetivos iniciais. Os principais fatores para tal insucesso foram: i) a escassez de postos de abastecimento; ii) baixa autonomia e elevado tempo para reabastecimento do gás; iii) diferença entre custo do quilômetro rodado dos combustíveis não ser significativa; iv) limitação de revenda dos veículos usados (ANP, 2009).

Durante o período de 1990 a 1994, a taxa de crescimento anual do mercado brasileiro de GNV foi de 115%. Em termos absolutos, o consumo escalou dos 2 milhões de m<sup>3</sup>/ano, em 1990, para 45 milhões de m<sup>3</sup>/ano em 1994. No ano de 1995, em função da estabilização da economia e dos preços dos combustíveis, a demanda nacional pelo energético apresentou um declínio de 14%. A estabilização de preços dos energéticos concorrentes tornou a conversão dos veículos para GNV pouco atrativa, resultando em um menor número de novos adeptos a este combustível. Além disso, o incentivo fiscal proporcionado aos taxistas para a aquisição de veículos novos e a suspensão da garantia dada pelas montadoras aos veículos convertidos, contribuíram para a estagnação do programa (ANP, 2003).

Em 1992, com a estratégia do governo federal de aumentar a participação do gás natural na matriz energética nacional de 2% para 12%, ressurgiu o programa. Desta vez, o uso automotivo do gás não se limitava a veículos movidos a diesel, mas, sobretudo, a veículos leves movidos a gasolina (o público alvo inicial era o de taxistas). No estado do Rio de Janeiro ainda há outro grande incentivo - a Lei nº 3.335, de 29 de dezembro de 1999, estabelece cotas reduzidas (desconto de 75%, saindo de 4% para 1% do valor estimado do automóvel) do imposto sobre a propriedade de veículos automotores - IPVA, para os veículos que utilizem como combustível o gás natural.

O marco regulatório que estimula o mercado automobilístico ao uso do GNV no Brasil surgiu com o Decreto nº 1.787 de 12 de janeiro de 1996, que autoriza a utilização de Gás Natural em veículos automotores e motores estacionários. Dessa forma, proporcionou a possibilidade ao motorista comum de eleger ou optar pela conversão do seu veículo para Gás Natural Veicular

---

<sup>1</sup> Ver <http://www.anp.gov.br/images/movimentacao-estocagem-comercializacao/transporte-gas-natural/estudos-notas-tecnicas/nota-conjunta-03-2009-plangas.pdf>

como combustível preponderante. A inclusão de veículos tradicionalmente movidos à gasolina e álcool, conhecidos como *flex*, no programa de GNV viabilizou-se pela manutenção de um diferencial de preços atraente, proporcionando uma relação custo-benefício altamente favorável para o GNV.

Alguns fatores como os aumentos sucessivos do preço da gasolina nos últimos anos, a decadência do PROÁLCOOL e a melhor logística de distribuição do gás foram decisivos no processo de geração de demanda de GNV em algumas regiões do Brasil, principalmente a região Sudeste (ANP, 2009).

O segmento automotivo tornou-se um dos principais meios de expansão do uso do gás natural, onde a demanda média de um posto de revenda chega a 7 mil m<sup>3</sup>/dia. A expansão brasileira no segmento do GNV vem se dando mediante a frota de veículos leves, competindo, principalmente, com a gasolina.

Um fator impactante na oferta de combustível, e conseqüente desenvolvimento do mercado, é o alto investimento, para um revendedor, na aquisição de um compressor, chegando a R\$ 400 mil (no ano de 2018). Essas dificuldades foram amenizadas no município do Rio de Janeiro através do decreto nº 19.392 (01/01/2001), instituindo o programa de conservação de energia para a cidade e estabelecendo como condição para os novos postos de abastecimento a oferta de GNV. Os postos antigos são incentivados pelo governo estadual a ter abastecimento com este combustível (PAVANI, 2012).

É de fundamental importância a atuação da sociedade e do governo, nas esferas federal, estadual e municipal, de forma a garantir o estabelecimento de um marco regulatório que permita o desenvolvimento e a sustentação do setor, dentro de um limite consistente com a expansão do mercado.

Desta maneira, as medidas de incentivo a expansão do mercado de GNV focalizaram a configuração da oferta e da demanda e a manutenção de um diferencial de preços atraente para o GNV. Atualmente, a estrutura de preços adequada gera o desenvolvimento da demanda e da oferta, incentivadas pelos mecanismos de mercado.

A frota brasileira é composta, atualmente, por ônibus (transporte nos grandes centros) e veículos leves (frotas cativas, transporte alternativo, veículos particulares e principalmente táxis,

os quais só foram autorizados a consumir o combustível em 1992 - Portaria MME nº 553, de 25 de setembro de 1992). A concentração da frota ocorre quase que em sua totalidade, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, que somados chegam a quase 2.000.000 de automóveis a GNV (com predomínio de veículos leves, como os táxis e particulares). Este índice de crescimento demonstra que o GNV tem sido bem aceito pelos usuários brasileiros, e que o mercado tem crescido, possivelmente devido aos seus benefícios econômicos (economia por km rodado, quando comparados aos demais combustíveis) e incentivos estaduais para a conversão de veículos a GNV (FREITAG, 2019).

Assim, as medidas adotadas pelo governo, aliadas ao desenvolvimento de uma base sustentável de fornecedores de equipamentos (uma vez que a desvalorização cambial inviabilizara a importação do mesmo) e serviços de conversão de veículos, ensejaram o rápido desenvolvimento do mercado.

De acordo com o Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural do Ministério de Minas e Energia (MME, 2019), o Brasil consome cerca de 6 milhões de m<sup>3</sup>/dia de GNV, com mais de 2 milhões de veículos leves movidos a este combustível. Já em 2015, o consumo era de 4,81 milhões de m<sup>3</sup> /dia. Observando esses dados, percebe-se que essa ampliação de 25% no consumo desse combustível, no setor de transportes, aponta para um mercado com potencial relevante.

Em termos macroeconômicos, a política de incremento da utilização do gás natural na matriz energética envolve a permanência de uma relação de preços favorável, a manutenção ou redução da carga tributária e preservação do GNV como combustível alternativo prioritário.

### **2.3. Características do GNV**

O gás natural é formado quimicamente por uma mistura de hidrocarbonetos leves, que pode ser associada ou não ao petróleo. Quando utilizado como combustível automotivo, recebendo a denominação Gás Natural Veicular (GNV) apresenta vantagens ambientais e econômicas quando comparado aos seus concorrentes, gasolina e etanol hidratado. O GNV emite menos gás carbônico e, praticamente, nenhum componente particulado nem enxofre, o que justifica sua promoção por meio de políticas públicas.

Segundo BARBOSA (1997), o gás natural é uma mistura de diversos gases sendo o seu principal componente o metano (CH<sub>4</sub>) em concentrações que variam de 85% a 98% em volume. O gás natural possui outros hidrocarbonetos em menor proporção como etano, propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) e butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). Podem ser encontradas inclusive pequenas proporções de gases inertes como hidrogênio, nitrogênio e dióxido de carbono, compostos de enxofre e água, permanecendo no estado gasoso nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

A Tabela 1, publicada pelo site GASNET (2007) mostra a composição típica do gás natural em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil.

ORIGEM	COMPOSIÇÃO EM % VOLUME						Densidade	Poder Calorífico Superior (MJ/Nm <sup>2</sup> )
	País / Campo	Metano CH <sub>4</sub>	Etano C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Propano C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> e Maiores	CO <sub>2</sub>		
USA/Panh.	81,80	5,60	3,40	2,20	0,10	6,90	-	42,70
USA/Ashlaw	75,00	24,00	-	-	-	1,00	-	46,70
Canadá	88,50	4,30	1,80	1,80	0,60	2,60	-	43,40
Rússia	97,80	0,50	0,20	0,10	0,10	1,30	-	39,60
Austrália	76,00	4,00	1,00	1,00	16,00	2,00	-	35,00
França	69,20	3,30	1,00	1,10	9,60	0,60	-	36,80
Alemanha	74,00	0,60	-	-	17,80	7,50	-	29,90
Holanda	51,20	2,90	0,40	0,20	0,90	14,40	0,640	31,40
Irã	66,00	14,00	10,50	7,00	1,50	1,00	0,870	52,30
Mar do Norte	94,70	3,00	0,50	0,40	0,10	1,30	0,590	38,60
Argélia	76,00	8,00	3,30	4,40	1,90	6,40	-	46,20
Venezuela	78,10	9,90	5,50	4,90	0,40	1,20	0,702	47,70
Argentina	95,00	4,00	-	-	-	1,00	0,578	40,70
Bolívia	90,80	6,10	1,20	0,00	0,50	1,50	0,607	38,80
Chile	90,00	6,60	2,10	0,80	-	-	0,640	45,20
<b>Brasil</b>								
Rio de Janeiro	89,44	6,70	2,26	0,46	0,34	0,80	0,623	40,22
Bahia	88,56	9,17	0,42	-	0,65	1,20	0,615	39,25
Alagoas	76,90	10,10	5,80	1,67	1,15	2,02	-	47,70
Rio Grande do Norte	83,48	11,00	0,41	-	1,95	3,16	0,644	38,54
Espírito Santo	84,80	8,90	3,00	0,90	0,30	1,58	0,664	45,40
Ceará	76,05	8,00	7,00	4,30	1,06	1,53	-	52,40

Tabela 1- Composição do Gás Natural  
(Adaptação do auto - Fonte: GASNET, 2007)



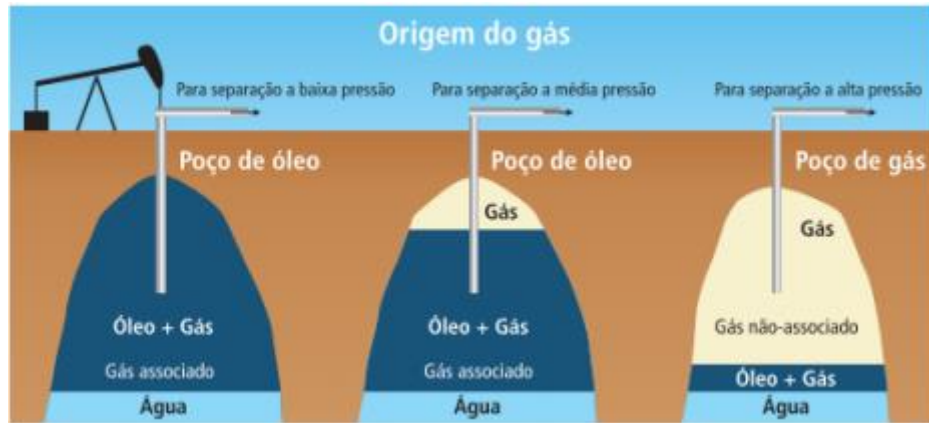
O gás metano possui uma estrutura molecular bem simples e estável em comparação com a gasolina e óleo diesel. Isto significa que essa estabilidade estrutural cria maior dificuldade de oxidação, baixa reatividade fotoquímica e alto índice de octanas, necessitando de altas energias de ignição para realizar a combustão. A baixa reatividade fotoquímica, por sua vez, expressa a dificuldade de degradação das moléculas de metano, pela ação da luz solar.

O gás natural pode ser encontrado em rochas porosas no subsolo terrestre ou marítimo associado ao petróleo ou não. Este gás é o resultado da decomposição de materiais orgânicos oriundos da ação de micro-organismos, essa degradação ocorre fora do contato do ar, a grandes temperaturas e sob fortes pressões. Na perfuração de um poço quando o gás natural é extraído junto do petróleo ele é chamado de gás associado.

Segundo VALIENTE (2006) Gás Natural não associado, ou proveniente de reservatório produtor de gás, está livre ou associado a quantidades insignificantes de óleo, situação que justifica produzir somente o gás natural. O Gás Natural não associado é o mais interessante do ponto de vista econômico, devido ao grande acúmulo de Propano e de Hidrocarbonetos mais pesados. As maiores ocorrências de gás na natureza são na forma não associada.

Gás Natural associado, ou proveniente de reservatório produtor de petróleo, está dissolvido no petróleo, ou sob a forma de capa, sendo sua produção determinada em função da produção do petróleo. Caso a extração do Gás Natural não seja interessante do ponto de vista econômico, o mesmo é novamente injetado na jazida ou ainda queimado, de maneira a evitar o acúmulo de gases combustíveis nas proximidades dos poços de petróleo.

No Brasil, a maior reserva de GN é do tipo associado ao petróleo (PAVANI, 2012). A Figura 1 mostra as diferentes possibilidades de associação do gás natural.



**Figura 1- Classificação do gás natural quanto a sua origem.**  
**Fonte: Vieira et al. (2005)**

## 2.4. Segurança

O GNV não é uma fonte de perigo para o veículo. As normas relacionadas com a conversão são extremamente rígidas e seus controles são melhores do que aqueles relacionados com a maioria das outras partes do veículo. Os componentes do sistema de conversão são testados exaustivamente pelos fabricantes com a finalidade de assegurar uma confiabilidade elevada.

Uma característica do GNV é que em caso de escapamento ele se dissipa rapidamente para a atmosfera, por ser um gás menos denso que o ar, evitando concentrações de produtos potencialmente perigosos, não é tóxico nem irritante e apresenta uma temperatura de ignição de 540 °C, uma temperatura alta se comparada às dos outros combustíveis, 420 °C, 316 °C e 220 °C da gasolina, do diesel e do álcool, respectivamente (KHAN et al., 2016a).

As normas de projeto e construção dos Postos de Serviço são tão ou mais severas do que aquelas empregadas na conversão dos veículos, o que garante normalmente um padrão de segurança nas instalações de GNV no mínimo igual ou superior àquelas encontradas para os combustíveis líquidos.

## 2.5. Impacto ao meio ambiente

Pode-se verificar que o uso do GNV tem importante papel na redução dos níveis de poluição atmosférica, uma vez que a sua combustão com excesso de ar tende a ser completa, liberando apenas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Acrescente-se a isto o fato de que, por ser um combustível gasoso, possui um sistema de abastecimento e alimentação do motor isolado da atmosfera, reduzindo bastante as perdas por manipulação para abastecimento e estocagem.

Quanto às emissões de CO pode-se afirmar que para o ciclo Otto tem-se 1% de CO em vez de 5% e 200 ppm de não-queimados em vez de 5000 ppm, enquanto para o ciclo Diesel tem-se 0,2% de CO contra 5% normalmente, e 100 ppm de não-queimados em vez de 5000 ppm. Pode-se assim reduzir no ambiente urbano as emissões de monóxido de carbono (CO) em 70%, óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) em 84% e de hidrocarbonetos pesados ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) em 88%, em média, praticamente eliminando as emissões de benzeno e formaldeídos cancerígenos (PELLIZA, 2003).

É importante que se destaque que o GNV apresenta riscos de provocar asfixia, incêndio e explosão, esta última principalmente em função da sua pressão de armazenagem.

## 3. Operação

### 3.1. Posto de serviço

Um Posto de Serviço para abastecimento de GNV se define como uma instalação que apresenta algumas diferenças em relação aos Postos de Serviço que comercializam combustíveis líquidos. Estas diferenças tornam estas instalações aparentemente mais complexas, como pode ser visto no esquema apresentado na Figura 2.

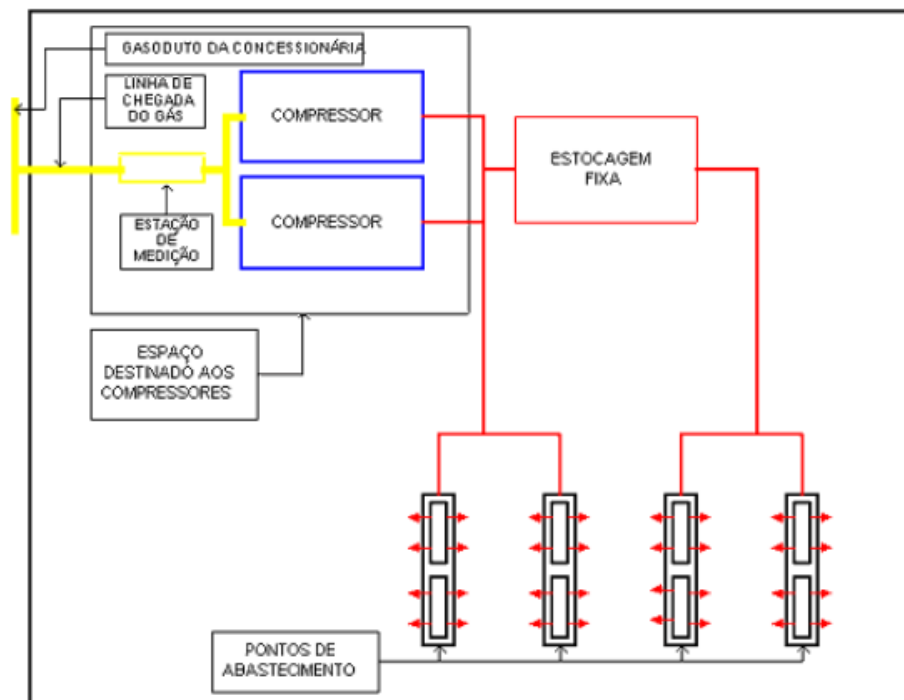


Figura 2 - Esquema básico de um Posto de Serviço de GNV.  
(Fonte: GASNET, 2019)

A figura 2 apresenta apenas o grupo de equipamentos diretamente relacionado com o abastecimento de GNV. No caso de um Posto de Serviço dedicado ao abastecimento de GNV, estas são as únicas instalações disponíveis, porém se já houver o serviço de abastecimento de combustíveis líquidos estas instalações serão adicionadas às já existentes.

O gás natural é fornecido pela empresa concessionária de gás canalizado que atende à região onde o Posto de Serviço será instalado. No caso do Rio de Janeiro, esta empresa é a Naturgy. O produto é fornecido através de um gasoduto, como indicado na Figura 2. A linha de gás amarela representa uma linha de baixa pressão. O gás fornecido é medido na estação de medição antes de alimentar os compressores.

Depois de medido, o gás é comprimido nos compressores e atinge pressões da ordem de 220 atm, estando pronto para ser disponibilizado nos Pontos de Abastecimento ou encaminhado para uma estocagem fixa, vulgarmente conhecida como "pulmão", que é composta de um conjunto de cilindros conectados entre si por tubulações e dimensionados para suportar as elevadas pressões do gás.

Cada ponto de abastecimento, também denominado de "dispenser", funciona como se fosse uma bomba de gasolina ou álcool hidratado, injetando o gás para o veículo a ser abastecido. O ponto de abastecimento possui equipamento capaz de disponibilizar o produto em um sistema de abastecimento compatível com a válvula de abastecimento do veículo, além de totalizar o volume de GNV abastecido.

O projeto e construção de um posto de serviço para abastecimento de veículos movidos a GNV é, do ponto de vista técnico, um processo que deve ser baseado na norma NBR 12.236 - Critérios de Projeto, Montagem e Operação de Postos de Gás Combustível Comprimido da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, datada de fevereiro de 1994.

Devido aos elevados valores envolvidos na aquisição de equipamentos e execução das obras e tendo em vista uma operação fácil e segura, tanto em postos novos, como principalmente na adaptação dos já existentes, deve-se proceder a um detalhado estudo de cada subdivisão do projeto para a otimização dos custos e operações envolvidos.

Sumariamente, pode-se dividir o projeto de um posto de serviço de GNV em: i) arranjo físico dos componentes; ii) projeto de interligação com a concessionária de gás natural; iii) projeto de interligação com a concessionária de energia elétrica; iv) projeto de obras civis; v) projeto da rede de tubulação de GNV; vi) projeto elétrico; especificação do equipamento de compressão. Cada um destes itens será detalhado a seguir:

Arranjo físico dos componentes: deve-se inicialmente definir a acomodação dos elementos que compõe o sistema de abastecimento de gás natural, ou seja, a linha de chegada do gás natural e a estação de medição. A construção de um posto inteiramente novo, dedicado ou não ao uso de GNV, facilita o desenvolvimento do projeto, enquanto que em postos que já operam com combustíveis líquidos, devem-se adaptar as edificações existentes e bombas de abastecimento de combustíveis líquido de modo a distribuir as instalações dos equipamentos de gás natural. Isto deve ser feito procurando-se executar o mínimo de intervenções possíveis na estrutura existente.

O espaço destinado aos compressores deve ser isolado das demais dependências do posto de serviço. Para isso, a utilização de cerca com grade para proteção das unidades de compressão deve ser incentivada, pois além da economia na elaboração de paredes corta fogo, possibilita uma melhor ventilação para a refrigeração do compressor.

Do ponto de vista normativo devem-se respeitar as distâncias mínimas que os equipamentos devem ter por questões de segurança, que constam da Tabela 2, Capítulo 4 da NBR 12.236, reproduzida de forma resumida a seguir:

Distâncias Mínimas de Afastamento em Metros						
Locais e/ou Equipamentos	Volume Total da Estocagem em Litros					
	Até 1.500		4.500 a 10.000		Mais de 10.000	
Compressor/Estocagem	Sem Parede	Com 4TRF	Sem Parede	Com 4TRF	Sem Parede	Com 4TRF
Local Público/Aberturas ou Janelas/Limite de Propriedade	3,00	1,00	4,00	1,00	10,00	1,60
Unidade de Abastecimento de Líquido ou GNV	5,00	-	5,00	-	5,00	-
Unidade de Abastecimento de GNV						
Unidade de Abastecimento de Líquido/Limite de Propriedade/Local Público/Outra Unidade de Abastecimento de GNV	3,00					
Aberturas ou Janelas	2,00					

**Tabela 2 - Distâncias mínimas de afastamento entre os equipamentos**  
(Fonte: Adaptação NBR 12.236)

Sendo TRF o Tempo de Resistência ao Fogo.

Sempre que possível, o compressor deverá ser alocado na menor distância possível dos pontos de abastecimento, evitando assim que a perda de carga diminua a pressão final de abastecimento, principalmente nos equipamentos onde ocorra a redução de pressão de 250 kgf/cm<sup>2</sup> para 220 kgf/cm<sup>2</sup>, logo após a estocagem fixa de gás, e não nos "dispensers".

Como arranjo geral, deve ser evitado que o fluxo de veículos para os pontos de abastecimento de gás interfira nos pontos de abastecimento de combustíveis líquidos, assim como se deve restringir ao máximo a passagem do público nas áreas classificadas eletricamente, principalmente o acesso onde está instalada a unidade de compressão.

Embora o operador do posto de serviço tenha pouca influência na operação das concessionárias de gás natural, em termos do valor da pressão do gás oferecida e características da estação de medição, o projeto de interligação com a concessionária de gás natural deve contemplar alguns detalhes listados a seguir:

i) A estação de medição deve estar disposta o mais perto possível do compressor, evitando-se tubulações enterradas;

ii) Verifica-se que a disponibilidade da maior pressão possível e a não colocação de reguladores de pressão por parte da concessionária beneficia a operação do compressor;

iii) Para controle do excesso de pressão, é recomendada a colocação de regulador de pressão na tubulação pertencente ao posto de serviço, para evitar os "picos" de pressão da rede que podem provocar a parada da máquina por excesso de pressão de sucção ou mesmo por dano mecânico ou desarme pelo relê térmico do motor elétrico do compressor;

iv) É fundamental que a qualidade do gás seja atendida pela concessionária. Como base, temos a Portaria no 41, de 15 de abril de 1.998, da ANP.

Os padrões de projeto para a interligação com a concessionária de energia elétrica já são bem definidos, porém sua otimização fica por conta da decisão de qual o nível de tensão que o motor elétrico do compressor irá trabalhar, usualmente em 380 V ou 440 V.

Em termos de demanda de potência não se verifica nenhuma diferença sensível, mas quanto ao custo de cabos utilizados o de 440 V é mais barato pela possibilidade de se trabalhar com bitolas menores. Nos dois casos é recomendável a colocação da subestação o mais próximo do compressor. O uso de tensões de 220 V diretamente da rede, nos casos que são permitidos pela concessionária, não é aconselhável.

O projeto de obras civis deverá ser o mais simples possível, não existindo nenhuma recomendação especial. Embora não seja uma particularidade nos projetos de gás natural, o uso de paredes corta fogo de 4 TRF (TRF - Tempo de Resistência ao Fogo) deve estar de acordo com as distâncias citadas na Tabela 2.

O projeto da rede de tubulação de GNV deve estar compatível com as condições operacionais da concessionária de distribuição de gás natural local e com o tipo de equipamento

de compressão que foi escolhido. Como recomendações gerais, é fundamental que sejam instaladas válvulas de corte rápido na entrada do gás, logo após a estação de medição da concessionária, e após a estocagem fixa ou descarga do compressor. Recomenda-se que estas válvulas sejam comandadas remotamente por botoeiras de emergência instaladas na área de abastecimento e na área dos compressores.

Devido à variedade de oferta de unidades de compressão, deve-se ter cuidado com o orçamento da rede de tubulação a ser empregada. Por exemplo, existem unidades de compressão que possuem no mesmo sistema o compressor e a estocagem de gás, denominadas de "skid". Já as instalações de compressores isoladas da estocagem fixa, como apresentado na Figura 2, acarretam a necessidade de montagem dessas tubulações entre os dois componentes.

É muito importante prever um sistema de filtragem de particulados do gás da concessionária que garanta a integridade do compressor.

O projeto elétrico é de enorme importância e se mal projetado levará a uma série de paradas que podem comprometer a operação do posto de serviço. Não existe nenhuma diferença se comparado a qualquer outro projeto elétrico, desde que sejam obedecidas as áreas classificadas eletricamente, conforme a norma NBR 12.236.

Deve ser verificada no projeto a folga de carga nos transformadores do posto de serviço comparando-se a relação entre o solicitado pelo motor do compressor e o do restante da carga elétrica necessária. O uso de partida eletronicamente compensada, ao invés de chave estrela-triângulo nos motores do compressor, minimiza a interferência no resto do posto quando da partida dos compressores.

Existe uma grande variedade de equipamentos de compressão no mercado. A maioria deles é estrangeiro, o que deve ser levado em conta com uma análise detalhada, uma vez que é comum que obedecem às normas dos países de origem. Atualmente não existe ainda um padrão internacional para esses equipamentos, tampouco uma exigência de certificação para uso no Brasil. No Capítulo 5.4 da NBR 12.236, apresenta-se algumas exigências mínimas para atendimento em termos de segurança e operação.



## 3.2. Equipamentos de Abastecimento

O GNV, armazenado a alta pressão, deve ser abastecido nos veículos por meio de um dispositivo capaz de executar esta tarefa com rapidez e segurança. Estes dispositivos de abastecimento de GNV são normalmente conhecidos como "dispensers" para abastecimento de GNV.

Semelhantes a uma bomba para combustíveis líquidos, os "dispensers" são, na verdade, apenas dispositivos capazes de disponibilizar o GNV e medir o volume ou a massa abastecida.

Como pode ser visto na Figura 3, o "dispenser" é composto por um corpo, onde se encontram as unidades mecânicas e de medição do GNV abastecido e mangueiras flexíveis de alta resistência (na cor vermelha) que levam o GNV até a válvula de abastecimento no veículo.



**Figura 3 - Um "dispenser" típico Aspro Modelo AS 120 SI**  
(Fonte: GASNET,2019)

Normalmente os "dispensers" são equipados com duas mangueiras de abastecimento, o que permite que se abasteçam dois veículos por equipamento. Um Posto de Serviço característico possui um compressor e dois "dispensers", o que representa a possibilidade de abastecer quatro veículos por vez.

Existem alguns tipos de "dispensers" para abastecimento de GNV, comparando os tipos de medidores, tipo de abastecimento e as interfaces existentes para monitoramento do abastecimento. Uma possível classificação pode ser a seguinte (Sobrinho, 1999):

a) Segundo a linha de abastecimento:

- Sistema de linha Simples;
- Sistema de linha Múltipla (utilizados quando usado abastecimento por cascata).

b) Segundo o conjunto de mangueiras:

- Mangueira Simples;
- Mangueira Dupla.

c) Segundo a constituição operacional:

- Eletrônicos;
- Eletropneumáticos.

d) Segundo o tipo de medidor:

- Medidor de Turbina;
- Medidor por efeito de Coriollis.

Observa-se na prática alguns critérios para aplicação dos diversos tipos de "dispensers", segundo Sobrinho (1999), a aplicação destes equipamentos pode ser determinada como se segue:

Os "dispensers" de sistema de linha simples e com mangueira dupla, são os mais utilizados em função de sua simplicidade de aplicação e custo de manutenção.

Os "dispensers" de sistema de linha múltipla são utilizados quando o abastecimento é feito através de cascata. Este abastecimento é pouco utilizado, pois além de acarretar um custo elevado no projeto e na instalação, gera elevado custo na manutenção.

Os "dispensers" eletrônicos são os mais usuais em função da sua simplicidade, não requerendo outras variáveis para seu funcionamento que não seja alimentação elétrica. Já os dispensers eletropneumáticos requerem uma manutenção maior que os eletrônicos, pois além da alimentação elétrica necessita de ar comprimido para sua operação, ou seja, duas variáveis a serem consideradas.

Assim, a configuração dos equipamentos de abastecimento de GNV mais frequentemente encontrada em Postos de Serviço utiliza "dispensers" de sistema de linha simples com mangueira dupla e constituição operacional eletrônica. Alguns fabricantes de compressores, como por exemplo, a Nuova Pignone, fogem a regra e adotam "dispensers" eletropneumáticos. Neste caso é comum lançar uma linha de ar comprimido junto com a linha de que alimenta o "dispenser" de GNV.

Por fim, complementando a caracterização dos "dispensers" mais usuais, verifica-se o uso de medidores de massa abastecida. Estes medidores aplicam o princípio de Coriollis para cálculo da massa abastecida e, portanto, recebem o nome de medidor por efeito de Coriollis. Os "dispensers" que utilizam este tipo de medidor, dificilmente estão sujeitos a problemas de medição, pois, a variação da temperatura, bem como as partículas em suspensão, não provoca alterações na medição.

O uso de medidores volumétricos de turbina em "dispensers" está sujeito a constantes problemas de medição, pois, além da variação constante de temperatura de abastecimento, qualquer partícula em suspensão poderá ocasionar danos à turbina e à camisa provocando erros de medição. Os medidores de turbina são mais comuns para medições a baixa pressão e normalmente são usados antes do compressor.

O aspecto de pureza do GNV é um dos que mais influencia os equipamentos de medição do volume/massa abastecida. É comum que estes equipamentos trabalhem com peças em movimento, sujeitas a excesso de desgaste se houver um nível intolerável de impurezas no GNV. Por outro lado, caso as partículas de impureza que estejam em elevada concentração prejudicam-se a regulagem do valor da massa específica do GNV e apresentam-se problemas de abastecimento.

Os "dispensers" de sistema de linha múltipla que são utilizados quando o abastecimento é feito através de cascata tiveram aplicação no início do programa de uso do GNV, a Figura 4 ilustra um dispositivo típico para abastecimento de ônibus urbanos na Garagem da Companhia de Transportes Coletivos no Rio de Janeiro (CTC).



**Figura 4 - Dispositivo de abastecimento de linha múltipla tipo cascata**  
(Fonte: GASNET, 2019)

Os "dispensers" para abastecimento de GNV devem possuir um conjunto mínimo de itens de segurança, normalmente encontrados nos equipamentos de transporte e distribuição de GNV. Ainda segundo Sobrinho (1999), estes equipamentos são pelo menos os seguintes:

- Pressostato de alta pressão: libera o GNV caso haja excesso de pressão, evitando explosões;
- Válvula excesso de fluxo: interrompe o fluxo caso haja uma ruptura nas mangueiras ou tubulações;
- Válvula quick break away: também conhecida como válvula de corte rápido.

O monitoramento do funcionamento e da quantidade abastecida é uma necessidade cada vez maior nos "dispensers" utilizados nos Postos de Serviço mais atuais, onde a vazão de abastecimento é grande e a agilidade de abastecimento é um diferencial de qualidade nos serviços. Existem várias interfaces para monitoramento do abastecimento, que também são comuns nas bombas de abastecimento de combustíveis líquidos, das quais se destaca alguns dispositivos:

- Conexão para sistema de computação para faturamento remoto.
- Interface de comunicação;

- Impressora de tíquetes;
- Manômetro externo para leitura da pressão de abastecimento;
- Indicação sonora e luminosa do fim do abastecimento;
- Encerrante totalizante e parcial.

Aproveitando ainda a Figura 3 e com base nas informações destacadas nos parágrafos anteriores, pode-se caracterizar adequadamente o "dispenser" em questão. Abaixo estão relacionadas estas características:

a) Características de série do modelo (GASNET, 2019):

- Cada unidade conta com duas mangueiras de abastecimento;
- Sistema de entrada da linha de abastecimento simples e múltiplo;
- Gabinete de aço inoxidável;
- Pressão de trabalho de até 250 bar;
- Sistema duplo de corte para 200 bar;
- Montagem simples e direta;
- Sistema de medição de massa incorporado, com precisão de cerca de 0,3%;
- Mostrador eletrônico de quartzo líquido;
- Indicador sonoro e luminoso de fim de abastecimento;
- Teclado para introdução de dados da pressão pré-estabelecida;
- Válvula de corte rápido

b) Características opcionais do modelo:

- Conexão para sistema de computação remota para faturamento;
- Interface de comunicação tipo RS 485;
- Leitor de código de barras;
- Impressora de tíquetes.
- Gabinete *Multiservice* com diversas facilidades para a conservação de veículos na pista.

## 4. Estudo de caso

O caso a ser estudado neste trabalho é a implementação de dois conjuntos de armazenagens em um posto de abastecimento de GNV, cujo volume total sendo dividido em 3 partes: uma de alta, uma de média e outra de baixa pressão, para abastecimento sem o uso do compressor e, conseqüentemente, de energia elétrica. Para tal, será adotado um sistema com 2 armazenagens de 1125 l (configurando dois conjuntos de 9 cilindros de 125 l, cada conjunto como na figura 5) sendo um conjunto utilizado para a parte de baixa pressão e o outro dividido entre média (5 cilindros de 125 l, totalizando 625 l) e alta pressão (4 cilindros, totalizando 500 l). Essa divisão busca uma relação aproximada de 50% da armazenagem destinado à baixa pressão, 30% destinado à média e 20% destinado a alta pressão.



**Figura 5- Conjunto de Armazenagem**  
(Fonte: ASPRO, 2022)

O cálculo do abastecimento será feito por meio da fórmula da Lei dos Gases Ideais, que consiste em uma relação entre pressão, volume, temperatura e massa do gás presente no sistema considerado. No caso estudado, o sistema é o conjunto do carro com o conjunto das armazenagens.

A dinâmica funciona da seguinte forma, o veículo chega ao posto e é primeiramente abastecido pelo conjunto de baixa pressão, caso não seja o suficiente, o mesmo é abastecido pela parte de média pressão e, se ainda não for o suficiente para abastecê-lo, a de alta pressão. O cálculo da autonomia do sistema termina quando as três frações da armazenagem não forem o suficiente para abastecer um carro por completo.

## 4.1. Lei dos Gases Ideais

O comportamento das variáveis de pressão, volume e temperatura de um gás real é difícil de ser descrito, uma opção de modelagem desse comportamento se dá por meio da Lei dos Gases Ideais. A partir de observações experimentais, foi observado que o comportamento das variáveis de pressão, volume e temperatura dos gases à baixa densidade pode ser representado com precisão significativa pela equação abaixo, nomeada “Equação de Estado dos Gases Ideais”:

$$PV = n.R.T \quad (1)$$

**Equação 1- Lei dos Gases Reais**

onde será levado em consideração a pressão P em [bar], o volume V em [l], o número de moles sendo n, R sendo a constante universal dos gases ideais (8,3144) em [Nm/(mol.K)] e T sendo a temperatura absoluta em [K].

Em densidades muito baixas, todos os gases e vapores reagem de maneira bastante próxima à relação P-V-T da equação de estado dos gases ideais. Como a densidade é uma função da pressão e da temperatura, verifica-se que em pressões muito baixas e temperaturas superiores tal comportamento se verifica.

Em pressões maiores, o comportamento dos gases pode desviar-se substancialmente da equação de estado dos gases ideais. Para corrigir-se este desvio introduz-se, então, um fator de correção variável chamado Fator de Compressibilidade (z), a equação de estado dos gases reais:

$$PV = z n.R.T \quad (2)$$

**Equação 2 - Lei dos Gases Ideais com Fator de Compressibilidade**

Tal fator pode ser uma função gráfica ou matemática de temperatura, pressão e composição do gás.

Para um gás perfeito  $z=1$ . Para o gás natural pode-se considerar o fator de compressibilidade do metano.

### 4.1.1. Cálculo

Inicialmente, será calculado da forma mais simples, por meio da Equação dos Gases Ideais. Considerando um sistema adiabático, sem troca de calor com a vizinhança, tem-se a equação a seguir:

$$P_{ic} \times V_c + P_{ia} \times V_a = P_{eq} \times V_{eq} \quad (3)$$

**Equação 3 - Cálculo de abastecimento**

Sendo:

- $P_{ic}$  = Pressão inicial do carro
- $V_c$  = Volume do carro
- $P_{ia}$  = Pressão inicial da armazenagem
- $V_a$  = Volume da armazenagem
- $P_{eq}$  = Pressão de equilíbrio do sistema (carro-armazenagem)
- $V_{eq}$  = Volume total do sistema ( $V_c + V_a$ )

Então, definindo os seguintes valores 40 bar para  $P_{ic}$ , 80 l para  $V_c$ , 250 bar para  $P_{ia}$ , 1125l para  $V_a$  e 1205 l para  $V_{eq}$  (já que  $V_{eq}$  é a soma dos volumes), o cálculo de abastecimento se dará da seguinte forma:

$$(40 \text{ bar}) \times (80 \text{ l}) + (250 \text{ bar}) \times (1125 \text{ l}) = (P_{eq}) \times (1205 \text{ l})$$

Resolvendo a equação, obtém-se;



$$P_{eq} = 236,06 \text{ bar}$$

Como a pressão máxima de trabalho para um cilindro de GNV de carro é 220 bar, o cálculo deve ser refeito, como é visto a seguir:

$$P_{ic} \times V_c + P_{ia} \times V_a = P_{fc} \times V_c + P_{fa} \times V_a \quad (4)$$

#### Equação 4 - Cálculo da pressão final da armazenagem

Sendo:

- $P_{fc}$  = Pressão final do carro
- $P_{fa}$  = Pressão final da armazenagem

Assim, aplicando os valores definidos anteriormente e assumindo a  $P_{fc}$  de 220 bar, tem-se a resolução abaixo:

$$(40 \text{ bar}) \times (80 \text{ l}) + (250 \text{ bar}) \times (1125 \text{ l}) = (220 \text{ bar}) \times (80 \text{ l}) + (P_{fa}) \times (1125 \text{ l})$$

Obtendo um resultado de:

$$P_{fa} = 237,20 \text{ bar}$$

Para os casos onde o resultado da  $P_{fa}$  é menor que 220 bar, calcula-se a pressão final da armazenagem pela equação de equilíbrio do sistema, já que não se pode ter uma pressão na armazenagem menor que a pressão do carro sem que haja um transporte forçado do gás.

Executando os cálculos demonstrados acima para 10 carros, tem-se os resultados a seguir:

Abastecimento	Pressão (bar)
1º	237.20
2º	224.40
3º	212.16
4º	200.73
5º	190.06
6º	180.10
7º	170.79
8º	162.11
9º	154.00
10º	146.44

**Tabela 3 - Pressão da armazenagem após abastecimento.**

O cálculo acima representa a interação dos veículos com o primeiro conjunto, o de baixa pressão. Como o objetivo é obter quantos abastecimentos completos o sistema é capaz de fornecer, então todos os carros devem estar a 220 bar após serem abastecidos. Portanto, quando o abastecimento pelo primeiro conjunto (baixa pressão) não for suficiente, o segundo conjunto (média pressão) complementa o abastecimento, já quando o segundo não for suficiente, o terceiro conjunto (alta pressão) complementa o anterior e quando este não for mais tiver a capacidade de abastecer o veículo por completo, tem-se o resultado da autonomia do sistema de abastecimento.

Na Tabela 3 percebe-se que o 3º veículo não foi abastecido por completo, com 212,16 bar de pressão, necessitando da atuação do segundo conjunto para tal. Fazendo o cálculo dessa atuação tem-se:

$$P_{c2} \times V_c + P_{2a} \times V_{2a} = P_{fc} \times V_c + P_{f2a} \times V_{2a} \quad (5)$$

**Equação 5 - Cálculo da pressão da segunda armazenagem**

Sendo:

- $P_{c2}$  = Pressão do carro após interação com o 1º conjunto
- $P_{2a}$  = Pressão do 2º conjunto de armazenagem
- $V_{2a}$  = Volume do 2º conjunto de armazenagem
- $P_{f2a}$  = Pressão do 2º conjunto após a interação com o veículo

Substituindo os valores na fórmula, obtém-se o resultado:

$$(212,16 \text{ bar}) \times (80 \text{ l}) + (250 \text{ bar}) \times (625 \text{ l}) = (220 \text{ bar}) \times (80 \text{ l}) + (P_{f2a}) \times (625 \text{ l})$$

$$P_{fa} = 249,00 \text{ bar}$$

Fazendo as sucessivas interações de abastecimento dos veículos com os três conjuntos de armazenagem, chega-se aos seguintes valores:

Abastecimento	Pressão (bar):		
	1º Conjunto	2º Conjunto	3º Conjunto
1º	237.20	250.00	250.00
2º	224.40	250.00	250.00
3º	212.16	249.00	250.00
4º	200.73	246.53	250.00
5º	190.06	242.70	250.00
6º	180.10	237.59	250.00
7º	170.79	231.29	250.00
8º	162.11	223.88	250.00
9º	154.00	215.95	249.35
10º	146.44	208.06	247.44
11º	139.37	200.27	244.29
12º	132.77	192.61	239.90
13º	126.61	185.12	234.32
14º	120.86	177.83	227.57
15º	115.49	170.75	219.74

Tabela 4 - Autonomia do Sistema  
(Fonte: Elaboração do Autor)

Portanto, a autonomia do Sistema é de **15 abastecimentos**.

## 4.2. Análise Econômica

Definida a autonomia que o Sistema é capaz de abastecer, o objetivo agora é descobrir sua viabilidade econômica.

Para isso, tem-se de estipular o tempo que um carro leva até ser abastecido por completo e a quantidade de energia elétrica que deixou de ser consumida durante esse tempo e, assim, comparar com o valor do investimento que deve ser aplicado para a expansão da armazenagem.

Com o intuito de analisar o benefício monetário da implantação do objeto de estudo, utilizam-se alguns indicadores que permitem demonstrar a viabilidade de um investimento, são eles: *Payback* simples, *Payback* descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR).

Considerando que o tempo de abastecimento seja de 3 a 5 minutos, o tempo total de todos os abastecimentos que o sistema estudado tem de autonomia é no intervalo de 45 a 75 minutos. Em seguida, deve-se considerar o tempo que as estocagens levam para serem enchidas novamente e, assim, as mesmas possam realizar novamente o abastecimento sem a necessidade de gasto de energia elétrica com o funcionamento do compressor. Sendo assim, serão utilizados os dois valores como margens superior e inferior, ou como cenários otimista e pessimista da operação do sistema.

Para estipular o tempo que as estocagens levam para serem abastecidas, o parâmetro adotado é a proporção entre os volumes do cilindro de um veículo de passeio e o volume total do sistema de estocagem. O volume adotado para o veículo nos cálculos realizados para se descobrir a autonomia do objeto do estudo é de 80 l. As armazenagens, juntas, possuem 2.250 l de volume, o que confere uma razão de aproximadamente 1:28, ou seja, as armazenagens levariam 28 vezes o tempo de abastecimento de um veículo, que seria o intervalo de 84 a 140 minutos.

Somando o tempo de abastecimento do sistema (45 a 75 minutos) ao tempo de as estocagens levam para serem abastecidas (84 a 140 minutos), tem-se o intervalo total de um ciclo de 109 a 215 minutos. Isso significa que o sistema de abastecimento passaria entre 34,9% e 41,3% do tempo abastecendo os veículos, economizando a energia que seria consumida pelo compressor de gás.

### **4.2.1. Custo Total de Investimento**

Um sistema de estocagem custa na faixa de R\$ 80.000,00. Já a instalação do mesmo, custa em torno de R\$ 25.000,00. Portanto, o sistema mais a instalação tem um Custo Total de Investimento de R\$ 105.000,00.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Contato pessoal com a empresa ASPRO.

## 4.2.2. Análise Tarifa Energética

Uma importante análise a ser considerada é do dispêndio financeiro que o consumidor tem com o uso de energia elétrica. O contrato de fornecimento a ser considerado é na modalidade Convencional Grupo A4, ou seja, são contratados um valor de demanda, expresso em kW, para qualquer hora do dia ou mês e um valor único de consumo, expresso em kWh.

As tarifas de consumo da Light, na modalidade Horo-sazonal Azul, são de 608,41 R\$/MWh no horário de ponta e 438,02 R\$/MWh no horário fora da ponta. Segundo a [ANEEL](#),<sup>3</sup> o horário de ponta é o período diário de 3 horas consecutivas, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, e o horário fora de ponta é o período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário (sendo esse o período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela Tarifa Branca).

Existe a dificuldade em manter a previsão dos reajustes anuais da tarifa energética da Light; ao longo dos anos, as tarifas sofreram bastante alterações, em consequência da demanda de fornecimento de energia das usinas e dos impostos acumulados.

Sabendo que o sistema estudado representa um investimento com retorno financeiro, considerou-se os reajustes de tarifa dos dez últimos anos para o consumidor A4 Convencional, para se estimar uma taxa média de reajuste anual, conforme visualizado na tabela 5.

---

<sup>3</sup> ver <https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/>

Evolução das revisões ou reajustes tarifários		
Processo tarifário	Data	Efeito médio para consumidor
IRT	07/nov/12	12,27%
RTE	24/jan/13	-19,63%
RTP	07/nov/13	3,65%
IRT	07/nov/14	19,20%
RTE	02/mar/15	22,48%
IRT	07/nov/15	16,80%
IRT	07/nov/16	-12,25%
RTP	15/mar/17	10,45%
IRT	15/mar/18	10,36%
IRT	15/mar/19	11,12%
RTE	01/abr/19	-2,30%
IRT	15/mar/20	6,21%
IRT	15/mar/21	6,75%
Média	-	6,53%

**Tabela 5 - Ajustes Tarifários dos últimos anos da Light  
(Fonte: Light, 2021)**

Visto que os reajustes tarifários não seguem um determinado padrão, a média histórica adotada foi de 6,53%. Esse valor será estabelecido para realizar os cálculos de reajuste anual médio estimado nos próximos 20 anos de vida útil do equipamento.

### **4.2.3. Custos de Manutenção**

Os Custos de Manutenção dos equipamentos a serem considerados neste estudo serão os que os postos de serviço normalmente já possuem, um contrato periódico de manutenção de todos os equipamentos envolvidos no sistema de abastecimento de GNV.

Sendo assim, o gasto de manutenção escolhido é o serviço oferecido pela Aspro denominado Contrato Full, que envolve a manutenção de todos os equipamentos do sistema por uma mensalidade de R\$ 4.100,00, ou seja, um custo anual de R\$ 49.200,00.

#### 4.2.4. *Payback*

Segundo o INMETRO,<sup>4</sup> a vida útil de um cilindro GNV é de 20 anos e, portanto, este será o período adotado para a análise de investimento do objeto de estudo.

Por se tratar de um investimento a longo prazo, aplicou-se o método do *payback* que possibilita analisar o prazo de retorno do investimento total do Sistema. Ele representa o valor onde o lucro líquido se iguala ao valor aplicado para fins de investimento. O lucro líquido se define como a diferença entre a receita total gerada e o custo total do: projeto, instalação e equipamentos do sistema. (CONTABIL, 2014) A metodologia utilizada para efetuar os cálculos da tabela 6 considerou-se o aumento anual do valor das tarifas de energia elétrica de 6,53%.

Para o cálculo da economia de energia elétrica, foi considerado o horário de funcionamento do posto de 16 horas (6:00 às 22:00). Nesse período, tem-se a influência do horário de ponta, que é o horário com a tarifa de maior valor.

Levando em consideração que o horário de ponta tem duração de 3 horas, para calcular a tarifa de energia equivalente, será utilizada como valor tarifário a média ponderada das duas tarifas (horário de ponta e fora de ponta).

$$\frac{3 * 608,41 \frac{\text{R\$}}{\text{MWh}} + 13 * 438,02 \frac{\text{R\$}}{\text{MWh}}}{16} = 469,97 \frac{\text{R\$}}{\text{MWh}} = 0,47 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$$

---

<sup>4</sup> ver <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/avaliacao-da-conformidade/cilindros-de-alta-pressao-para-gnv/>

Um compressor [Aspro](#) modelo IODM 115 possui 110 kW de potência, sendo assim, em um ano, considerando o horário de funcionamento estipulado acima, o consumo de energia do equipamento seria:

$$365 \text{ dias} * 16 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * 110 \text{ kW} = 642.400 \text{ kWh}$$

Como visto anteriormente, o sistema teria autonomia de pelo menos 34,9% do tempo total de abastecimento. Isso significa que esse valor corresponde ao total de economia de energia no ano. Portanto, tem-se uma redução de consumo anual de **224.197,6 kWh**.

Ano	Investimento (R\$)	Manut. (R\$)	Tarifa (R\$/kWh)	Reajust.	Energia Economizada (kWh)	F. Caixa	F. Caixa Ac.
1º	105000,00	49200,00	0,47	6,53%	224197,60	-48834,27	-48834,27
2º		49200,00	0,50	6,53%	224197,60	63046,11	14211,83
3º		49200,00	0,53	6,53%	224197,60	70375,78	84587,61
4º		49200,00	0,57	6,53%	224197,60	78184,08	162771,69
5º		49200,00	0,61	6,53%	224197,60	86502,26	249273,95
6º		49200,00	0,64	6,53%	224197,60	95363,61	344637,56
7º		49200,00	0,69	6,53%	224197,60	104803,62	449441,18
8º		49200,00	0,73	6,53%	224197,60	114860,05	564301,23
9º		49200,00	0,78	6,53%	224197,60	125573,18	689874,41
10º		49200,00	0,83	6,53%	224197,60	136985,86	826860,27
11º		49200,00	0,88	6,53%	224197,60	149143,80	976004,08
12º		49200,00	0,94	6,53%	224197,60	162095,65	1138099,73
13º		49200,00	1,00	6,53%	224197,60	175893,26	1313992,98
14º		49200,00	1,07	6,53%	224197,60	190591,85	1504584,83
15º		49200,00	1,14	6,53%	224197,60	206250,26	1710835,09
16º		49200,00	1,21	6,53%	224197,60	222931,16	1933766,24
17º		49200,00	1,29	6,53%	224197,60	240701,32	2174467,57
18º		49200,00	1,38	6,53%	224197,60	259631,88	2434099,44
19º		49200,00	1,47	6,53%	224197,60	279798,60	2713898,04
20º		49200,00	1,56	6,53%	224197,60	301282,21	3015180,25

**Tabela 6 – Payback Simples**  
(Fonte: Elaboração do autor)

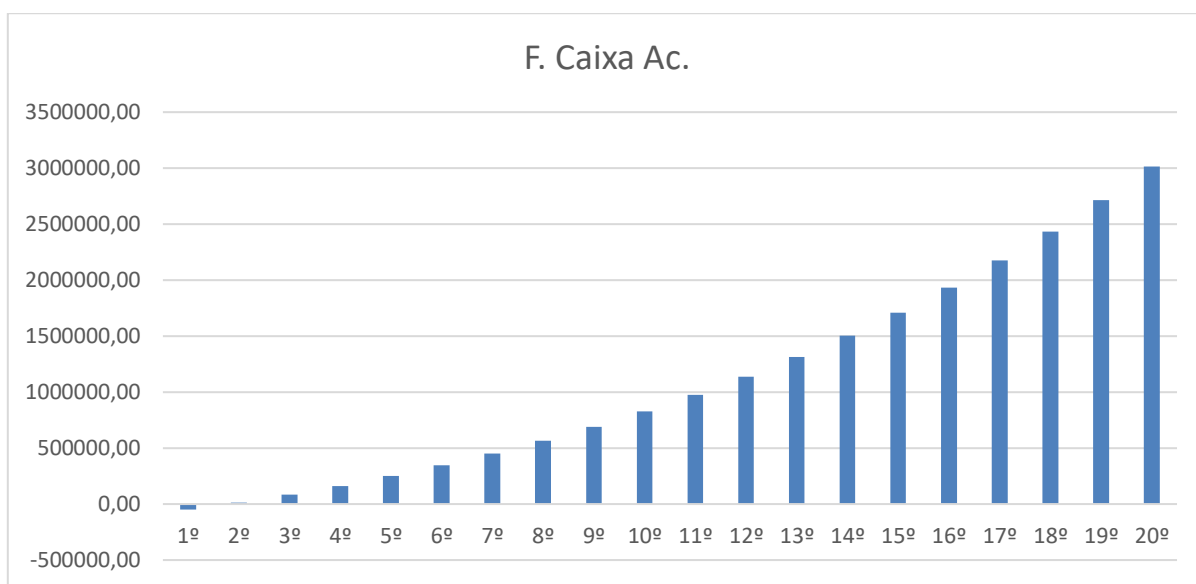
O fluxo de caixa (F.Cxa) representa o movimento de entradas e saídas do projeto a cada ano, sua estruturação é bem importante para facilitar a observação do saldo anual do investimento. Todo ano de economia elétrica que seria consumida pelo compressor gera um fluxo de caixa positivo.



O fluxo de caixa acumulado (F. Cxa Acumulado) representa soma dos períodos anteriores ao valor do período considerado, sua respectiva análise permite encontrar o ano em que o investimento se paga.

Observa-se na planilha expressa na tabela 6 o investimento do projeto ao longo dos vinte anos de operação. No final do período tem-se um fluxo de caixa acumulado de R\$ 3.015.180,25. Com base no orçamento, o período de retorno equivale a aproximadamente 2 anos, onde as reduções de custo se igualam ao que foi investido. No segundo ano, haveria um fluxo de caixa acumulado positivo de R\$ 14.211,83. De tal modo, pelo método de payback, o investimento do projeto se paga entre um e dois anos após a instalação.

Graficamente analisando através da figura 6 visualiza-se o tempo de retorno do investimento entre os anos 8 e 9 após a instalação da armazenagem nova, gerando o gráfico 1.



**Gráfico 1 – Fluxo de Caixa Acumulado**  
(Fonte: Elaboração do Autor)

#### **4.2.5. Payback Descontado**

Para analisar o investimento do projeto a longo prazo, uma das condições para avaliar a sua viabilidade, é através do método do *payback* descontado. Assim, pode-se verificar o período de tempo necessário para recuperar o dinheiro aplicado, avaliando-se os fluxos de caixa descontados, ou seja, considerando-se o valor do dinheiro no tempo. (LUNELLI, 2010)

Em sua análise é necessário considerar a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como um fator para analisar a variação do dinheiro ao longo do tempo e representa a taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento. Para esse caso, considera essa taxa como sendo a variação média da inflação (IPCA) nos últimos 10 anos, com valor de 5,72%, como analisado na tabela 7.

Ano	Taxa IPCA (%)
2011	6,50
2012	5,84
2013	5,91
2014	6,41
2015	10,67
2016	6,29
2017	2,95
2018	3,75
2019	4,31
2020	4,52
Média	5,72

**Tabela 7 - Média da Taxa IPCA dos últimos 10 anos**  
(Fonte: adaptação do autor, Banco Central, 2021)

Em seguida, foi adotado como TMA a taxa de juros reais do investimento. Para efetuar os cálculos, se usufruiu da média dos últimos 10 anos da taxa básica de juros (Selic), como sendo o valor dos juros nominais. A taxa Selic representa a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais. (BRASIL, 2017)

Ano	Taxa SELIC (%)
2011	11,04
2012	8,17
2013	7,92
2014	10,40
2015	12,54
2016	13,20
2017	9,53
2018	6,24
2019	5,79
2020	2,72
Média	8,76

**Tabela 8 - Média da Taxa SELIC dos últimos 10 anos**  
(Fonte: adaptação do autor, Banco Central, 2021)

E para a inflação, a taxa indicada é a IPCA, adotado pelo acumulado de os últimos 10 anos. Seus respectivos valores são 8,76% (Selic) e 5,72% (IPCA). Calcula-se através da equação abaixo:

$$\text{JurosReais} = \frac{(1 + \text{JurosNominais})}{(1 + \text{Inflação})} - 1 \quad (6)$$

**Equação 6 - Cálculo dos Juros Reais**

$$\text{JurosReais} = \frac{(1 + 0,0876)}{(1 + 0,0572)} - 1 = 0,0288$$

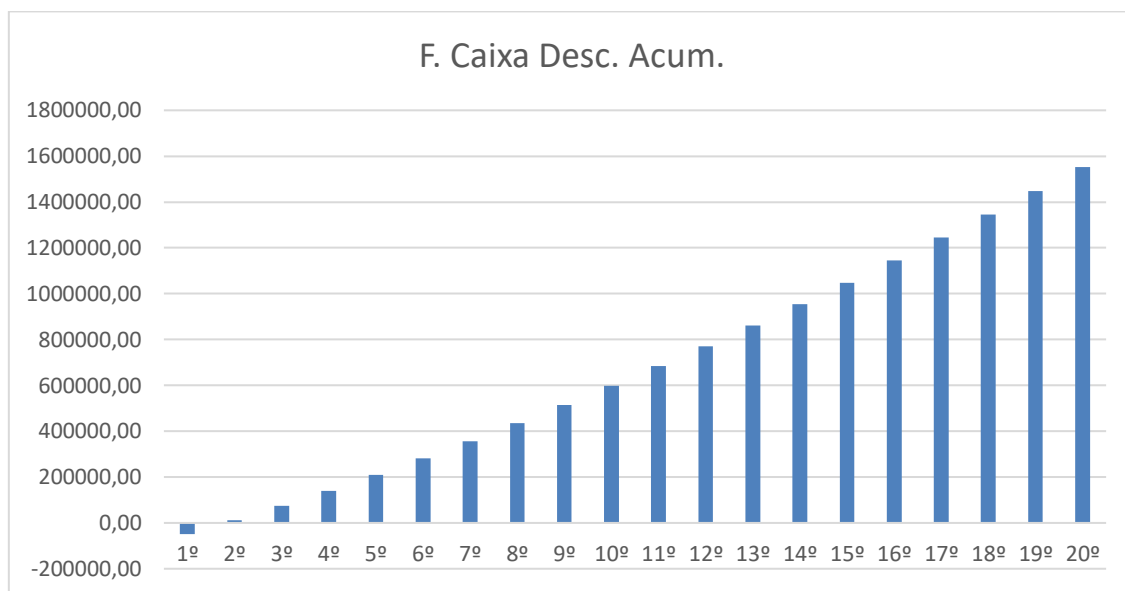
Com o cálculo efetuado, a TMA do projeto aplicada ao investimento foi de 2,88% a.a.

A tabela 9 demonstra a progressão do investimento nos próximos 20 anos.

Ano	Fluxo de Caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Acumulado Descontado
1º	-48834,27	-48834,27	-48834,27
2º	14211,83	59634,99	10800,71
3º	84587,61	62966,41	73767,12
4º	162771,69	66167,82	139934,94
5º	249273,95	69246,66	209181,60
6º	344637,56	72209,93	281391,53
7º	449441,18	75064,28	356455,82
8º	564301,23	77816,01	434271,82
9º	689874,41	80471,05	514742,87
10º	826860,27	83035,03	597777,90
11º	976004,08	85513,30	683291,20
12º	1138099,73	87910,89	771202,09
13º	1313992,98	90232,57	861434,66
14º	1504584,83	92482,87	953917,53
15º	1710835,09	94666,07	1048583,60
16º	1933766,24	96786,20	1145369,80
17º	2174467,57	98847,12	1244216,92
18º	2434099,44	100852,44	1345069,35
19º	2713898,04	102805,60	1447874,95
20º	3015180,25	104709,85	1552584,80

**Tabela 9 - Fluxo de Caixa Acumulado Descontado**  
(Fonte: Elaboração do autor)

A partir dos valores do fluxo de caixa descontado, é possível realizar uma análise gráfica para visualizar o tempo de payback descontado do investimento, considerando as receitas futuras descontadas pela taxa de inflação.



**Gráfico 2 - Gráfico de Fluxo de Caixa Descontado Acumulado**  
(Fonte: Elaboração do autor)

Conforme pode ser visualizado, apenas no segundo ano será obtido um saldo positivo do dinheiro aplicado, ou seja, para se recuperar o investimento. O período de tempo para atingir o retorno financeiro consequentemente aumenta, devido aos descontos nas receitas futuras, resultando em valores inferiores que vão sendo somados no fluxo de caixa descontado, o que posterga o momento em que o investimento inicial é compensado pelas entradas de caixa.

#### **4.2.6. VPL e TIR**

Outro método que permite analisar a viabilidade de um investimento a longo prazo é o Valor Presente Líquido (VPL). Sua respectiva análise permite nos verificar a rentabilidade de um investimento de modo mais realista.

“O cálculo do VPL é, onde os fluxos de caixa do projeto são descontados a uma determinada taxa de juros e trazidos ao valor presente. Quando as receitas do projeto superam o investimento somado às despesas, a viabilidade econômica do projeto é indicada pelo VPL maior do que zero. O método do valor presente caracteriza-se por transferir todos os eventos financeiros que compõe o fluxo de caixa da alternativa sob análise para a data zero de seu fluxo de caixa, que é chamado de Valor Presente Líquido (VPL)” (MANSILHA et al, 2015).

O cálculo do VPL é feito por meio da fórmula expressa na equação 7:

$$\text{VPL} = -\text{InvestimentoInicial} + \frac{\text{FC1}}{(1+i)^1} + \frac{\text{FC2}}{(1+i)^2} + \dots + \frac{\text{FCn}}{(1+i)^n} \quad (7)$$

**Equação 7 - Cálculo do Valor Presente Líquido**

Sendo VPL o Valor Presente Líquido, FC o fluxo de caixa, *i* taxa de desconto ou taxa de juros e *n* o período de tempo.

Usufruindo da fórmula do VPL, calcula-se cenários diferentes para avaliar o custo de oportunidade do investimento, onde ele estará sendo melhor aplicado.

A comparação pode ser adotada para verificar se o investimento realmente apresenta uma viabilidade para os custos da universidade. A partir do fluxo de caixa acumulado do investimento, nos próximos 20 anos de vida útil do sistema de abastecimento, foi possível calcular o VPL e TIR do projeto, conforme demonstrado na tabela 10 elaborada pelo *software* MS Excel.

Ano	VPL	TIR
1	-R\$ 47.469,29	-78%
2	-R\$ 37.263,93	-50%
3	R\$ 30.488,79	39%
4	R\$ 155.422,02	80%
5	R\$ 336.958,23	100%
6	R\$ 574.335,29	110%
7	R\$ 866.630,30	115%
8	R\$ 1.212.781,06	118%
9	R\$ 1.611.605,66	119%
10	R\$ 2.061.820,09	120%
11	R\$ 2.562.054,24	121%
12	R\$ 3.110.866,32	121%
13	R\$ 3.706.755,87	121%
14	R\$ 4.348.175,44	121%
15	R\$ 5.033.541,19	121%
16	R\$ 5.761.242,26	121%
17	R\$ 6.529.649,32	121%
18	R\$ 7.337.122,08	121%
19	R\$ 8.182.016,05	121%
20	R\$ 9.062.688,56	121%

**Tabela 10 - Resultado do VPL e TIR**  
(Fonte:Elaboração do Autor)

Com base no orçamento, o VPL do projeto após os 20 anos de duração representa R\$ 9.062.688,56. O cálculo de VPL demonstrou resultado positivo no terceiro ano de operação, indicando, mesmo que levando mais tempo, a viabilidade do investimento do projeto quando comparado ao mesmo dinheiro aplicado na caderneta da poupança.

A TMA utilizada, de 2,88%, no final do período resultou uma TIR de 121%, ou seja, com valor positivo após os 20 anos da instalação concluída. Comparando esses resultados, pode-se dizer que o investimento é economicamente atrativo.

Um breve resumo dos resultados encontrados é demonstrado na tabela 11. O rendimento final do projeto foi considerado o período de 20 anos.

Indicador de Viabilidade	Tempo de Retorno	Rendimento Final
Payback	2 anos	R\$ 3.015.180,25
Payback Descontado	2 anos	R\$ 1.552.584,80
VPL	3 anos	R\$ 9.062.688,56

**Tabela 11 - Indicadores do Tempo de Retorno do Investimento**  
(Fonte: Elaboração do autor)

Os indicadores econômicos demonstram um resultado positivos de investimento a curto prazo. Mesmo como o tempo de retorno menor, no caso do *payback* e *payback* descontado, ainda representa um período pequeno, se for comparado a outras tipos de investimento existentes no mercado financeiro.

O melhor indicador para verificar se o investimento vale a pena é o VPL, pois ele apresenta um comparativo do investimento realizado com a taxa SELIC, que serve como parâmetro para todas as outras praticadas no mercado, ela tende a ser a menor taxa de juros existente na economia.

O *payback* descontado representa um ótimo indicador, pois permite minimizar os riscos do investimento, por se considerar a desvalorização da moeda ao longo do tempo. O rendimento final do projeto se demonstra mais "coerente" pois são descontadas as taxas de inflação (IPCA) ao longo do período do investimento.

## 5. Considerações Finais

A opção pelo GNV ao invés dos combustíveis fósseis mais tradicionais vem se mostrando cada vez mais interessante e, portanto, tem motivado a muitos empreendedores a buscarem formas cada vez mais rentáveis de atender a essa demanda.

No aspecto econômico, o gás se apresenta sendo mais vantajoso devido à disparidade de preço com os outros combustíveis veiculares. Já com relação à segurança, o mesmo se apresenta como uma boa escolha devido ao seu alto ponto de ignição (se comparado aos outros combustíveis) e também pela sua densidade ser menor que a do ar, fazendo com que o gás rapidamente se dissipe em caso de vazamento. Por ser menos poluente, também agrega valor à questão ambiental, tema muito debatido atualmente devido às crescentes mudanças climáticas por conta do aquecimento global.

O estudo realizado teve como objetivo principal apresentar uma alternativa mais eficiente que possa trazer ao comerciante de GNV uma maior rentabilidade, buscando não só um retorno financeiro como também uma diminuição da emissão de gases poluentes tanto na energia elétrica a ser economizada quanto no incentivo ao consumidor no uso do gás natural.

Assim, o sistema proposto nesse estudo se mostra muito viável financeiramente, apresentando um Payback de 2 anos, onde o Payback Simples apresenta um rendimento de R\$ 3.015.180,25, o Payback Descontado mostra um rendimento de R\$ 1.552.584,84 e o Valor Presente Líquido trazendo um rendimento de R\$ 9.062.688,56. Os indicadores econômicos adotados são os mais comuns quando se trata de investimentos e os mesmos demonstraram que o projeto possui um grande potencial de ser bem sucedido.

Contudo, é muito importante ressaltar que existem alguns fatores que podem afetar a viabilidade do projeto. O principal deles é a questão do espaço físico, já que a norma de segurança exige que se mantenha uma distância segura em relação aos equipamentos e devido aos mesmos possuírem grandes dimensões. É necessário considerar também a inclusão do fator de compressibilidade dentro dos cálculos de abastecimento, para que se possa obter um resultado com mais precisão, e a perda de carga que ocorre pela geometria da tubulação e por conta das válvulas que pertencem ao sistema.



Outra questão importante é que se faça uma experimentação prática desse sistema que permita a coleta de dados para uma avaliação ainda mais precisa da viabilidade do projeto e de sua adoção pelos postos de serviços que comercializam esse combustível.

Vale destacar que o projeto também permite que, em maiores proporções, a comercialização do GNV em postos que não têm acesso ao combustível por meio de gasodutos, onde o combustível é armazenado e transportado em grandes volumes em caminhões.

Para trabalhos futuros, é possível analisar o presente trabalho com a inclusão do fator de compressibilidade do GNV, pode-se analisar a influência que a perda de carga nas tubulações, válvulas e equipamentos influencia no sistema como um todo, estudar a aplicação desse sistema de 3 vias de pressão em postos que são abastecidos por caminhões e também realizar um estudo de viabilidade onde o sistema proposto no projeto poderia permitir que se utilize um compressor de menor potência para o fornecimento do serviço aos consumidores.

## 6. Bibliografia

ABNT, **NBR 12.236 - Critérios de Projeto, Montagem e Operação de Postos de Gás Combustível Comprimido**, Brasil, 1994

ANEEL, dados disponíveis no endereço <<https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/>>, Outubro 2019.

ANP. **Gás Natural Veicular: Mercado em Expansão**. Agência Nacional do Petróleo. Nota Técnica ANP nº 23, 2003.

ANP. **Portaria nº 41**, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

ANP, 2021. **Síntese dos Preços Praticados – RIO DE JANEIRO – Semana III**, Setembro, 2021

ASPRO, **Armazenagem**, dados disponíveis no endereço <<https://www.aspro.com.br/aspro/loja/equipamentos/armazenagem/>>, Março, 2022.

BARBOSA, C. **Desempenho de um Motor Ciclo Otto com Injeção Direta de Gás Natural**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

BR Distribuidora S.A., **Gás Natural - Divulgação do Programa**, Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL, **Lei 9.478/97**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo; Gráfica do Senado, Brasília, 1997.

CAVALCANTI, Marcelo. **Ascensão do Gás Natural no Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.

CONTABIL. **Lucro bruto x lucro líquido: fique por dentro de cada um**. Disponível em: <<https://sitecontabil.com.br/noticias/artigo.php?id=1092>>. 2014.

FGV, **Análise dos condicionantes do desenvolvimento do GNV no Brasil**, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, Fevereiro, 2002.

FOLHA DE SÃO PAULO, dados disponíveis em <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/05/quem-sao-e-o-que-querem-os-caminhoneiros-que-estao-parando-o-pais.shtml>> Maio, 2018.

FREITAG, T. E. **Análise da Competitividade do Gás Natural Como Combustível para Veículos Leves de Passageiros no Brasil**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2019

GÁS MOTORS DO BRASIL. Disponível em <<http://www.gold.com.br/~gmbrasil/instituicao.html>>

GASNET, dados disponíveis no endereço <<http://www.gasnet.com.br>>, Novembro, 2019.

GOUVÊA, C. P. de, **Postos de Abastecimento de Veículos para Gás Natural - Recomendações de Projeto**, IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, 7o Seminário Internacional em Gás Natural, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

IANGV, International Association For Natural Gas Vehicles, **International Statistics**, 2019

INMETRO, Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/avaliacao-da-conformidade/cilindros-de-alta-pressao-para-gnv/>> Outubro, 2021

INMETRO, Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/avaliacao-da-conformidade/servico-de-instalacao-de-gnv-em-veiculos/o-veiculo-convertido-a-gas-natural-polui-menos/>> Março, 2022

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, 2016<sup>a</sup>

LIGHT, Disponível em: <<http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx>>, Outubro, 2021

LOOTTY, et al. **Uma Análise da Competitividade Preço do GNV Frente À Gasolina: Estimção das Elasticidades da Demanda por GNV no Brasil no Período Recente**, Rio Oil & Gas, Rio de Janeiro, Outubro, 2004.

LUNELLI, R. L. **Análise De Investimentos**. Disponível em: <<http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. 2010

MAISTRO, M e BARROS, G. **Relações Comerciais e de Preços no Mercado Nacional de Combustíveis**. XL Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural - SOBER, 19p., 2002.

MANSILHA e al. **Análise da Viabilidade Econômica da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Santa Maria, Brasil, Utilizando o Software Homer Pro**, 2015

NASCIMENTO, et al. **O mercado de gás natural no segmento automotivo no Brasil**, Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2020.

PAVANI, R. H. **Análise das Vantagens e Desvantagens do Uso do Gás Natural em Veículos de passeio**. Monografia de Curso de Pós Graduação em Engenharia Automotiva, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2012.

PELLIZA, G. **Análise de Veículos Convertidos para o Uso do Combustível Gás Natural**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

PETROBRAS. **Gás Natural. O Combustível do Século XXI**. Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 1998.

SOBRINHO, C. A. **Uso de "Dispensers" e Carreta Feixe para Abastecimento de Veículos com Gás Natural**, IBP Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

VALIENTE, D. **Análise de Viabilidade Técnica, Econômica, Ambiental e Mercadológica da Instalação Original de Fábrica de Sistema de Conversão de Conversão para Uso de Gás Natural em Veículos Leves Movidos a Gasolina e/ou Álcool**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

VIEIRA, P. L., GARCIA, C. B., GUIMARÃES H., B., TORRES, E. A., PEREIRA, O. L. S. **Gás Natural: Benefícios Ambientais no Estado da Bahia**. Salvador: Solisluna Design e Editora, 132 p., 2005.