



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - ENERGIA

ALCIDES CANÊJO LINHARES FRANCO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO COMBUSTÍVEL DIESEL PELO GÁS NATURAL EM MOTORES
MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Belém - Pará - Brasil

Dezembro 2007

ALCIDES CANÊJO LINHARES FRANCO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
COMBUSTÍVEL DIESEL PELO GÁS NATURAL EM MOTORES
MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada no Programa de Pós Graduação em Energia - Instituto Tecnológico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eng. André Luiz Amarante Mesquita

Belém - Pará - Brasil

Dezembro 2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central da UFPA

Franco, Alcides Canêjo Linhares, 1945-

Análise técnico-econômica da substituição parcial do combustível diesel pelo gás natural em motores marítimos na região amazônica / Alcides Canêjo Linhares Franco; orientador, André Luiz Amarante Mesquita. — 2007

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belém, 2007.

1. Gás natural – Amazônia – Aspectos econômicos. 2. Gás natural Reservas – Amazônia. 3. Diesel. 4. Combustíveis para motores. I. Título.

CDD - 22. ed. 333.823309811

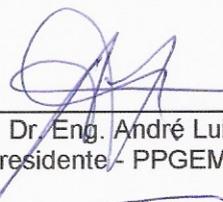
ALCIDES CANÊJO LINHARES FRANCO

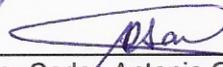
ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
COMBUSTÍVEL DIESEL PELO GÁS NATURAL EM MOTORES
MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

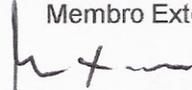
Dissertação apresentada no Programa de Pós
Graduação em Energia - Instituto Tecnológico -
Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade
Federal do Pará, para obtenção do título de Mestre em
Energia.

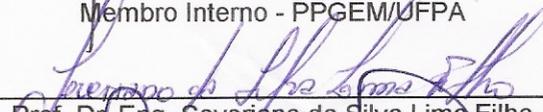
Orientador: Prof. Dr. Eng. André Luiz Amarante Mesquita

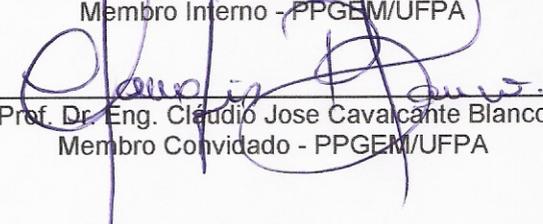
Belém, 07 de dezembro de 2007.


Orientador: Prof. Dr. Eng. André Luiz Amarante Mesquita
Presidente - PPGEM/UFPA


Prof. Dr. Eng. Carlos Antonio Cabral dos Santos
Membro Externo - UFPB


Prof. Dr. Eng. Marcos Ximenes Ponte
Membro Interno - PPGEM/UFPA


Prof. Dr. Eng. Severiano da Silva Lima Filho
Membro Interno - PPGEM/UFPA


Prof. Dr. Eng. Cláudio Jose Cavalcante Blanco
Membro Convidado - PPGEM/UFPA

DEDICATÓRIA

Aos meus falecidos pais, pelo heroísmo e dedicação de construir uma família de nove filhos, com exemplos de dignidade, muito sacrifício, honestidade, carinho e muita esperança de um mundo mais justo e também mais fraterno.

AGRADECIMENTOS

A Deus; à minha esposa, filha e filho; ao meu Orientador: Prof. Dr. Engº. André Luiz Amarante Mesquita; aos Membros da Banca de Defesa; aos Professores: Dr. Engº. Carlos Umberto da Silva Lima, Dr. Engº. Manoel Fernandes Martins Nogueira, Dra. Engª. Carmen Gilda B T Dias; MSc. Engº. Raimundo Lucier M. L. Júnior.

A todos aqueles que com a responsabilidade de bem servir, animaram minha vida com palavras, gestos, disponibilizaram documentos e preciosas informações necessárias, sem as quais a elaboração desta dissertação seria impossível.

RESUMO

A experiência internacional indica a existência de *cinco alavancas principais* comumente relacionadas à expansão do consumo de gás natural: *a) disponibilidade de reservas de gás natural; b) restrições à oferta de outros energéticos (especialmente para a geração de eletricidade); c) preocupação com o meio ambiente em uma legislação ambiental cada dia mais rigorosa; d) liberalização de empresas privadas na distribuição e comercialização de gás natural, atraindo investimentos; e) liberalização da indústria, atraindo investimentos privados, como opção.* Dentro desse cenário, as obras de construção do gasoduto Coari (Base de Extração Urucu)-Manaus, com cerca de 670 quilômetros de extensão total, ficarão prontas em abril de 2008 conforme previsão da Petrobrás divulgada no dia 21/05/2007, o qual transportará 4,7 milhões de metros cúbicos por dia de gás natural na primeira fase de operação. O investimento total previsto é de R\$2,4 bilhões. O gás natural substituirá o diesel e o óleo combustível usados principalmente na produção de grande parte da energia elétrica consumida no Estado do Amazonas. Será usado também nos processos industrial e comercial, bem como para abastecer veículos automotores (automóveis, pickups, caminhões leves, ônibus) com segurança. Essa última aplicação incentivou por excelência esta dissertação, fazendo uma análise técnico-econômica da substituição parcial do combustível diesel pelo gás natural em motores marítimos na região Amazônica, pois as embarcações são veículos que singram os rios da Amazônia, usados no transporte de carga e passageiros. Demonstra primeiramente que é possível tecnicamente a conversão dos motores diesel para consumirem diesel misturado com gás natural às taxas de substituição de diesel por gás natural de 5% a 90%, usando tecnologias já disponíveis no mercado brasileiro, sob a ótica de desempenho energético e ambiental. Posteriormente apresenta uma análise econômica da conversão, levando em consideração os reservatórios para gás natural comprimido - GNC ofertados no mercado nacional e os kits de conversão, em que ficam demonstradas: *a) a viabilidade econômica do empreendimento, se desprezados os pesos e os volumes dos reservatórios de gás natural comprimido, principalmente os pesos; b) a inviabilidade econômica, considerando o transporte dos reservatórios nas embarcações como fretes que deixaram de gerar receitas pelos volumes e pesos ocupados nelas.*

Palavras-chave: Gás Natural. Motores Duais - Diesel/GNC. Análise Econômica.

ABSTRACT

The international experience indicates the existence of five main elements related to the expansion of the natural gas consumption as following: a) availability of natural gas reserve; b) restriction offers of other energy ones (especially for the electricity generation); c) concern with the environment by a environmental legislation more rigorous, each day; d) the investments attraction by the private companies permission for the distribution and commercialization of the natural gas; e) the generalized permission for the industry, attracting private companies, because of the opportunity of the investment. In this scene, the construction of the gas line Coari (extraction base) Urucu-Manaus with about 670 kilometers of total extension that will be ready on April of 2008, as divulged by Petrobras on 05/21/2007 and will carry 4.7 million cubic meters per day of natural gas in the first phase of operation. The foreseen total investment is of R\$2.4 billions. The natural gas will substitute the diesel and the combustible oil used, mainly, in the production of great part of the consumed electric energy in the Amazon State. It will be used also in the industrial and commercial processes, as well as supplying, with safety, auto-machine vehicles (automobiles, pickups, light trucks, bus). This last application stimulated this research, that establish a technical-economic analysis of the partial substitution of the fuel diesel by the natural gas in maritime engines in the Amazon Region, because the boats are vehicles that cross the rivers of this Region and are used for load and passengers transportation. First, it is demonstrated that it is possible, in technical conditions, the conversion of the diesel engines to consume the diesel mixed with natural gas to the taxes of substitution of diesel for natural gas from 5% to 90%, using available technologies that are in the Brazilian market, under the view of energy and environment performances. Later it presents an economic analysis of the conversion, considering the reservoirs for natural gas compressed - NGC offered in the national market and the kits of conversion. The research reveals: a) the economic viability of the enterprise if the weights and the volumes of the natural gas reservoirs are neglected, especially the first one; b) the no economic viability, considering the transport of the reservoirs, in the boats, that had no financial results because of the prices of the taxes resulting of the space occupied by the volumes and the weights of these reservoirs.

Key-words: Natural Gas, Dual Fuel Engine-Diesel/NGC, Economic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gás associado	7
Figura 2 - Gás não associado	8
Figura 3 - Cilindro GNV tipo 1. (a) Vista isométrica. (b) Vista em corte.....	11
Figura 4 - Esquema do cilindro GNV tipo 2. (a) Vista isométrica; (b) Vista em corte	12
Figura 5 - Esquema do cilindro GNV tipo 3. (a) Vista isométrica; (b) Vista em corte	13
Figura 6 - Esquema do cilindro GNV tipo 4. (a) Vista isométrica; (b) Vista em corte	13
Figura 7 - Retenção de moléculas de um gás sobre um sólido micro poroso	16
Figura 8 - Relação de retenção do metano de acordo com o método de abastecimento (Cook & Horne, 1997)	17
Figura 9 - Ciclo padrão ar Otto. (a) diagrama pressão x volume; (b) diagrama temperatura absoluta x entropia.....	21
Figura 10 - Ciclo padrão ar Diesel. (a) diagrama pressão x volume; (b) diagrama temperatura absoluta x entropia	23
Figura 11 - Ciclo ar Dual Diesel-GNC. (a) diagrama pressão x volume; (b) Diagrama temperatura absoluta x entropia.....	25
Figura 12 - Variação da composição do gás de escapamento de um motor Dual em função da riqueza global da mistura (ar-gás-diesel piloto). (a) % CO; (b) densidade da fumaça em unidades Hartdridge. Motor a 1000 rpm, metano como combustível principal, 0,2277 kg/h de jato piloto a 18° APMS e admissão à temperatura ambiente	30
Figura 13 - Variação do consumo específico em função da riqueza da mistura para um motor Dual. (1) diesel, (2) metano, (3) propano. Temperatura de admissão 0° C e jato piloto de 0,4 kg/h a 20° APMS	31
Figura 14 - Variação típica da potência desenvolvida, em termos de pressão média efetiva, em função da riqueza da mistura e da quantidade de jato piloto. Uso de metano como combustível principal, temperatura de admissão de 30° C, injeção de diesel a 18° APMS e rotação de 1000 rpm	33
Figura 15 - Percentagem de metano não reagido aparecendo nos gases de escape para diferentes temperaturas de admissão. Jato piloto de 0,227 kg/h a 18° APMS e 1000 RPM.....	34
Figura 16 - Comparação entre os atrasos de ignição do jato piloto em função da riqueza global da mistura. (1) Propano, (2) Metano e (3) Diesel. Temperatura de admissão a 0° C, jato piloto de 0,4 kg/h a 20° APMS	36
Figura 17 - Tendências nas características de combustão de um motor Dual para variações no avanço do jato piloto, na taxa de compressão, na temperatura de admissão, na carga do motor e na resistência à detonação do combustível. Análise feita em termos de riqueza da mistura ar-gás.....	37
Figura 18 - Vista do Aparato Experimental.....	40
Figura 19 - Cesta de cilindros pés fixos, transportáveis por empilhadeiras.....	67
Figura 20 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 1ª Geração.....	76

Figura 21 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 2ª Geração.....	77
Figura 22 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 4ª Geração.....	78
Figura 23 - Diagrama de Fluxo de Caixa.....	81
Figura 24 - Planta do convés de uma balsa para transporte de carretas, plotadas as cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo, fabricadas pela White Martins, usadas para abastecer empurradores E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%	111
Figura 25 - Navio Motor São Francisco de Paula.....	115
Figura 26 - Planta do porão para transporte de cargas, plotadas as cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo, fabricadas pela White Martins, usadas para abastecer dois motores , taxa de substituição de 50%, do navio N_M 2MCP, São Francisco de Paula, que transporta passageiros e cargas nos trechos Macapá-Belém e Belém-Macapá	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as propriedades físico-químicas do GN e do óleo Diesel.....	5
Tabela 2 - Benefícios ambientais do gás natural no período de 1994 a 2003.....	19
Tabela 3 - Benefícios ambientais do gás natural no ano de 2003.....	19
Tabela 4 - Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 1MCP: Tempo de viagem; Consumo específico; Consumo total.....	48
Tabela 5 - Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 1MCP: Tempo entre duas viagens consecutivas; Viagens por ano.....	49
Tabela 6 - Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 2MCP: Tempo de viagem; Consumo específico; Consumo total.....	51
Tabela 7 - Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 2MCP: Tempo entre duas viagens consecutivas; Viagens por ano.....	52
Tabela 8 - Consumos e custos de diesel e gás natural em viagens completas Belém-Manaus-Belém, para empurradores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP).....	54
Tabela 9 - Consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP).....	55
Tabela 10 - Consumos e custos de diesel e gás natural em viagens completas Belém-Manaus-Belém, para empurradores com dois motores diesel, propulsores (E_M 2MCP).....	57
Tabela 11 - Consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com dois motores diesel, propulsores (E_M 2MCP).....	58
Tabela 12 - Tempos de subida e descida no trecho Bel-Mao, para E_M 1MCP.....	61
Tabela 13 - Tempos de subida e descida no trecho Bel-Mao, para E_M 2MCP.....	58
Tabela 14 - Combustível para E_M 1MCP - trecho Bel-Mao.....	62
Tabela 15 - Combustível para E_M 1MCP - trecho Bel-Mao e taxa de substituição.....	63
Tabela 16 - Combustível para E_M 2MCP - trecho Bel-Mao.....	64
Tabela 17 - Combustível para E_M 2MCP - trecho Bel-Mao e taxa de substituição.....	65
Tabela 18 - Especificações e Cotação de cestas de cilindros para gás natural – 200 bar.....	67
Tabela 19 - Seleção de cestas de cilindros para empurradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 90% e o consumo é igual a 10.486 m ³	68
Tabela 20 - Seleção de cestas de cilindros para empurradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 75% e o consumo é igual a 8.738 m ³	68
Tabela 21 - Seleção de cestas de cilindros para empurradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 50% e o consumo é igual a 5.825 m ³	69
Tabela 22 - Seleção de cestas de cilindros para empurradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 90% e o consumo é igual a 19.418 m ³	69

Tabela 23 - Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 75% e o consumo é igual a 16.181 m ³	70
Tabela 24 - Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 50% e o consumo é igual a 10.788 m ³	70
Tabela 25 - Custo total das cestas de cilindros em função da taxa de substituição e consumos para E_M 1MCP	71
Tabela 26 - Custo total das cestas em função da taxa de substituição e consumos para E_M 2MCP	71
Tabela 27 - Benefício anual em função da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido	72
Tabela 28 - Custo do frete das cestas por viagem completa Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição para E_M 1MCP	73
Tabela 29 - Custo do frete das cestas por ano Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição e a quantidade de viagens por ano, para E_M 1MCP	73
Tabela 30 - Custo do frete das cestas por viagem completa Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição para E_M 2MCP	74
Tabela 31 - Custo do frete das cestas por ano Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição e a quantidade de viagens por ano, para E_M 2MCP	74
Tabela 32 - Preço do Kit de conversão diesel/GNV	78
Tabela 33 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	90
Tabela 34 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	91
Tabela 35 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e" , para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	91
Tabela 36 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	93
Tabela 37 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	94
Tabela 38 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e" , para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	94
Tabela 39 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	97
Tabela 40 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	97

Tabela 41 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	98
Tabela 42 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	101
Tabela 43 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	101
Tabela 44 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	102
Tabela 45 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	104
Tabela 46 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	105
Tabela 47 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	105
Tabela 48 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros	108
Tabela 49 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	108
Tabela 50 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.....	109
Tabela 51 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros	113
Tabela 52 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.....	114
Tabela 53 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros	114
Tabela 54 - Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros	118
Tabela 55 - Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.....	119

Tabela 56 - Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e” , para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros	119
---	-----

NOMENCLATURA

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGA American Gás Association
AISI American Iron and Steel Institute
ANP Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANSI American National Standards Institute
B/C Relação Benefício/Custo
CGA Compressed Gás Association
CH₄ Gás Metano
CNP Conselho Nacional do Petróleo
CO Monóxido de Carbono
CO₂ Dióxido de Carbono – Gás Carbônico
CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUMMINS Fabricante de motores diesel
E_M 1MCP Empurrador Motorizado 1 Motor Cummins Propulsor
E_M 2MCP Empurrador Motorizado 2 Motor Cummins Propulsores
GNA Gás Natural Adsorvido
GNC Gás Natural Comprimido
GNL Gás Natural Liquefeito
GNV Gás Natural Veicular
IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Industriais
INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
ISSO International Organization for Standardization's
MDIC Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MP Material Particulado
N_M 2MCP Navio Motorizado 2 Motores Cummins Propulsores S. Francisco de Paula
Naturais Renováveis
NBR Norma Técnica Brasileira
NC Número de Cetana
NO Número de Octana
NOX Óxidos de Nitrogênio
OEM Original Equipment Manufacturer
PCI Poder Calorífico Inferior
PCS Poder Calorífico Superior
PLANGAS Plano Nacional do Gás Natural
SOX Óxidos de Enxofre
SPTRANS São Paulo Transporte S.A
T_{D/G} Taxa de Substituição Diesel/Gás
TIR Taxa Interna de Retorno
TMA Taxa Mínima de Atratividade
TRC Tempo de Retorno do Capital (Período de Payback)
UPGN Unidade de Processamento de Gás Natural
VAL Valor Anual Líquido
VPL Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
NOMENCLATURA.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DIESEL.....	3
2.2 CARACTERÍSTICAS DO GÁS NATURAL.....	5
2.2.1 Gás associado	7
2.2.2 Gás não associado	8
2.3 ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL.....	9
2.3.1 Recipientes para armazenamento de GNV existentes no mercado atual	10
2.3.1.1 Tipo 1 - cilindro de material metálico.....	11
2.3.1.2 Tipo 2 - cilindro com selante de metal envolto anularmente.....	11
2.3.1.3 Tipo 3 - cilindro com selante de metal totalmente envolto.....	12
2.3.1.4 Tipo 4 - cilindro em compósito.....	13
2.3.1.5 Normatização existente.....	14
2.3.2 Adsorção de gás natural	16
2.4 TIPOS DE USO DE GÁS NATURAL.....	17
2.4.1 Segmento automotivo	17
2.5 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DO USO DO GÁS NATURAL.....	18
2.6 ANÁLISE TERMODINÂMICA E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR DUAL (DIESEL/GÁS NATURAL).....	20
2.6.1 Análise termodinâmica do ciclo do motor dual.....	20
2.6.2 Princípios de funcionamento do motor diesel com substituição parcial pelo gás natural.....	38

2.7	RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	40
2.7.1	Redução e análise dos resultados.....	41
2.7.2	Gráficos.....	42
3	ANÁLISES TÉCNICO-ECONÔMICA DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS MOTORES MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA.....	46
3.1	ANÁLISE TÉCNICA DO MERCADO PARA CONVERSÃO PARCIAL DE MOTORES DIESEL EM MOTORES DIESEL COM GÁS NATURAL.....	46
3.1.1	Levantamento do custo do combustível usado, em função da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido	52
3.1.2	Dimensionamento dos reservatórios de gás natural comprimido.....	59
3.1.3	Custo dos reservatórios de gás natural comprimido.....	71
3.1.4	Benefícios financeiros da substituição parcial de diesel por gás natural comprimido	72
3.1.5	Custo do frete dos reservatórios nos trechos BEL-MAO-BEL	72
3.2	ANÁLISE ECONÔMICA DA CONVERSÃO PARCIAL DE MOTORES DIESEL EM MOTORES DIESEL COM GÁS NATURAL MISTURADOS, EM FUNÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS MOTORES MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA.....	80
3.2.1	Estudo de caso 1.....	88
3.2.2	Estudo de caso 2.....	110
3.2.3	Estudo de caso 3.....	115
4	CONCLUSÃO.....	120
5	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	121
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação teve a finalidade de analisar a viabilidade técnico-econômica na implementação do uso do gás natural em substituição parcial do combustível usados em motores diesel de pequeno e médio porte, utilizados na grande maioria de embarcações da Região Amazônica, considerando as perspectivas do uso comercial do gás natural na região.

As capacidades de produção e de refino do petróleo brasileiro cresceram de forma significativa ao longo das décadas passadas, e desde o primeiro semestre ano de 2006, foi alcançada auto-suficiência do País em petróleo.

O gás natural, caso venha a ser consumido em motores do ciclo diesel hoje existentes, mesmo que em substituição parcial do energético tradicional, pode modificar este quadro do consumo de óleo diesel. Simultaneamente criar-se-á mercado para o gás natural, hoje com perspectiva de abundância e até de auto-suficiência para este derivado do petróleo.

Uma alternativa de compromisso para a redução da demanda de diesel no Brasil pode ser realizada pela conversão dos motores originalmente diesel para o consumo do gás natural em substituição parcial do diesel. Nesta, os motores operariam num ciclo bi-combustível (dual fuel engine), consumindo simultaneamente tanto óleo diesel quanto o gás natural.

A substituição parcial do diesel pelo gás natural na Amazônia, nos motores diesel convertidos, certamente trará grandes benefícios econômicos pela redução do custo final dos combustíveis utilizados devido ao baixo custo do gás natural comparado ao diesel. Considerando a realidade hoje e com a expectativa de novas descobertas nessa Região, aumento da produção e incentivo ao uso cada vez maior do gás natural, estimulará com que as embarcações que navegam nos seus 80.000 (oitenta mil) km de rios, passem a utilizar o gás natural associado ao diesel em seus sistemas de propulsão. O custo do diesel é um fator que muito onera o transporte de cargas e passageiros para a população que habita nessa parte do Brasil, visto que as distâncias entre cidades e povoados muitas vezes são medidas não em horas mas em dias de viagens.

A experiência internacional indica a existência de cinco alavancas principais comumente relacionadas à expansão do consumo de Gás Natural no mundo (Santos, 2005):

- Preocupação com o meio ambiente em uma legislação ambiental cada dia mais rigorosa;
- Disponibilidade de reservas de gás natural;
- Restrições à oferta de outros energéticos (especialmente para a geração de eletricidade);
- Liberalização de empresas privadas na distribuição e comercialização de gás natural, atraindo investimentos;
- Liberalização da indústria, atraindo investimentos privados, como opção.

No Brasil, a Província Petrolífera de Urucu, no Estado do Amazonas, a produção média de gás natural em 2006 foi de 9,244 milhões de metros cúbicos por dia. Esse volume faz do Amazonas o terceiro produtor nacional de gás natural, e do município de Coari o maior produtor terrestre (ANP - Boletim Mensal Dez/2006).

Na base petrolífera de Urucu também há reservas de gás natural suficientes para abastecer toda a região Norte do país, e outras regiões, como uma das principais fontes para geração de energia. A pronta disponibilidade do gás natural de Urucu faz parte do programa de massificação do uso do gás lançado pelo Governo Federal, na qual o Amazonas está contemplado com um investimento de infra-estrutura na instalação do Gasoduto Coari-Manaus e outros desenvolvimentos tecnológicos.

A construção do gasoduto Coari-Manaus irá proporcionar inúmeros benefícios para o Amazonas, outros Estados da Amazônia brasileira e o Brasil. A substituição de óleo diesel e óleo combustível por gás natural em Manaus, nas usinas geradoras de energia elétrica, proporcionará uma redução da taxa de energia elétrica, na **CCC**¹, de mais de um bilhão de reais anualmente. Gerará aumento de emprego e renda, contribuindo também para redução do risco ambiental.

¹ A **CCC** é uma conta cuja arrecadação é usada para cobrir os custos do uso de combustíveis fósseis (óleo diesel, por exemplo) para geração termelétrica nos sistemas Interligado e Isolado. A Conta é rateada entre todos os consumidores de energia elétrica do País. As distribuidoras de energia são obrigadas a recolher, mensalmente, sua cota, que, por força da legislação atual, tem que ser homologada pela ANEEL. O valor da cota é proporcional ao mercado atendido por cada empresa.

Hoje a substituição parcial do óleo diesel por gás é uma realidade (Carvalho, 1985; Ahouissoussi e Wetzstein, 1997, Pereira et al., 2004), onde os motores operam num ciclo bi-combustível, consumindo simultaneamente tanto óleo diesel quanto o gás natural. Conversões diesel/gás não exigem mudanças de vulto nos motores originalmente diesel que inclusive podem, a qualquer momento, retornar à sua operação apenas com o derivado líquido. Motores operando no modo diesel/gás podem apresentar rendimento térmico superior tanto ao verificado em seu funcionamento original diesel, como o obtido dos motores do ciclo Otto dedicados ao gás natural. Além do aumento de rendimento tem-se também a redução de emissões à atmosfera, reduzindo o impacto ambiental desses tipos de motores.

O parque náutico na região Amazônia é muito importante e as embarcações, sejam de pequeno, médio ou grande porte, empregam motores diesel em seus sistemas de propulsão, o que fará aparecer um potencial mercado para aplicações de substituição parcial do diesel pelo gás natural.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DIESEL

O óleo Diesel, ou simplesmente Diesel, é obtido do petróleo cru, através do processo de destilação fracionada, sendo constituído basicamente por hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contém átomos de Carbono e Hidrogênio) e baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio.

Embora a composição do Diesel seja muito complexa em virtude do grande número de hidrocarbonetos pesados que dele faça parte, esta pode ser representada por um hidrocarboneto específico e dividida em grupos. Uma divisão característica seria (Taylor, 1976):

Óleo Diesel Leve	$C_{12}H_{26}$ (dodecano)
Óleo Diesel Médio	$C_{13}H_{28}$ (tridecano)
Óleo Diesel Pesado	$C_{14}H_{30}$ (tetradecano)

O óleo Diesel leve é o mais recomendado para motores acima de 1200 rpm, sendo utilizado em aplicações veiculares e motores estacionários (Obert, 1971).

O combustível Diesel veicular é produzido de modo a atender requisitos definidos de qualidade, que visam garantir que o produto apresente condições de assegurar as exigências dos motores.

A qualidade de ignição do Diesel pode ser medida por seu número de cetano (NC), que em certa medida, caracteriza a cinética de combustão, tendo assim influência no espectro de substâncias emitidas pelo motor. A escala do número de cetano é definida por mistura de dois combustíveis referenciais de hidrocarbonetos puros. Cetano (n-hexadecano, $C_{16}H_{34}$), um hidrocarboneto com alta qualidade de ignição, representa o topo da escala com um $NC=100$. Um Isocetano, também denominado Heptametilnonano (HMN), o qual tem uma qualidade muito baixa de ignição, representa a base da escala com $NC=15$. O motor usado na determinação do número de cetano é padronizado (monocilíndrico). Assim o número de cetano é dado por (Heywood, 1988):

$$NC = (\%n\text{-hexadecano}) + 0,15 \times (\%HMN) \quad (1)$$

O número de cetano para motores Diesel, em geral, situa-se na faixa de 40 e 60. Valores inferiores a 40 podem causar fumaça na descarga, com aumento de consumo, perda de potência e aumento de ruído (batida). Quanto maior for o número de cetano, menor será o retardo de ignição, por conseguinte, melhor será sua capacidade de queima (Obert, 1971).

Outras características relevantes do combustível Diesel (para emissões) são: a densidade, a viscosidade, a razão H/C, o teor de enxofre, a presença de contaminantes, o teor de hidrocarbonetos cíclicos (aromáticos, derivados da cadeia fundamental do benzeno) e obviamente, o poder calorífico.

A tabela 1 apresenta uma comparação entre algumas características físico químicas do Gás Natural (GN) e do Óleo Diesel.

Tabela 1
 Comparação entre as propriedades físico-químicas do GN e do óleo Diesel.

Propriedades	Gás Natural	Óleo Diesel
Fórmula química do hidrocarboneto principal	CH ₄	C ₁₂ H ₂₆
Relação atômica H/C do combustível	3,82 ^a	1,85 ^b
Massa molecular [g/mol]	17,7	170
Massa específica [kg/m ³], 20°C e 1 atm	0,736	830
Razão ar/combustível estequiométrica [kg/kg]	16,99/1	14,99/1
Temperatura de auto-ignição [°C]	632	254
Poder calorífico superior [kJ/kg]	53.970	45.590
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	48.750	42.450
Limite de inflamabilidade no ar [% por vol.]	5-15	0,7-0,5
Número de octana [NO]	130	20
Número de cetano [NC]	-	44-50
Calor de combustão de 0,028 m ³ de mistura estequiométrica a 1 atm e 15,6 °C [kcal/kg]	771	773,5
Velocidade de propagação da chama [cm/s]	33,5	33-47

Fontes: (Taylor, 1976; Bet, 1991; Baukal, 2001; ^aCEG, 2004; ^bNBR 14489, 2000;)

2.2 CARACTERÍSTICAS DO GÁS NATURAL

O gás natural é um combustível fóssil encontrado em rochas porosas no subsolo, podendo estar associado ou não ao petróleo.

Sua formação resulta do acúmulo de energia solar sobre matérias orgânicas soterradas em grandes profundidades, do tempo pré-histórico, devido ao processo de acomodação da crosta terrestre. É composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, predominando o metano e, em menores quantidades o propano e o butano, entre outros.

Geralmente apresenta baixos teores de contaminantes como o nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre. O gás natural permanece no estado gasoso, sob pressão atmosférica e temperatura ambiente.

Mais leve que o ar, o gás natural dissipa-se facilmente na atmosfera em caso de vazamento. Para que se inflame, é preciso que seja submetido a uma temperatura superior a 620°C e que limites de explosividade no ar sejam assim observados: LSE ≤ 17 % v/v e LIE ≥ 6,5 % v/v. A título de comparação, vale lembrar que o álcool se inflama a 200°C e a gasolina a 300°C. Além disso, é inodoro e quase incolor, queimando com uma chama de coloração azulada quase imperceptível. Por questões de segurança, o GN comercializado é odorizado com enxofre.

A principal vantagem do uso do gás natural é a preservação do meio ambiente. Além dos benefícios econômicos, o GN é um combustível de baixo nível de poluição. Sua combustão é muito mais limpa que a provocada pelo óleo diesel, razão pela qual quase dispensa tratamento dos produtos lançados na atmosfera.

As desvantagens para utilização do gás natural em embarcações que navegam nos rios da Amazônia são assim elencadas:

- indisponibilidade de postos de abastecimento, visto que em setembro de 2007, só existe um único posto de abastecimento em toda Amazônia;
- reservatórios de combustível mais pesados e caros que os usados para diesel, visto que precisam suportar pressões de 200 bar;
- ocupação de espaços nas embarcações para instalação de reservatórios, visto que os reservatórios de diesel precisam ser mantidos, já que a combustão do gás natural está associada ao diesel;
- Adicionalmente, não se tem ainda no Brasil uma legislação específica tratando do tema.

2.2.1 Gás associado

É aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás. Neste caso, a produção de gás é determinada diretamente pela produção do óleo. Caso não haja condições econômicas para a extração, o gás natural é reinjetado na jazida ou queimado, a fim de evitar o acúmulo de gases combustíveis próximos aos poços de petróleo. O gás natural não associado é mais interessante do ponto de vista econômico, devido ao grande acúmulo de propano e de hidrocarbonetos mais pesados.

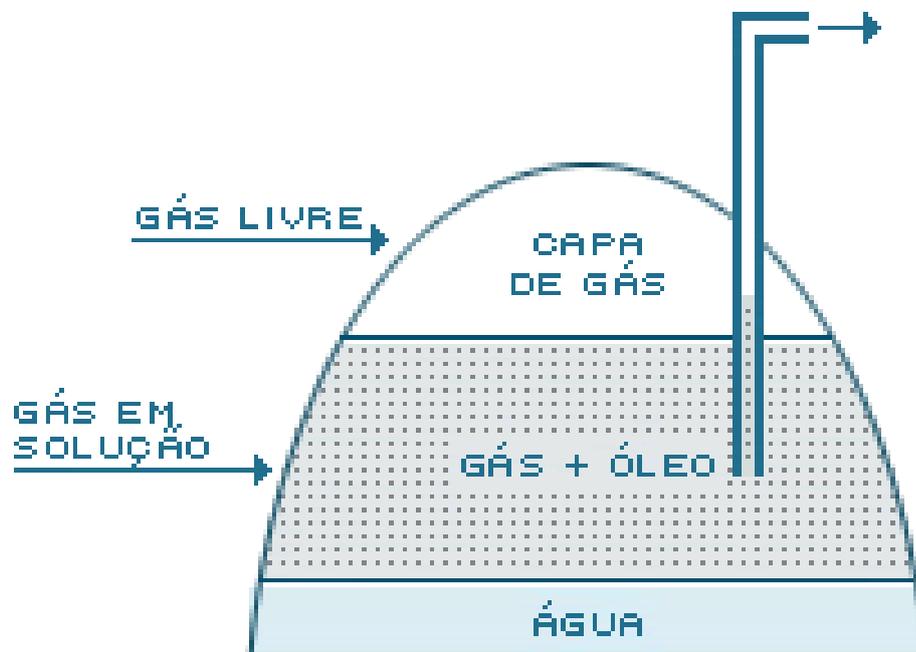


Figura 1 - Gás associado

2.2.2 Gás não associado

É aquele que, no reservatório, está livre ou junto a pequenas quantidades de óleo. Neste caso, só se justifica comercialmente produzir o gás. As maiores ocorrências de gás natural no mundo são de gás não associado.

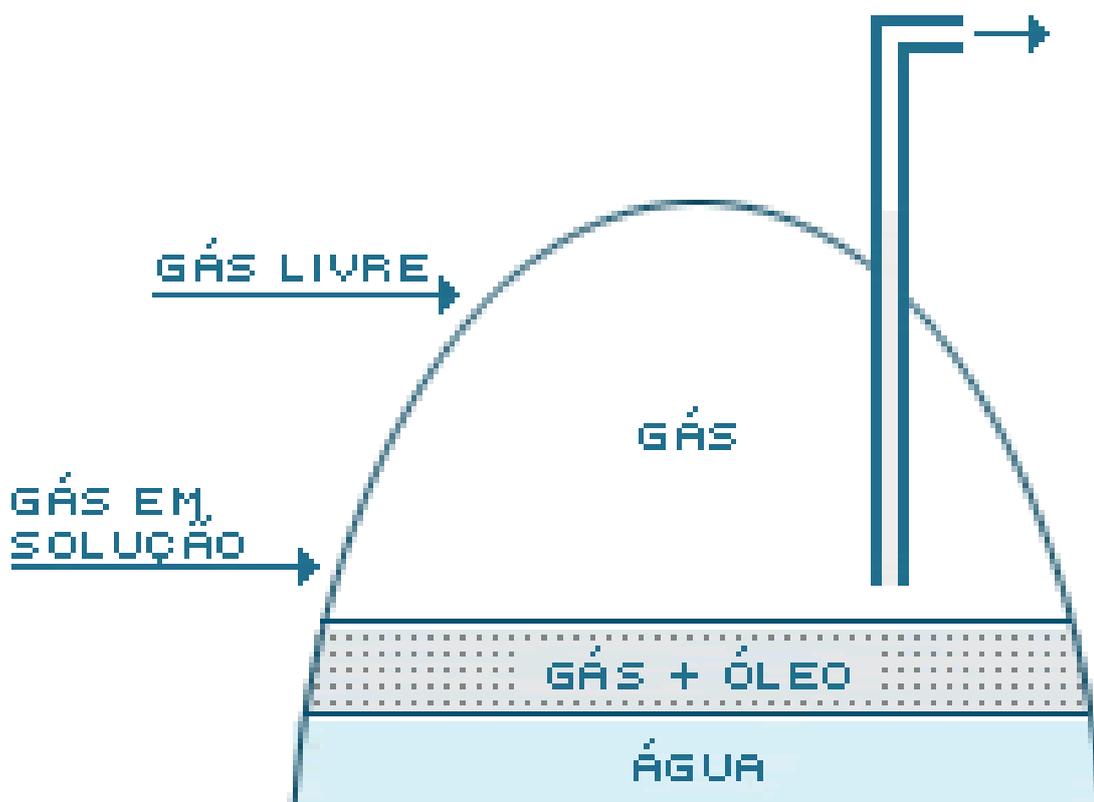


Figura 2 - Gás não associado

2.3 ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL

Existem três formas diferentes para o armazenamento de gás natural:

- gás natural liquefeito (GNL);
- gás natural comprimido (GNC);
- gás natural adsorvido (GNA).

O GNL é obtido à temperatura criogênica (-161°C) e a pressão ambiente. Este processo apresenta uma redução de cerca de 600 vezes o volume original, permitindo que grandes quantidades de gás sejam transportadas para lugares onde os gasodutos são de difícil implementação ou economicamente inviáveis. Possui como vantagem uma maior autonomia quando comparado ao GNC, porém menor quando comparado com a gasolina ou óleo diesel. Sua principal desvantagem é em relação aos custos relativos e liquefação do gás, justificando-se apenas em operações que requeiram maior autonomia em relação ao GNC, como por exemplo, em trens, ônibus, caminhões e neste estudo de embarcações fluviais.

O GNC é armazenado a uma pressão geralmente entre 15 a 25 MPa ($\approx 2400 - 3600$ psi). Este é o tipo mais empregado para uso veicular, porém necessita de tanques cilíndricos para o armazenamento, diminuindo dessa forma o espaço interno do veículo. Requer também alto custo de compressão.

O GNA aparece como uma alternativa para o GNC, onde sólidos microporosos empacotados em um tanque aumentam a densidade de armazenamento, possibilitando operações a baixas pressões. O GNA possui uma capacidade de armazenagem bem próxima ao GNC ($\approx 2/3$) com uma pressão muito menor ($\approx 1/6$). A faixa de pressão empregada é em torno de 3,5 a 4 MPa (≈ 500 a 600 psi) e utilizam-se, preferencialmente, carvões ativados altamente microporosos como adsorvente. O fenômeno da condensação capilar do gás natural nos microporos do carvão adsorvente permite que mais gás seja armazenado do que ocorreria no armazenamento em fase gasosa. Esta maneira de armazenagem do gás natural apresenta algumas vantagens frente ao GNC. Devido às baixas pressões, tanques não cilíndricos podem ser construídos, maximizando o espaço útil do veículo (embarcação); menores custos são obtidos com a compressão, pois com uma pressão de abastecimento mais baixa, os veículos podem ser abastecidos

diretamente das tubulações de gás e com menos riscos gerados, devido a menores energias requeridas para comprimir o gás natural.

Devido às vantagens que apresenta o GNA frente ao GNC, um grande número de pesquisas estão sendo orientadas ao uso do GNA, as quais vão desde a busca de cilindros mais leves e com resistência elevada, estudos de geometrias alternativas ou não convencionais até a escolha dos adsorventes mais indicados.

2.3.1 Recipientes para armazenamento de GNV existente no mercado atual

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação e a descoberta de novos materiais, mais leves e mais resistentes que o aço, surgiu no mercado uma diversificação de tipos de cilindros produzidos para utilização de gás natural veicular.

Algumas normas só fazem referência ao Gás Metano Veicular (GMV), mas são consideradas válidas para GNV já que este é o composto fundamentalmente de metano ($\approx 95\%$), sendo assim, daqui em diante o GMV será considerado como GNV.

A Norma ABNT NBR 12790 (1995) classifica os cilindros sem costura para armazenagem e transporte de gases a alta pressão das seguintes classes:

- Classe 1 - Aqueles com capacidade menor ou igual a 450 l e pressão de serviço mínima de 3,2 MPa;
- Classe 2 - Aqueles com capacidade maior que 450 l e pressão mínima de 3,5 MPa;
- Classe 3 - Aqueles destinados ao armazenamento de gás metano veicular (GNV), onde o gás é usado como combustível no veículo, ou, para o transporte de gás em cilindros resistentes no veículo, para abastecimento dos postos de recarga.

Segundo MDIC-INMETRO, PORTARIA Nº. 74 (2001) existem quatro tipos de cilindros para gás metano veicular (GNV), descritos a seguir:

- Tipo 1 - Cilindros de material metálico (*all metal cylinder*);
- Tipo 2 - Cilindro com selante de metal envolto anularmente (*metal-lined hoop wrapped cylinder*);
- Tipo 3 - Cilindro com selante de metal totalmente envolto (*metal-lined total-wrapped cylinder*);

- Tipo 4 - Cilindro todo em compósito (*plastic-lined all composite cylinder*).

2.3.1.1 Tipo 1 - Cilindro de material metálico

Os cilindros GNV do tipo 1, mantendo a configuração original, podem ser fabricados com novas ligas de aço ou alumínio, apresentando redução de peso em torno de 10%, quando comparados aos congêneres tradicionais.

O aço liga comumente empregado na produção de cilindros é o AISI 4130. A liga de alumínio mais utilizada é a AA 6061-T6, sendo também utilizada a AA 6351-T6. Outras ligas como a AA 7032 têm sido empregadas na produção de cilindros.

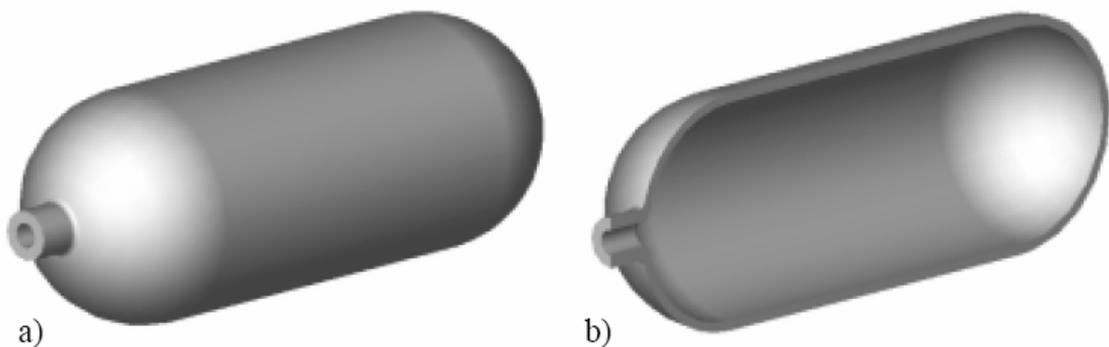


Figura 3 – Cilindro GNV tipo 1. (a) Vista isométrica. (b) Vista em corte
Fonte: VILLENA, 2004

2.3.1.2 Tipo 2 - Cilindro com selante de metal envolto anularmente

Os cilindros GNV Tipo 2 são fabricados com selante (lined) de metal, que pode ser aço ao alumínio-liga, envolvidos anularmente em sua seção cilíndrica (hoop-wrapped) pelo processo de bobinamento com filamento contínuo (fibra), impregnado por resina bobinado helicoidalmente e circunferencialmente (wet-filament winding).

As ligas de alumínio utilizadas na fabricação do selante metálico são as mesmas empregadas na produção de cilindros Tipo 1. O alumínio-liga mais utilizado no selante é o da série 6XXX, mais especificamente o 6061-T6 (alumínio-magnésio-silício).

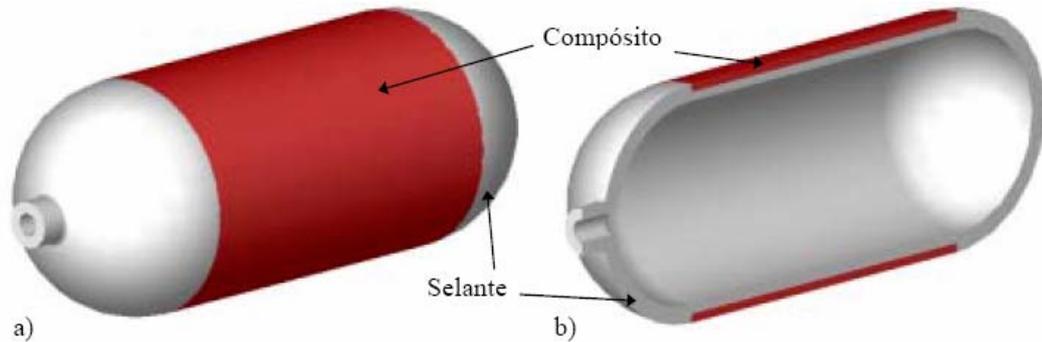


Figura 4 – Esquema do cilindro GNV tipo 2.
 (a) Vista isométrica (b) Vista em corte
 Fonte: VILLENA, 2004

O filamento (fibra) utilizado pode ser: fibra de vidro-S, fibra de vidro-E, fibra de aramida e fibra de carbono. O material para impregnação pode ser termofixo ou resina termoplástica. A resina epóxi atualmente é a mais usada. Neste caso haveria teoricamente uma redução de espessura do cilindro metálico de 50%, o que acarretaria uma redução de peso de quase 50% (reduziria 50% do metal e agregaria o peso do reforço). Entretanto por problemas construtivos a redução observada está entre 25 e 30%, comparando-se com o equivalente metálico em aço.

Em todos os projetos do cilindro tipo 2, os selantes de metal (na ausência do invólucro) são geralmente capazes de suportar pressões acima da pressão de gás de serviço.

2.3.1.3 Tipo 3 - Cilindro com selante de metal totalmente envolto

Os cilindros GNV Tipo 3, assim como os cilindros tipo 2, são fabricados com selantes de metal que pode ser aço ou alumínio-liga. Neste tipo, um cilindro de metal (selante) sem costura, com paredes finas, é integralmente revestido em toda sua superfície (*total-wrapped cylinder*) com filamentos contínuos impregnados de resina, bobinados helicoidalmente e circunferencialmente (*wet filament winding*). Os materiais do selante são os mesmos do Tipo 2.

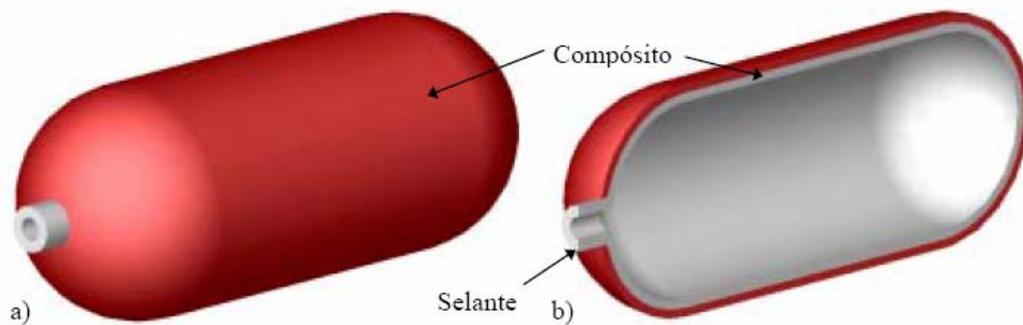


Figura 5 - Esquema do cilindro GNV tipo 3.
 (a) Vista isométrica (b) Vista em corte
 Fonte: VILLENA, 2004

A redução do peso neste tipo obtida chega a 50% ou mais, quando comparado com cilindros de aço.

2.3.1.4 Tipo 4 - Cilindro em compósito

O cilindro GNV Tipo 4 compreende um selante de polímero que tem função somente tornar o cilindro final impermeável ao gás; geralmente constituído de polietileno de alta densidade (*high-density polyethylene-hdpe*), uma saliência de metal (geralmente alumínio 6061) na região da coroa para facilitar o bobinamento, um entrada para colocar uma válvula e um enrolamento multidirecional total da fibra de vidro-S ou de carbono.

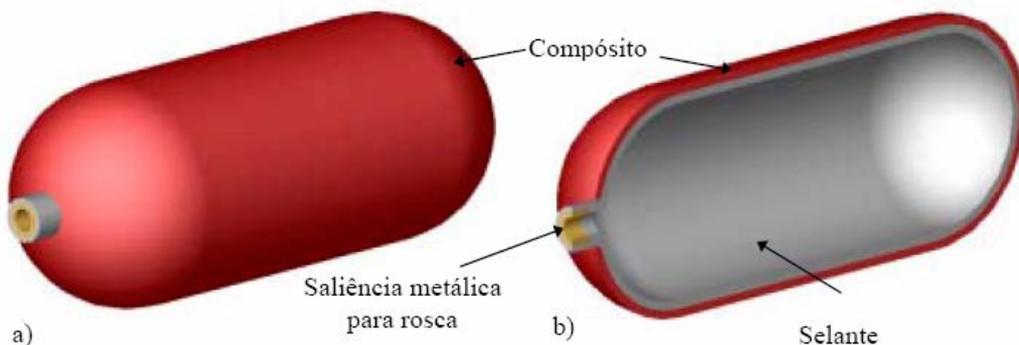


Figura 6 - Esquema do cilindro GNV tipo 4.
 (a) Vista isométrica (b) Vista em corte
 Fonte: VILLENA, 2004

Pode-se optar por cilindros em plástico reforçado sem material impermeável interno. Nesses cilindros, o próprio material composto confere as características de impermeabilidade necessárias. As reduções de peso estão na mesma ordem de grandeza do cilindro que utiliza o selante plástico.

O desafio principal para este tipo de cilindro é de superar consistentemente a presença de vazamento de gás na região interfacial entre o selante e a saliência metálica, feita geralmente de liga de alumínio 6061.

A redução de peso obtida para este tipo de cilindro está entre 60 e 80%, quando comparado com os cilindros de aço.

2.3.1.5 Normalização existente

Devido a uma gama de materiais existentes para a utilização em construção de cilindros se faz necessária a criação de uma normalização, abrangendo todos os tipos de cilindros e visando a garantia de qualidade dos cilindros produzidos, aumentando a segurança do usuário. A normalização existente se baseia na experiência obtida pelos fabricantes de cilindros para gases de alta pressão. A normalização foi predominantemente criada no início da década de noventa e está voltada a exigir um produto seguro, através de ensaios de desempenho. Estão listados abaixo exemplos de normas com enfoque em cilindros existentes no mercado atual:

- **ANSI/AGA NGV - 2 - 1998 (2ª Ed.):** “*Requerimentos básicos para reservatórios para GNV*”.
- **CSA B-51 Part 2 - 1995:** “*Cilindros de alta pressão para armazenamento on-board de gás natural como combustível para veículos automotivos*”.
- **NBR 13183 - Inspeção e ensaios de cilindros de liga de alumínio sem costura para gases.**
- **NBR 13783 - Transporte e armazenamento de gás metano veicular em alta pressão - Cilindro plástico reforçado com selante não-metálico - projeto e inspeção.**
- **DOT FRP-1 - “Requerimentos básicos para cilindros Tipo 3 de PRF”.**
- **DOT - CFFC - “Cilindros de fibra de carvão e alumínio”.**
- **ISO 11439 - 2000:** “*Cilindros de gás - Cilindros de alta pressão para armazenamento de gás natural como combustível para veículos automotivos*”.

- **CGA FRP 3 - 1988:** *“Guia para cilindros bobinados em compósito com selantes com função não estrutural”.*
- **PrEn 12245 - 1999:** *“Cilindros transportáveis de gás - Cilindros totalmente envoltos em compósito”.*
- **Portaria nº 74 de 29 de maio de 2001 (MDIC - INMETRO):** *Regulamento técnico de cilindros para alta pressão para armazenamento de GNV como combustível a bordo de veículos automotores.*

Basicamente estas normas prevêm ensaios de performance em fadiga a diferentes temperaturas, ensaios de danos, exposição a ultravioleta, fluência, impacto, queda, ambientação em meios corrosivos, etc., bem como análise completa de tensões e de mecanismos de fratura.

Com o aumento do uso de cilindros leves coloca-se como tendência a utilização de cilindros de aço (Tipo 1) como cilindros estacionários, como por exemplo na utilização em padarias, condomínios ou em outros sistemas onde não é necessária e/ou possível a instalação de uma tubulação de gás natural própria.

O aumento da aceitação do sistema de gás natural veicular no Brasil, devido ao aumento da produção de gás natural e à difusão da utilização de cilindros leves, tem como uma considerável redução de poluentes na atmosfera e desvantagens as dimensões, o peso e a portabilidade do cilindro que representa o elemento de maior peso no sistema de GNV.

A normalização referente a cilindros leves ainda passa por um processo de difusão e unificação, pois, ainda se localiza pontualmente em alguns países cujo uso do gás natural como combustível é bem difundido.

O maior problema na comercialização de cilindros leves tem sido a desvalorização do Real frente às outras moedas, seguido da falta de investimento em tecnologia de fabricação e a alta quantidade de impostos em produtos importados. Como forma de proteção comercial, algumas empresas fabricantes de cilindros são temerosas em fornecer qualquer informação referente aos seus produtos.

2.3.2 Adsorção de gás natural

A adsorção do gás se dá pela retenção de moléculas de um gás ou líquido sobre a superfície de um sólido microporoso (figura 7). O comportamento da forma de retenção pode ser melhor compreendido analisando-se parâmetros de textura do adsorvente, com exemplo a área específica, o volume específico dos poros, a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros.

Os poros, de acordo com seu tamanho, são geralmente classificados em três grupos. São eles o macroporos (>50 nm), o mesoporos (2-50 nm) e os microporos (2 nm), onde se dá a retenção das moléculas do gás. A seleção dos referidos parâmetros se dá por estudos da relação da quantidade de substância adsorvida com sua pressão ou concentração na fase gasosa.

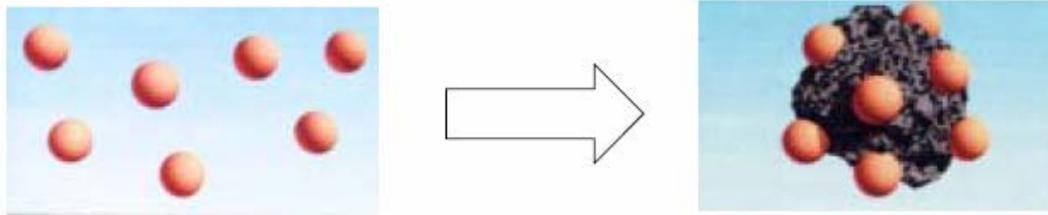


Figura 7 – Retenção de moléculas de um gás sobre um sólido micro poroso
Fonte: VILLENA, 2004

No estudo realizado por Cook & Horne (1997), foi observado que o GNA admite altas pressões, porém, a quantidade do metano adsorvido não varia muito ao passar de 4 MPa (~600 psi) (figura 8).

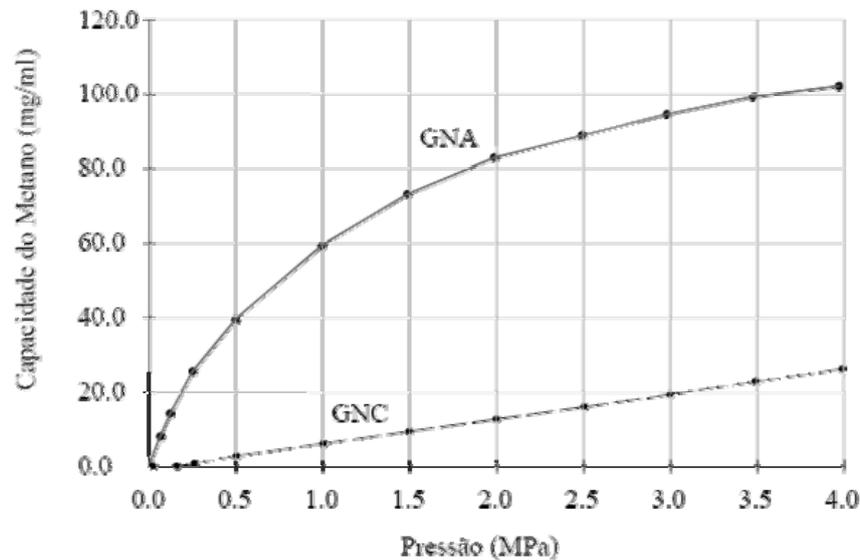


Figura 8 – Relação de retenção do metano de acordo com o método de abastecimento (Cook & Horne, 1997)

2.4 TIPOS DE USO DE GÁS NATURAL

O gás natural é usado nos segmentos automotivo, comercial, industrial e residencial. Não havendo registro do uso em embarcações fluviais.

Considerando que o segmento automotivo tem similaridade com o segmento de embarcações marítimas e fluviais no item 2.2.1 estão observadas considerações sobre o segmento automotivo.

2.4.1 Segmento automotivo

O Gás Natural Veicular (GNV) é o mesmo gás natural utilizado na indústria, residências e estabelecimentos comerciais. A única diferença é a pressão, muito superior àquela utilizada em indústrias e residências. Limpo, atóxico e não-irritante, sua queima é mais limpa que a da gasolina, do álcool e do diesel, fator que proporciona redução da emissão de poluentes na atmosfera, atendendo aos controles de poluição que são cada vez mais rigorosos.

O GNV proporciona uma economia de até 60% nos gastos com combustíveis.

Para se converter veículos ao uso do GNV são necessários equipamentos basicamente formados por:

- Conjunto de reservatórios, denominados de cilindros, para acondicionar o GNV;
- Redes de tubos de alta e baixa pressão;
- Dispositivo regulador de pressão;
- Válvula de abastecimento;
- Dispositivo de troca de combustível;
- Indicadores de condições do sistema;

O GNV ainda apresenta outras vantagens diante dos outros combustíveis:

- É mais seguro quanto ao manuseio, já que a temperatura de ignição é superior;
- O abastecimento é feito sem contato com o ar, evitando possibilidades de combustão;
- Tem menor densidade que o ar, se dissipando facilmente em caso de vazamento;
- Armazenamento em cilindros resistentes até mesmo ao impacto de projéteis de armas de fogo;
- Aumento do intervalo das trocas de óleo e das velas de ignição;
- Aumento da vida útil do motor;
- Economia de até 60% nos gastos com combustível, dependendo dos impostos cobrados e do custo de transmissão.

2.5 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DO USO DO GÁS NATURAL

O gás natural conquista uma participação cada vez maior na matriz energética brasileira. Em todo o mundo, as atenções têm se voltado para tal combustível, não somente pelo seu potencial de prover estabilidade ao sistema elétrico e mitigar o risco hidrológico (nível d'água insuficiente nos reservatórios das usinas hidroelétricas), através da operação das usinas térmicas para geração de eletricidade, mas também pelos inquestionáveis benefícios ambientais que o gás natural apresenta frente a outras opções fósseis. Benefícios esses já notoriamente

conhecidos, que são: reduções de emissões de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado e dióxido de carbono (CO₂).

A tabela 2 e a tabela 3 apresentadas pela Companhia de Gás da Bahia - BAHIAGÁS (gás natural: Benefícios Ambientais no Estado da Bahia - 2005), a seguir, sintetizam os benefícios relativos ao consumo de gás natural para uso como combustível nos anos de 1994 a 2003, em substituição ao óleo diesel, BPF, APF e outros. Conforme pode ser constatado, o gás natural praticamente não gera particulado, nem dióxido de enxofre, sendo as emissões de dióxido de carbono em média 30% menor em relação a outros combustíveis.

Tabela 2
- Benefícios ambientais do gás natural no período de 1994 a 2003.

EMISSIONES	SO₂	NO_x	PARTICULADOS	CO₂
Outros Combustíveis (1)	89.532	47.965	18.999	19.695.164
Gás Natural (2)	932	29.294	533	13.570.455
Diferença (1) – (2)	88.600	18.671	18.466	6.124.709

Unidade: tonelada
Fonte: BAHIAGÁS

Tabela 3
- Benefícios ambientais do gás natural no ano de 2003

EMISSIONES	SO₂	NO_x	PARTICULADOS	CO₂
Outros Combustíveis (1)	15.297	7.759	2.812	3.426.717
Gás Natural (2)	167	5.100	95	2.398.101
Diferença (1) – (2)	15.130	2.659	2.717	1.028.616

Unidade: tonelada
Fonte: BAHIAGÁS

2.6 ANÁLISE TERMODINÂMICA E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR DUAL (DIESEL/GÁS NATURAL)

2.6.1 Análise Termodinâmica do Ciclo do motor dual

Na definição de um ciclo termodinâmico o fluido que realiza o trabalho, sofrendo uma série de processos, deve no final do ciclo retornar ao seu estado inicial. Em um motor de combustão interna real tal fato não ocorre, embora se possa idealizar um meio pelo qual o mesmo funcione segundo um ciclo termodinâmico.

Mesmo com a diferença entre os processos que ocorrem em um motor de combustão interna e os processos de um ciclo termodinâmico, podem ser obtidas as mesmas conclusões para cada um dos sistemas:

- Para a máxima eficiência térmica, o motor de combustão interna e o ciclo termodinâmico devem operar entre a máxima e a mínima temperatura possíveis.
- Em um ciclo a adição de calor deve ser efetuada a máxima temperatura possível e em um motor de combustão interna a ignição deve iniciar na máxima temperatura realizável, reduzindo a irreversibilidade da reação química.
- Finalmente, tanto em um ciclo quanto em um motor de combustão interna, a expansão deveria prosseguir até a mínima temperatura possível.

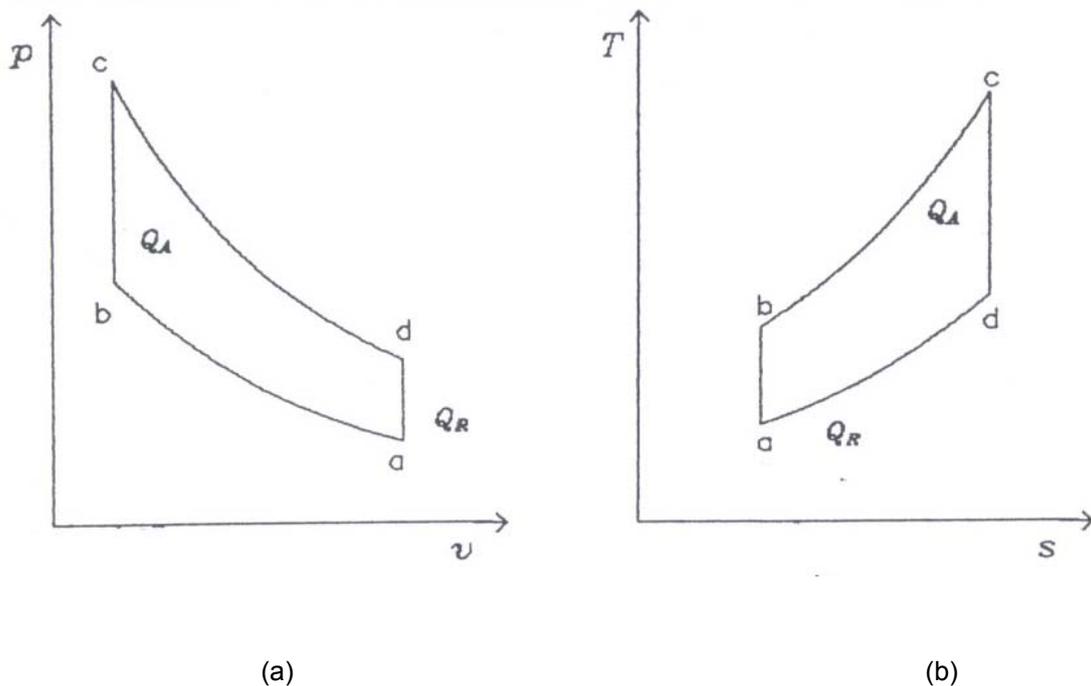
Estas semelhanças permitem a análise de um motor de combustão interna como se o mesmo operasse dentro de um ciclo, onde o processo de combustão pode ser equiparado ao de transferência de calor.

O ciclo comumente empregado é o “Ciclo Padrão-Ar”, que utiliza ar como fluido de trabalho. O calor é diretamente suprido para o ciclo ou diretamente rejeitado dele, a perda de calor é ignorada e a capacidade calorífica do ar é considerada constante. O ciclo padrão ar para motores é dividido em três tipos distintos, Otto, Diesel e Dual Diesel-GNC, que serão detalhados a seguir:

CICLO OTTO:

Este ciclo se caracteriza pelo fornecimento de calor a volume constante. Os motores que operam segundo ele são denominados motores do ciclo Otto ou motores de ignição por centelha (ICE).

Um ciclo hipotético para o ciclo Otto pode ser representado pelos diagramas “p-v” (pressão e volume) e “T-S” (temperatura absoluta e entropia), representados na figura 9a e na figura 9b, respectivamente.



(a) (b)
 Figura 9 - Ciclo padrão ar Otto.
 (a) diagrama pressão x volume; (b) diagrama temperatura absoluta x entropia.
 Fonte: BET, 1991

Com transformações parciais ocorrendo na seguinte ordem:

- (a→b) Compressão isentrópica: compressão do volume v_{ad} para v_{bc} . A pressão sobe de p_a para p_b , consumindo um trabalho L_{ab} sem que haja rejeição de calor. A temperatura sobe de T_a para T_b . No motor real ocorre a compressão da mistura ar-combustível.
- (b→c) Adição de calor isocórica: ocorre no volume v_{bc} . A pressão sobe de p_b para p_c e a temperatura de T_b para T_c . É fornecido um calor Q_A . Corresponde à ignição e combustão da mistura ar-combustível, com o pistão momentaneamente no ponto morto superior.

- (c→d) Expansão isoentrópica: expansão de v_c a v_d . Há uma queda de pressão de p_c para p_d e da temperatura de T_c para T_d . É realizado um trabalho L_{cd} sem que haja fornecimento de calor. Corresponde à expansão dos gases de combustão.
- (d→a) Rejeição de calor isocórica: ocorre no volume v_{ad} . A pressão cai de p_d para p_a e a temperatura de T_d para T_a . Um calor Q_R é rejeitado. Corresponde aos processos de descarga dos gases de combustão e de admissão da mistura fresca.

Como o poder calorífico do ar foi considerado constante, o rendimento do ciclo, que corresponde a um valor teórico para o motor Otto, pode ser determinado por:

$$\eta_{\text{OTTO}} = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{m \cdot c_v \cdot (T_d - T_a)}{m \cdot c_v \cdot (T_c - T_b)} \quad (2)$$

Fazendo-se os arranjos necessários vem:

$$\eta_{\text{OTTO}} = 1 - \frac{1}{(r)^{k-1}} \quad (3)$$

Onde: η_{OTTO} = rendimento térmico do motor Otto;
 r = taxa de compressão (v_a/v_b ou v_d/v_c);
 k = relação entre os calores específicos (c_p/c_v).

CICLO DIESEL:

Neste ciclo o calor é fornecido a pressão constante. Os motores que operam segundo ele são denominados motores do ciclo Diesel ou motores de ignição por compressão (ICO).

O ciclo hipotético para o motor Diesel pode ser representado pelos diagramas “pv” e “TS”, representados na figura 10a e na figura 10b, respectivamente:

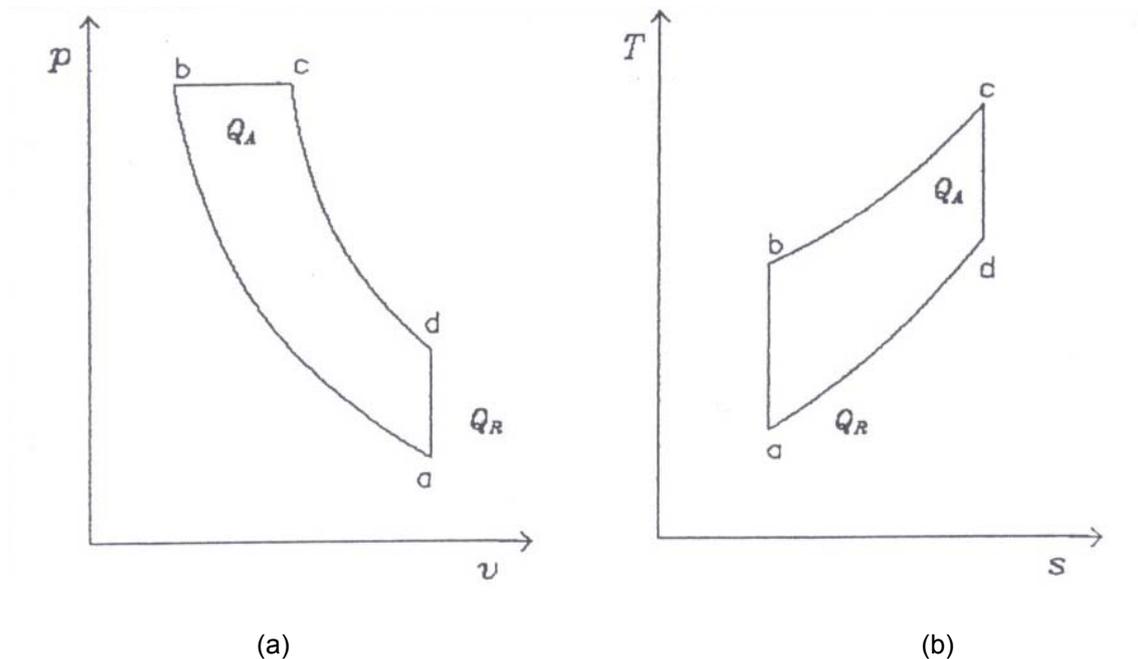


Figura 10 - Ciclo padrão ar Diesel.
 (a) diagrama pressão x volume; (b) diagrama temperatura absoluta x entropia.
 Fonte: BET, 1991

- (a→b) Compressão isentrópica: compressão do volume v_{ad} para v_b . A pressão aumenta de p_a para p_b , consumindo trabalho L_{ab} sem que haja rejeição de calor. A temperatura sobe de T_a para T_b . No motor real ocorre a compressão do ar admitido. A T_b deve ser superior a de auto-ignição do combustível diesel.
- (b→c) Adição de calor isobárica: ocorre na pressão p_{bc} . Há uma expansão de v_b para v_c em conjunto com o fornecimento de calor Q_A que deve ser suficiente para manter a pressão constante. A temperatura aumenta de T_b para T_c . Corresponde ao período de injeção de combustível diesel e subsequente ignição e combustão da mistura ar-combustível.

(c→d) Expansão isoentrópica: expansão de v_c a v_d . Há uma queda de pressão de p_c para p_d e da temperatura de T_c para T_d . É realizado um trabalho L_{cd} sem que haja fornecimento de calor. Corresponde à expansão dos gases de combustão.

(d→a) Rejeição de calor isocórica: ocorre no volume v_{ad} . A pressão cai de p_d para p_a e a temperatura de T_d para T_a . Um calor Q_R é rejeitado. Corresponde aos processos de descarga dos gases de combustão e de admissão de ar.

Valendo as mesmas observações adotadas para o ciclo Otto, o rendimento térmico teórico para o motor do ciclo Diesel, pode ser determinado por:

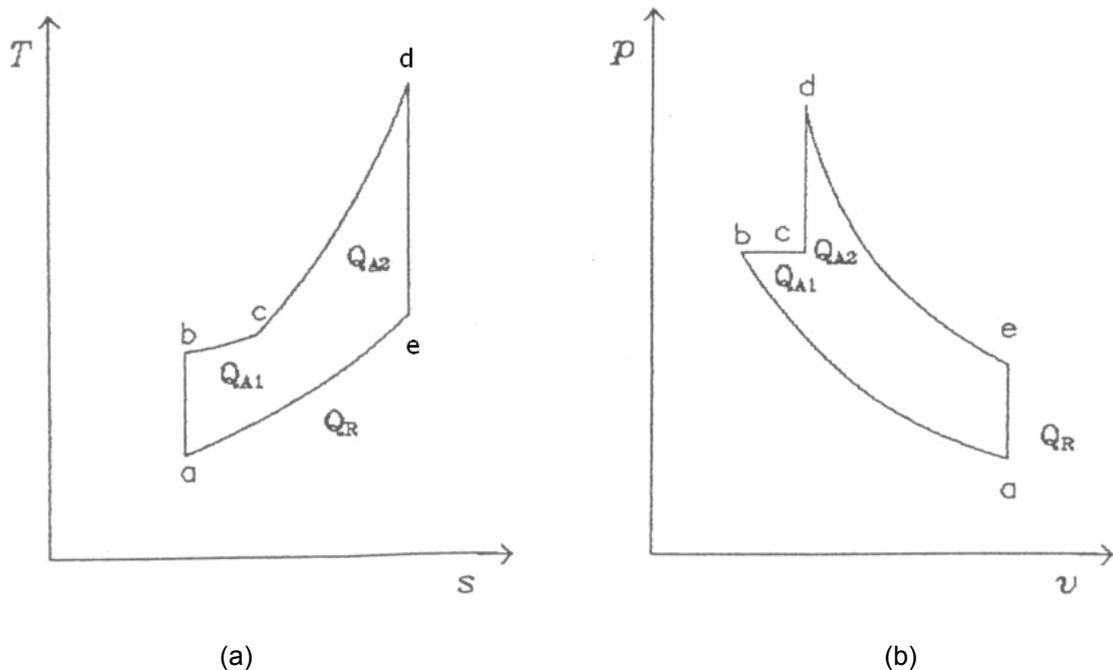
$$\eta_{tt\text{Diesel}} = 1 - \frac{1}{k \cdot (r)^{k-1}} \cdot \left(\frac{\varphi^k - 1}{\varphi - 1} \right) \quad (4)$$

Onde: $\eta_{tt\text{Diesel}}$ = rendimento térmico teórico do motor Diesel;
 k = relação entre os calores específicos (c_p/c_v);
 φ = taxa de expansão a pressão constante (v_c/v_b)

CICLO DO MOTOR DUAL DIESEL-GNC

No motor dual Diesel-GNC um jato piloto de diesel inicia a combustão de uma mistura Ar-GNC previamente comprimida e aquecida. O processo se inicia como no motor ICO, com fornecimento de calor a pressão constante. Depois de se iniciar a combustão da mistura o processo segue como no motor ICE, com fornecimento de calor a volume constante. Como a porção de diesel injetada é muito pequena em relação à mistura Ar-GNC admitida, o motor se comporta essencialmente como um motor ICE. Uma análise do ciclo teórico para um motor Dual permite verificar as tendências do seu comportamento.

Um ciclo hipotético para o motor Dual pode ser representado pelos diagramas “pv” e “Ts” da figura 11a e da figura 11b respectivamente.



(a) (b)
 Figura 11 - Ciclo ar Dual Diesel-GNC.
 (a) diagrama pressão x volume; (b) Diagrama temperatura absoluta x entropia.
 Fonte: BET, 1991

Com transformações parciais ocorrendo na seguinte ordem:

- (a→b) Compressão isentrópica: compressão do volume v_a para v_b . A pressão aumenta de p_a para p_b , consumindo um trabalho L_{ab} sem que haja rejeição de calor. A temperatura aumenta de T_a para T_b . No motor real corresponde à compressão da mistura Ar-GNC, até uma temperatura superior à auto-ignição do diesel.
- (b→c) Adição de calor isobárico: ocorre na pressão p_{bc} . Há uma expansão

de v_b para v_c em conjunto com o fornecimento de calor Q_{A1} , que deve ser suficiente para manter a pressão constante. A temperatura sobe de T_b para T_c . Corresponde ao período de injeção de combustível diesel e subsequente ignição e combustão da mistura Ar-GNC-Diesel.

(c→d) Adição de calor isocórica: ocorre no volume v_{cd} . A pressão aumenta de p_c para p_d e a temperatura de T_c para T_d . É fornecido calor Q_{A2} . Neste ponto todo o diesel do jato piloto já foi consumido e o processo segue como um motor ICE, com a combustão da mistura Ar-GNC.

(d→e) Expansão isoentrópica: expansão de v_d a v_e . Há uma queda de pressão de p_d para p_e e da temperatura de T_d para T_e . É realizado um trabalho L_{de} sem que haja fornecimento de calor. Corresponde à expansão dos gases de combustão.

(e→a) Rejeição de calor isocórica: ocorre no volume v_{de} . A pressão cai de p_e para p_a e a temperatura de T_e para T_a . Calor Q_R é rejeitado. Corresponde aos processos de descarga dos gases de combustão e de admissão da mistura fresca.

Valendo as mesmas observações adotadas para o ciclo Otto e para o ciclo Diesel, o rendimento térmico teórico para o motor Dual, pode ser determinado por:

$$\eta_{\text{ttDUAL}} = \frac{Q_{A1} + Q_{A2} - Q_R}{Q_{A1} + Q_{A2}} = \frac{m \cdot c_v \cdot (T_e - T_a)}{m \cdot c_p \cdot (T_c - T_b) + m \cdot c_v \cdot (T_d - T_c)} \quad (5)$$

Reagrupando as temperaturas e fazendo as transformações necessárias vem:

$$\eta_{\text{ttDUAL}} = 1 - \frac{\frac{T_d}{T_c} \left(\frac{T_c}{T_b} \right)^k - 1}{\frac{T_b}{T_a} \left[k \left(\frac{T_c}{T_b} - 1 \right) + \frac{T_c}{T_b} \left(\frac{T_d}{T_c} - 1 \right) \right]} \quad (6)$$

onde: $T_b/T_a = (r)^{k-1}$ e $T_c/T_b = v_c/v_b = \phi$
definindo: $T_d/T_c = p_d/p_c = \lambda$,

vem:

$$\eta_{\text{ttDUAL}} = 1 - \left[\frac{1}{(r)^{k-1}} \right] \left[\frac{\lambda \cdot \varphi^k - 1}{k(\varphi - 1) + \varphi(\lambda - 1)} \right] \quad (7)$$

onde: η_{ttDUAL} = rendimento térmico teórico do motor Dual;

k = relação entre os calores específicos (C_p/C_v);

r = taxa de compressão (v_a/v_b);

λ = aumento de pressão a volume constante (p_d/p_c).

Uma análise da figura 11 mostra que quanto menor for o jato piloto, em termos de massa e de tempo de injeção, mais o ciclo do motor Dual se aproxima do ciclo Otto. O trecho “bc” dos diagramas “pv” e “Ts” tende a diminuir com a redução do jato piloto. De fato com o encurtamento do trecho “bc” o valor de φ (taxa de expansão a volume constante) tende a se aproximar da unidade, levando a expressão do rendimento térmico obtida em 3 a se aproximar da obtida em 1. Como dito anteriormente o comportamento de um motor Dual com um jato piloto bem reduzido pode ser considerado essencialmente como o de um ciclo Otto.

Embora vários fatores influam no rendimento térmico pode-se fazer um a comparação entre os ciclos vistos, bastando para tal tomar uma única base de análise por vez. Por exemplo:

- Para a mesma razão de compressão e admissão de calor, tem-se:

$$\eta_{\text{ttOTTO}} > \eta_{\text{ttDUAL}} > \eta_{\text{ttDIESEL}}$$

- Para a mesma pressão máxima e admissão de calor, tem-se:

$$\eta_{\text{ttDIESEL}} > \eta_{\text{ttDUAL}} > \eta_{\text{ttOTTO}}$$

- Para a mesma pressão máxima e trabalho máximo fornecido, tem-se:

$$\eta_{\text{ttDIESEL}} > \eta_{\text{ttDUAL}} > \eta_{\text{ttOTTO}}$$

- Para a mesma pressão máxima e temperatura máxima, tem-se:

$$\eta_{\text{ttDIESEL}} > \eta_{\text{ttDUAL}} > \eta_{\text{ttOTTO}}$$

Estas comparações fornecem dados de grande importância, pois um dos principais fatores limitantes construtivos de um motor é a sua pressão máxima.

Deve ser observado que a comparação em termos de mesma razão de compressão não fornece dados de grande valia, uma vez que o motor Diesel e o Dual Diesel-GNC trabalham com taxas muito superiores à dos motores do ciclo Otto.

COMBUSTÃO NO MOTOR DUAL DIESEL-GNC

Processo de Combustão Normal (sem detonação) em um motor Dual Diesel-GNC.

O processo de combustão em um motor Dual apresenta maior complexidade, na medida em que somam os aspectos característicos pertinentes ao ciclo Otto e Diesel. Seu sistema de combustão se caracteriza essencialmente pela compressão rápida de uma mistura ar-gás em uma condição inferior à de auto-ignição. Tal mistura entra em ignição pela injeção de jato piloto de um combustível líquido, de baixa temperatura de auto-ignição, próximo ao ponto morto superior do pistão. O combustível primário é gasoso à temperatura ambiente e controla a potência desenvolvida. O combustível piloto, que é injetado através de um sistema de injeção diesel convencional, contribui com uma pequena fração de potência desenvolvida.

Embora funcionando com um fornecimento contínuo de gás, o motor Dual, para possuir uma boa flexibilidade, deve ser capaz de ser revertido do sistema Dual para o Diesel e vice-versa sem que haja necessidade de interromper a geração de potência. Esta desejável reversibilidade torna mais complexa as condições de combustão do mesmo.

São dois os principais problemas envolvendo a combustão em motores Duais a gás:

- Queima incompleta do combustível gasoso, em misturas pobres nas cargas mais leves;
- Mudança do regime de deflagração para o de detonação.

Pode, porém, mas dificilmente, ocorrer falha na combustão do combustível gasoso por efeito de uma mistura excessivamente rica, figura 17. Isto impõe limites à operação destes motores com um bom rendimento.

A ignição da mistura ar-gás no motor Dual se inicia com a ignição do jato piloto e uma descrição deste processo se torna importante. A “atmosfera” em torno de qualquer gotícula de evaporação nas bordas do jato principal de um motor Dual é uma mistura variada de combustível gasoso e vapor do combustível líquido, em diferentes proporções com o ar. Aumentando-se as distâncias a partir destes centros, a concentração de vapor é significativamente reduzida e as temperaturas tendem a aumentar na direção da carga principal. A ignição ocorre inicialmente onde a taxa de reação global é maior, e será governada principalmente pelas concentrações relativas de vapor de diesel piloto e do combustível gasoso e também pela temperatura local e suas variações com o tempo. Se as condições forem desfavoráveis e produzirem um atraso muito longo, poderão ocorrer falhas. Além disso, observa-se que com uma pressão de injeção muito alta e uma quantidade muito pequena de jato piloto, pode-se perder completamente a ignição, mesmo com uma mistura estequiometricamente correta. Isto se deve à rápida dispersão do vapor do jato piloto antes das reações estarem aceleradas até o ponto de auto-ignição.

A presença de combustível gasoso influencia de maneira complexa os processos de combustão e fatores tais como a riqueza da mistura ar-gás e as características do jato piloto são determinantes para a compreensão dos fenômenos envolvidos.

Uma análise dos gases de escapamento de um motor Dual normalmente indica que uma apreciável proporção de combustível gasoso pode resistir ao processo de combustão, quando a alimentação se processa bem acima, ou abaixo, dos limites de concentração. Estes limites, os quais são muito relacionados com os limites de inflamabilidade da mistura, é função do combustível e das condições de operação (carga, rotação e temperatura de admissão principalmente). O limite inferior de concentração das misturas ar-gás, quando submetida às condições de funcionamento do motor, parece concordar razoavelmente com valores extrapolados dos limites de inflamabilidade. Por outro lado, o limite superior ou limite de riqueza da mistura para ocorrência de falha de ignição, é muitíssimo abaixo do limite superior de inflamabilidade, mesmo quando este último é calculado somente em função das condições ambientes de temperatura e de pressão. Acredita-se que isto ocorra em função de uma falha na ignição do jato piloto de diesel, visto que a potência desenvolvida no limiar das falhas do motor, embora muito irregular, é bastante alta, indicando que a combustão está ainda procedendo a uma proporção

razoável. Por sorte, na maioria das aplicações práticas não é necessário se operar com misturas excessivamente ricas ou pobres. Para o funcionamento em vazio ou em carga mais leves pode-se, inclusive, utilizar-se diesel puro (Bet, 1991).

A utilização de misturas gasosas pobres em motores Duais leva a um aumento da emissão de monóxido de carbono a índices várias vezes superiores ao normalmente observados em motores Diesel, trabalhando nas mesmas condições de carga. Nota-se também que a densidade de fuligem emitida por um motor Dual é muito menor ao correspondente Diesel, embora ela apresente uma tendência de aumentar com a concentração de CO, como representado na figura 12.

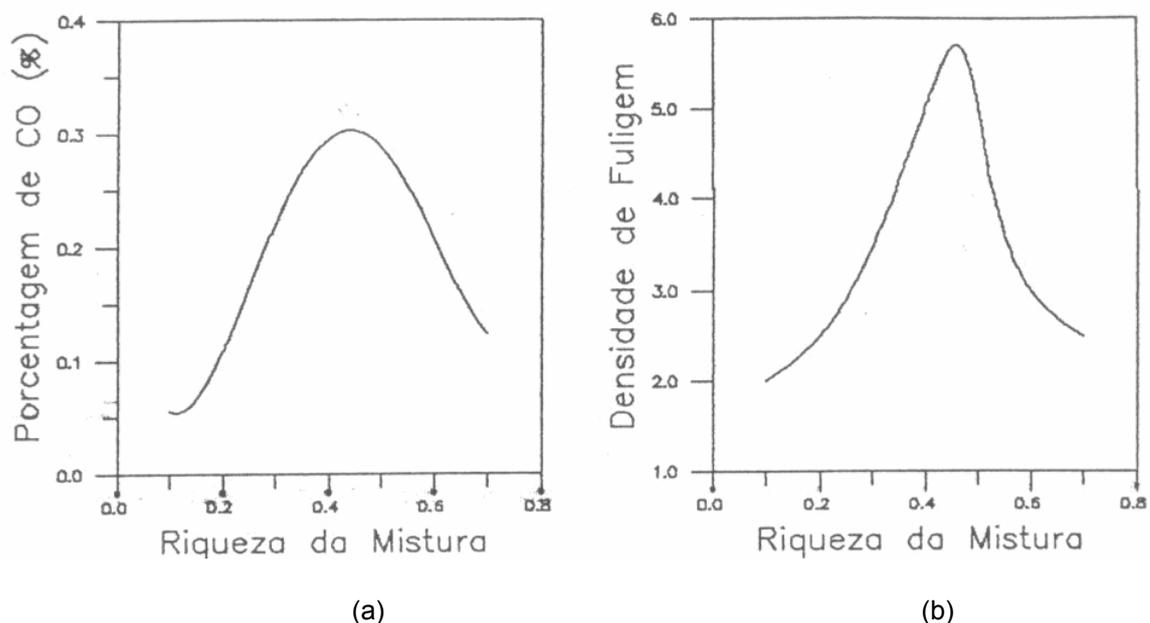


Figura 12 - Variação da composição do gás de escapamento de um motor Dual em função da riqueza global da mistura (ar-gás-diesel piloto).

(a) % CO; (b) densidade da fumaça em unidades Hartdridge. Motor a 1000 rpm, metano como combustível principal, 0,2277 kg/h de jato piloto a 18° APMS e admissão à temperatura ambiente.

Fonte: BET, 1991

Este fenômeno pode ser explicado por uma hipótese razoável, apoiada em evidências experimentais: em misturas gasosas pobres a propagação da frente de chama a partir de vários centros de ignição não se estende para todas as partes do cilindro, e mesmo que o combustível gasoso esteja homogeneamente dispersado, parte dele permanecerá inalterado, aumentando a emissão de CO. Por outro lado, quando as concentrações de combustível gasoso atingirem certas faixas limitantes superiores, estas frentes de chama varrerão todas as partes da mistura com uma taxa de liberação de calor muito alta e com uma queima mais completa, diminuindo a

emissão de CO, mas também ocorre um correspondente aumento de pressão e de temperatura que poderá levar à detonação.

O uso de combustíveis gasosos com misturas muito pobres levará a um maior consumo específico da mistura como um todo, jato piloto de diesel e carga de gás, em relação ao obtido com o uso de diesel puro. Uma utilização mais eficiente do combustível gasoso poderá melhorar o aproveitamento até um ponto que supere os valores obtidos com diesel, como mostra a figura 13:

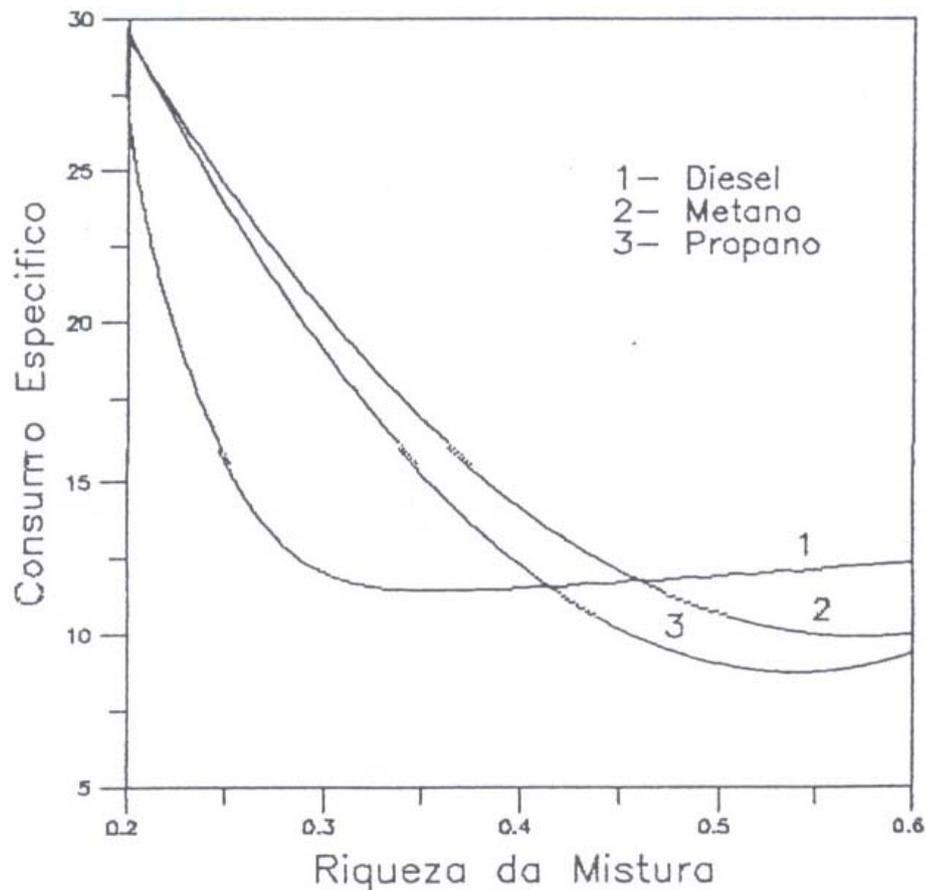


Figura 13 - Variação do consumo específico em função da riqueza da mistura para um motor Dual. (1) diesel, (2) metano, (3) propano. Temperatura de admissão 0° C e jato piloto de 0,4 kg/h a 20° APMS.
Fonte: BET, 1991

Para motores Duais em cargas muito leves a tendência de falha de combustão se acentua pela incidência de fatores tais como baixas temperaturas, baixas pressões, mistura ar-gás pobre e jato piloto deficiente. A operação Dual normal (sem falha de combustão) em cargas parciais, com qualquer combustível

gasoso pode ser melhorada levando a fronteira limite inferior de riqueza da mistura para concentrações mais fracas. Isto pode ser obtido efetivamente por:

- 1) Uso de uma grande quantidade de jato piloto. Isto aumentará a atividade das operações de oxidação parciais pelo aumento da temperatura da mistura, proporcionando uma maior multiplicação de centros de ignição e uma zona de combustão mais extensa. Em altas cargas pode-se reduzir a quantidade de jato piloto, visto que é obtida uma boa utilização do combustível, quase que independentemente da quantidade de jato piloto, como mostra a figura 14.
- 2) Uso da menor pressão de abertura do injetor, levando-se em conta a operação satisfatória com combustível líquido puro. Avanço da injeção, aumentando o tempo de permanência e de atividade das reações parciais de oxidação.
- 3) Pré-aquecimento da mistura ar-gás proporcionando temperaturas maiores do que aquelas atingidas com a admissão a temperatura ambiente. Isto diminui a percentagem de gás não queimado. Em plena carga este aquecimento pode provocar detonação e queda da eficiência volumétrica.

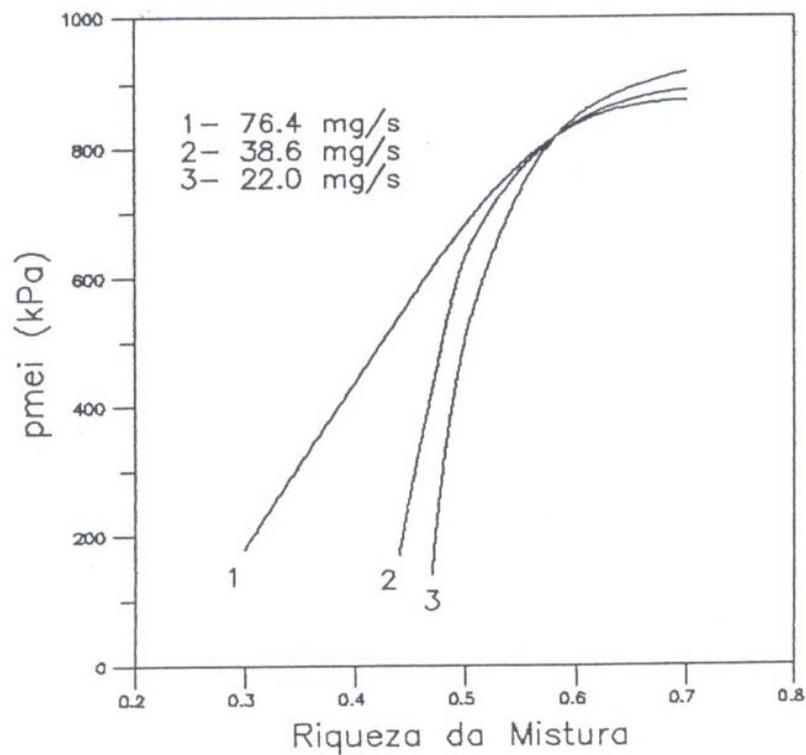


Figura 14 - Variação típica da potência desenvolvida, em termos de pressão média efetiva, em função da riqueza da mistura e da quantidade de jato piloto. Uso de metano como combustível principal, temperatura de admissão de 30° C, injeção de diesel a 18° APMS e rotação de 1000 rpm.
Fonte: BET, 1991

Pode-se também, obter uma melhora do funcionamento em cargas parciais pela restrição parcial do ar da carga, a fim de produzir uma mistura efetivamente mais rica para a mesma quantidade de adição de combustível gasoso. Entretanto, deve-se tomar cuidado porque a ignição do jato piloto neste caso não é enfraquecida. Uma combustão equilibrada de aquecimento da mistura com redução parcial do ar da carga pode ser particularmente eficiente.

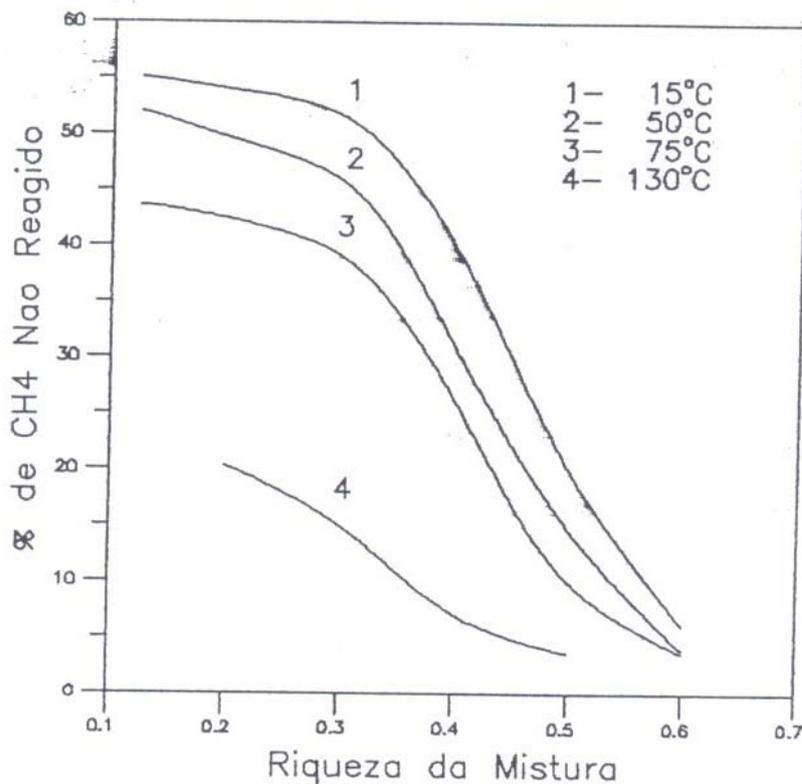


Figura 15 - Percentagem de metano não reagido aparecendo nos gases de escape para diferentes temperaturas de admissão. Jato piloto de 0,227 kg/h a 18° APMS e 1000 rpm.

Outro elemento importante no processo de combustão no motor Dual é o jato piloto de diesel, pois apesar do gás ser o elemento responsável pela potência desenvolvida ele só entra em ignição pela existência do primeiro. A injeção do jato piloto deve ser reduzida, minimizando o consumo de diesel, sendo que esta diminuição não deve ir além de um valor otimizado, pois a razão ar-gás se tornará insuficiente, devido à existência de uma fonte de ignição muito fraca. Além disso, pequenas quantidades de jato piloto são muito difíceis de serem controladas com os sistemas convencionais de injeção e devem, portanto, ser determinadas em função da eficiência dos injetores e da bomba como um todo. Um aumento de velocidade melhora a eficiência da bomba, e, por conseguinte, da quantidade de combustível injetada e da uniformidade da distribuição da injeção cilindro a cilindro. Em velocidades muito baixas a eficiência atinge um valor mínimo e a não uniformidade de distribuição um valor máximo. Como são atingidas reduções da ordem de 70% do valor da injeção de diesel com o motor em marcha lenta, fica claro o motivo de não se ter uma boa eficiência da bomba injetora. Observa-se que a qualidade das gotas pulverizadas do combustível injetado cai rapidamente a baixas velocidades e com pequenas quantidades injetadas.

Pode-se concluir que a injeção de combustível no motor Dual deve ser controlada para fornecer valores decrescentes com o aumento da velocidade. O resultado é que em baixas velocidades a quantidade de jato piloto deve ser grande o suficiente para garantir a ignição e correspondente combustão adequadas. Em altas rotações ela deverá ser mantida em um valor mínimo associado à máxima redução do consumo de diesel.

Existem motores Duais comerciais com uma redução da injeção de diesel da ordem de 95%. Com bombas injetoras novas pode-se atingir este nível, mas bombas usadas não mais permitirão uma injeção eficiente. Alguns motores possuem uma bomba para cada versão de funcionamento: uma para o diesel puro outra para diesel-gás. Outras possuem uma bomba com “pistão dual”. Tais bombas possuem um pistão para injeção piloto flexivelmente acoplado ao pistão principal. Quando no funcionamento Dual somente o primeiro atua e funcionamento Diesel os dois trabalham juntos.

O desenvolvimento do jato piloto também pode influir no processo de combustão. Suas principais características são: a penetração e a distância de dispersão. A primeira diz respeito à distância que o jato penetra na mistura da câmara de combustão e a segunda à distância entre o orifício do bico injetor e o ponto onde o jato começa a se dispersar em forma de “chuveiro”. Dos fatores que neles influem, o que merece destaque no motor Dual é a densidade da mistura na câmara de compressão, que diminui em relação ao diesel puro, pois a mistura ar-gás possui menor densidade que o ar puro. Isto poderá causar: um aumento na distância de dispersão, uma diminuição no ângulo de cone do chuveiro de combustível e uma maior penetração média das partículas individuais do jato piloto. Estas características particulares surtirão efeito no processo de ignição do jato piloto e da mistura ar-gás.

A ignição do jato piloto também sofre influência da concentração de combustível. Aumentando-se a riqueza da mistura, aumenta-se o atraso de ignição do jato piloto. Isto ocorre até um valor limite a partir do qual o enriquecimento adicional diminuirá o atraso, como mostra figura 16:

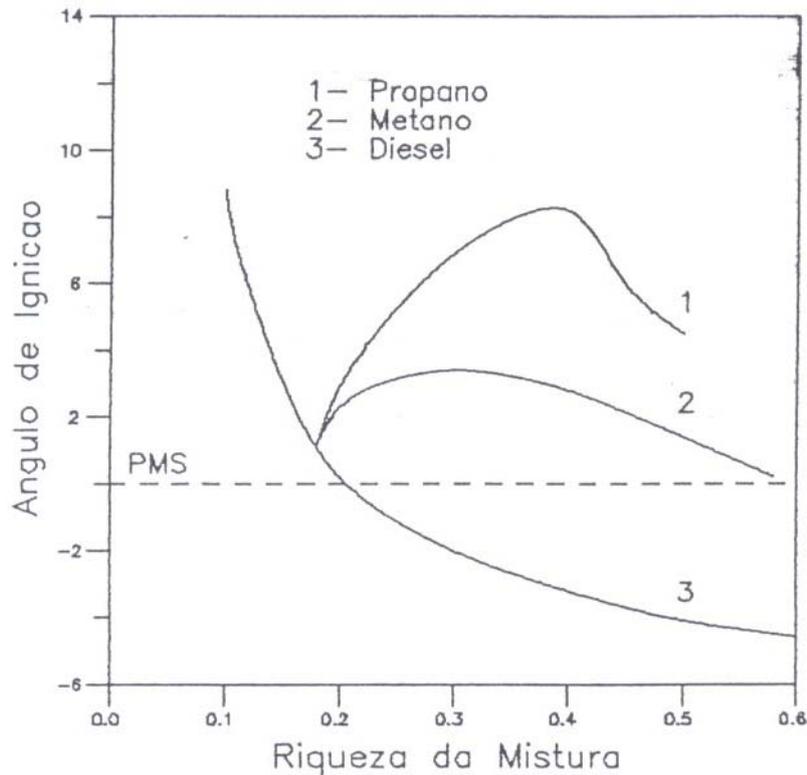
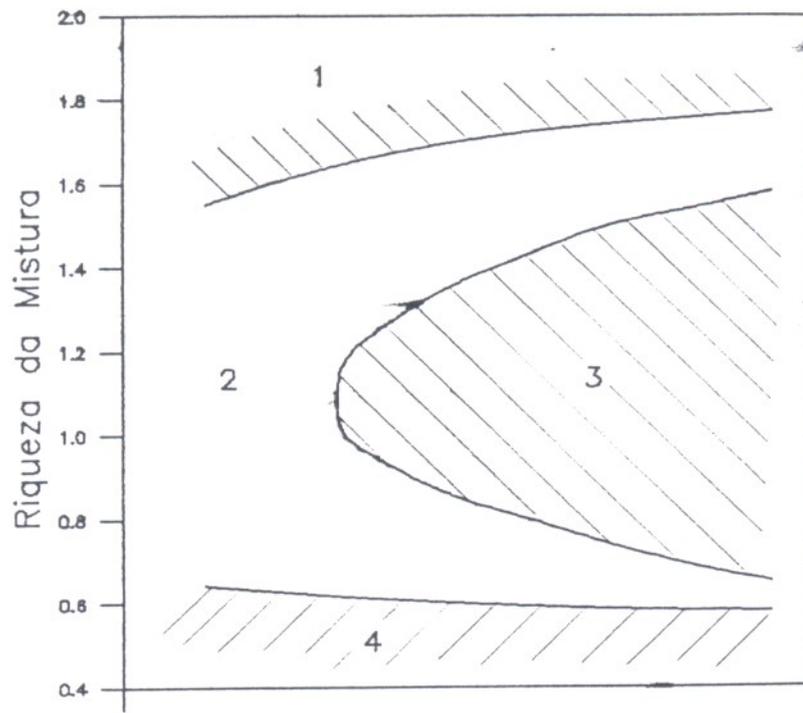


Figura 16 - Comparação entre os atrasos de ignição do jato piloto em função da riqueza global da mistura. (1) Propano, (2) Metano e (3) Diesel. Temperatura de admissão a 0° C, jato piloto de 0,4 kg/h a 20° APMS.

Este aumento do atraso supera aquele causado pela redução parcial do oxigênio com a adição de combustível gasoso ou pela redução da temperatura da carga próxima ao ponto morto superior, como resultado do seu maior calor específico global. O combustível gasoso deve participar ativamente, e de uma maneira desconhecida, no processo químico de pré-ignição do jato piloto para lhe causar estas variações no atraso da ignição. Isto leva a necessidade do adiantamento do ponto de injeção como fator de compensação. Deve-se, porém, ajusta-lo tomando por referência dados experimentais que permitem manter a desejável reversibilidade do motor.



Avanço do jato piloto: **umentando**
 Taxa de compressão: **umentado**
 Temperatura de admissão: **umentado**
 Carga do motor: **umentando**
 Resistência do combustível à detonação: **diminuindo**

- 1 - Região de falha por mistura rica;
- 2 - Região de combustão estável;
- 3 - Região de detonação;
- 4 - Região de falha por mistura pobre.

Figura 17 - Tendências nas características de combustão de um motor Dual para variações no avanço do jato piloto, na taxa de compressão, na temperatura de admissão, na carga do motor e na resistência à detonação do combustível. Análise feita em termos de riqueza da mistura ar-gás.

Para facilitar a análise da combustão no motor Dual, podemos traçar uma semelhança do seu comportamento com o motor Otto e comentar as técnicas experimentais de estudo.

Em termos teóricos de queima de combustível, podemos fazer algumas comparações entre o motor Dual e o Otto com ignição por centelha. Cada gotícula de diesel do jato piloto se comporta como uma centelha ou como uma “semente de chama”, submetida a uma série de fenômenos que tornam o processo totalmente transiente, dificultando sobremaneira medições precisas. Ainda não se dispõe de um método para uma análise quantitativa da combustão em motores de combustão

interna, o que dificulta a geração de um método confiável de previsão de comportamento, mesmo com os recentes avanços das técnicas de modelagem matemática e de diagnose. A propagação da chama tem sido observada há muito tempo com técnicas de fotografias a alta velocidade, fornecendo grande quantidade de dados qualitativos, que no entanto, não fornecem resultados tridimensionais. Embora se possam medir pressões com grande precisão o mesmo não ocorre para a taxa de queima de massa e para a perda de calor em regime transiente. A velocidade instantânea da chama também é difícil de medir devido a não uniformidade da frente de chama. A estrutura da chama turbulenta tem sido muito estudada, pois está diretamente relacionada com a modelagem da combustão. Embora algumas técnicas experimentais tenham dado detalhes importantes da zona de combustão, a propagação da chama ainda não está bem entendida. Apesar do grande número de investigações feitas na estrutura da chama turbulentas pré-misturadas abertas, não se pode transportar os resultados para as chamas de motores de combustão interna uma vez que existem grandes diferenças nas condições de fluxo e de mistura.

2.6.2 Princípios de funcionamento do motor diesel com substituição parcial pelo gás natural

Aplicações comerciais pioneiras empregando combustíveis gasosos em motores do ciclo diesel remontam a 1935. Durante a segunda guerra mundial usaram-se misturas de gás de carvão, biogás, metano e gasolina de baixa qualidade em forma de vapor gaseificado, em motores diesel, para uma grande variedade de aplicações. Após a guerra o interesse em tais aplicações flutuou dependendo do custo relativo de tais combustíveis em relação ao do tradicional. O motor diesel/gás pode ser definido como um que opera consumindo, simultaneamente, gás natural e óleo diesel como combustíveis, mas nunca somente o gás natural e sim integralmente óleo diesel. Diferentemente do que acontece no motor diesel tradicional, onde apenas ar é admitido nos cilindros, motores operando no modo bi-combustível admitem uma mistura de ar e gás natural. Pelo fato do gás natural ser composto quase que exclusivamente de metano, hidrocarboneto de alto número de

octana, a mistura é capaz de resistir a taxas de compressão elevadas como as empregadas nos motores diesel, sem que ocorra a detonação. Nos instantes finais da compressão da mistura ar-gás natural ocorre a injeção de óleo diesel. O combustível pulverizado se inflama ao entrar em contato com os gases aquecidos no interior do cilindro, exatamente da mesma maneira como ocorre durante a operação de um motor com ignição por compressão tradicional. A combustão, iniciada com o óleo diesel, se propaga então pelo restante da carga do cilindro consumindo, assim, a mistura ar-gás natural. Os processos de expansão e exaustão dos produtos da combustão ocorrem como no motor tradicional. A diferença fundamental entre o motor por compressão tradicional e o operando no modo diesel-gás está na quantidade de óleo diesel injetado. No motor operando da forma tradicional toda liberação de energia provém unicamente da combustão do óleo injetado no cilindro. Já no motor diesel/gás, grande parte da energia de combustão provém da queima do gás. Apenas uma pequena injeção de diesel se faz necessária para a ignição da mistura ar-gás natural. Alguns afirmam que, sob condições favoráveis, pode-se operar motores bi-combustível com o gás correspondendo a até 90% do total de combustíveis consumidos. Taxas de substituição normalmente verificadas dificilmente ultrapassam o patamar de 70-80%.

2.7 JUSTIFICATIVA DA OPERACIONALIDADE DO MOTOR DUAL DIESEL/GÁS NATURAL COMPRIMIDO

Este item do trabalho de Pereira, R. H, Braga, S. L. e Braga C. V. M., **“Substituição Parcial do Óleo diesel pelo gás natural em Motores – Atratividade da Tecnologia e sua Avaliação Experimental”**, descrito a seguir, tem a finalidade de demonstrar que é possível a substituição parcial por gás natural em motores que funcionam consumindo óleo diesel.



Figura 18 - Vista do Aparato Experimental

A figura 18 fornece tanto uma vista geral do dinamômetro de bancada empregado nos testes realizados na PUC-Rio, como o aspecto do motor ensaiado no modo diesel/gás.

Dados técnicos do aparato experimental:

Motor: Fabricante MWM Motores diesel, 145 CV a 2600 RPM.

Dinamômetro: Fabricante AVL, modelo Alpha 240. É um dinamômetro de bancada capaz de testar motores de até 320CV.

Anomalias observadas em função das cargas de gás:

Baixas cargas: com baixo consumo de gás o motor apresenta falha na ignição de cilindros e o correspondente funcionamento instável do motor, como se este estivesse a ponto de parar de funcionar.

Cargas elevadas: gás em demasia (alta taxa de substituição diesel/gás), levava ao funcionamento do motor com elevado ruído e vibração. Muito provavelmente, estes eram resultados de combustão anômala nos cilindros, onde deveria estar ocorrendo à detonação.

2.7.1 Redução e análise dos resultados no trabalho de Pereira, R. H, Braga, S. L. e Braga C. V. M.

A determinação das variáveis de interesse foi possível em função das medidas de rotação, torque, particulados, consumo de combustíveis e temperatura dos gases no escapamento:

Potência = Produto do torque T, pela rotação ω (rd/s)

$$P = T \cdot \omega \quad (8)$$

Taxa de Substituição diesel/gás ($T_{D/G}$) = Razão entre o calor obtido da combustão do gás natural pelo calor total obtido da combustão dos dois energéticos fornecidos (diesel + gás):

$$T_{D/G} = \frac{\dot{m}_{\text{gás}} \cdot \text{PCI}_{\text{gás}}}{\dot{m}_{\text{gás}} \cdot \text{PCI}_{\text{gás}} + \dot{m}_{\text{Diesel}} \cdot \text{PCI}_{\text{Diesel}}} \quad (9)$$

$\text{PCI}_{\text{Diesel}}$ (Poder Calorífico Inferior do Diesel);

$\text{PCI}_{\text{gás}}$ (Poder Calorífico Inferior do gás natural);

Rendimento Térmico (η_T) = Razão entre a potência líquida (potência no freio), obtida no volante do motor e o calor total obtido pela combustão dos combustíveis diesel e gás natural:

$$\eta_T = \frac{T \cdot \omega}{\dot{m}_{\text{gás}} \cdot \text{PCI}_{\text{gás}} + \dot{m}_{\text{Diesel}} \cdot \text{PCI}_{\text{Diesel}}} \quad (10)$$

sendo $\dot{m}_{\text{gás}}$ e \dot{m}_{Diesel} os consumos (kg/s) de gás natural e diesel, respectivamente.

2.7.2 Gráficos

O Gráfico 1 retrata os pontos experimentais levantados a 1800rpm e nela verificamos que o rendimento térmico a plena carga aumenta, de 33,7% funcionando apenas com diesel, para 36,7% a 80% de taxa de substituição diesel/gás. Correspondendo a um aumento de 8,9% no rendimento térmico. Em baixas cargas o rendimento térmico cai substancialmente com a taxa de substituição. Na curva correspondente a 16,9 CV (14,4% da plena carga), o rendimento térmico cai de 23% verificado na operação apenas com diesel para cerca de 13,5% a 78% de substituição diesel/gás. Isto corresponde a uma redução de 37,4% no rendimento do motor.

É importante observar que o rendimento térmico do motor 100% diesel permanece quase inalterado para cargas acima de 50% da máxima. Isto também se verifica no funcionamento diesel/gás, mesmo a taxas de substituição de diesel por gás tão elevadas quanto 90%, em potência superior a cerca de 70% da plena carga.

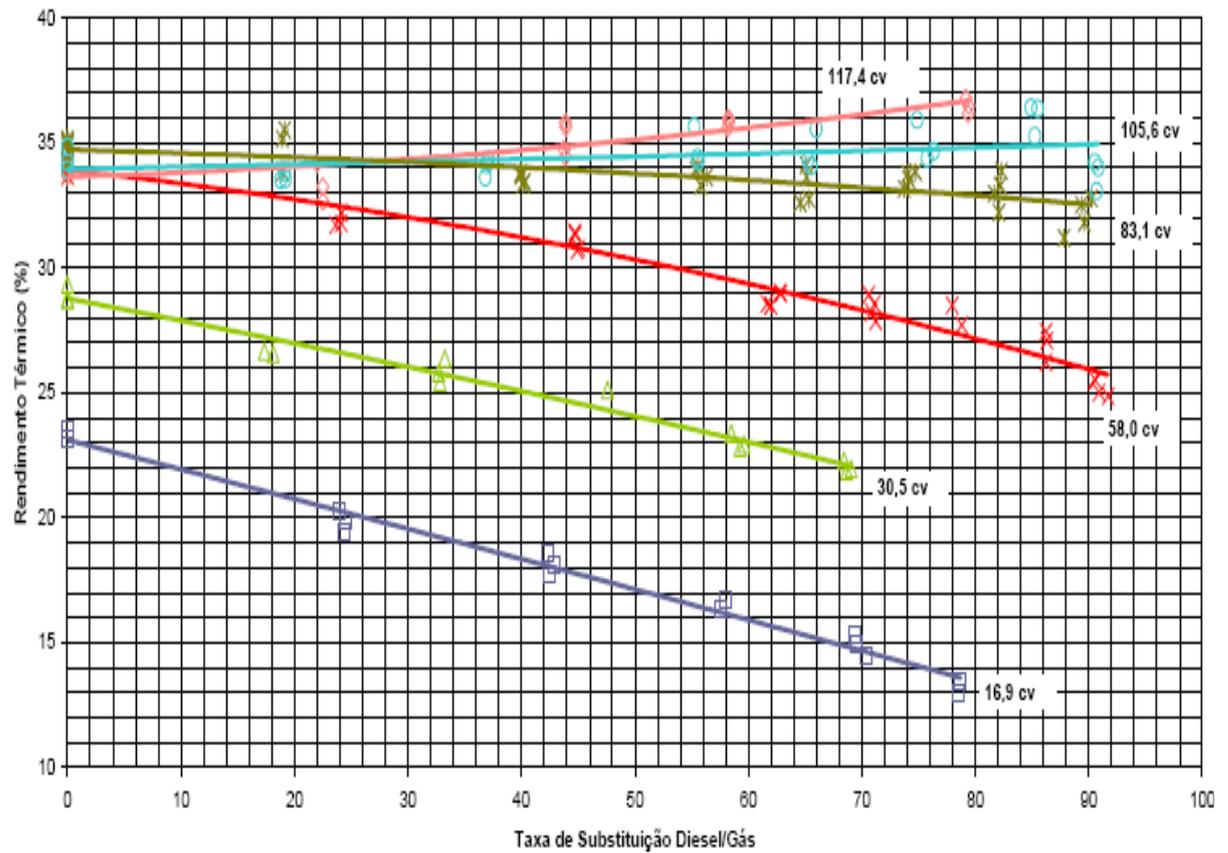


Gráfico 1 - Rendimento Térmico com Carga e Taxa de Substituição diesel/gás (1800 rpm).

O Gráfico 2 mostra que a concentração de material particulado nos gases de escapamento reduz sua concentração de forma exponencial com a taxa de substituição diesel/gás. A plena carga a concentração de particulados na descarga diminui em 96,4 % quando a taxa de substituição diesel/gás é de 90 %.

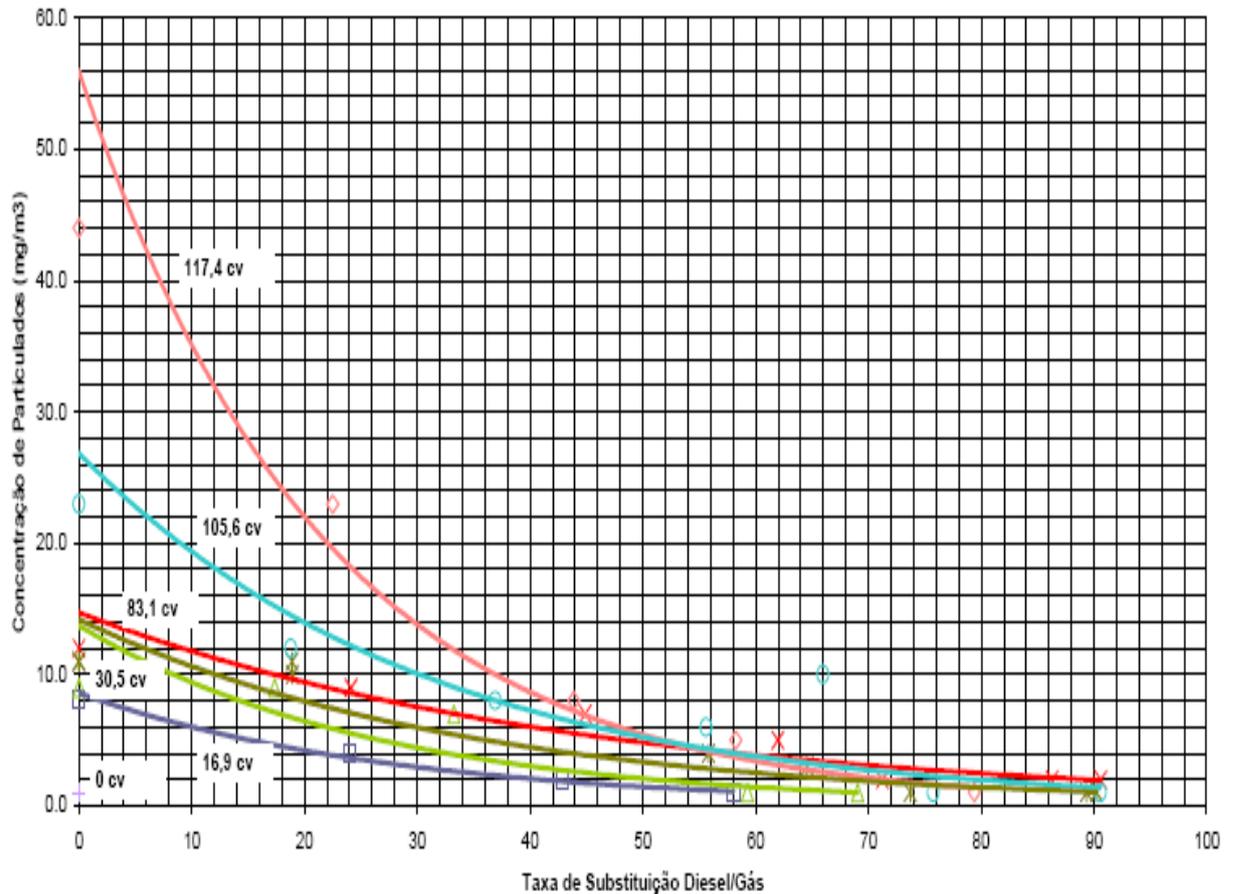


Gráfico 2 – Concentração de Particulados no Escapamento – Variação com Carga e Taxa de Substituição (1800 rpm).

O Gráfico 3 retrata as temperaturas dos gases de escape, variáveis com o nível de carga e taxa de substituição diesel/gás. É importante observar a relação existente entre a temperatura de escape, Gráfico 3, e o rendimento térmico, Gráfico 2. Em qualquer curva de carga constante a temperatura de escape guarda relação com rendimento térmico, ou seja, toda vez que aumenta o rendimento térmico traz como consequência uma diminuição na temperatura de escape, e, toda vez que diminui o rendimento térmico a temperatura de escape aumenta. Isto revela que aumentando o aproveitamento da energia térmica dos produtos da combustão, esses produtos resultarão com menor temperatura.

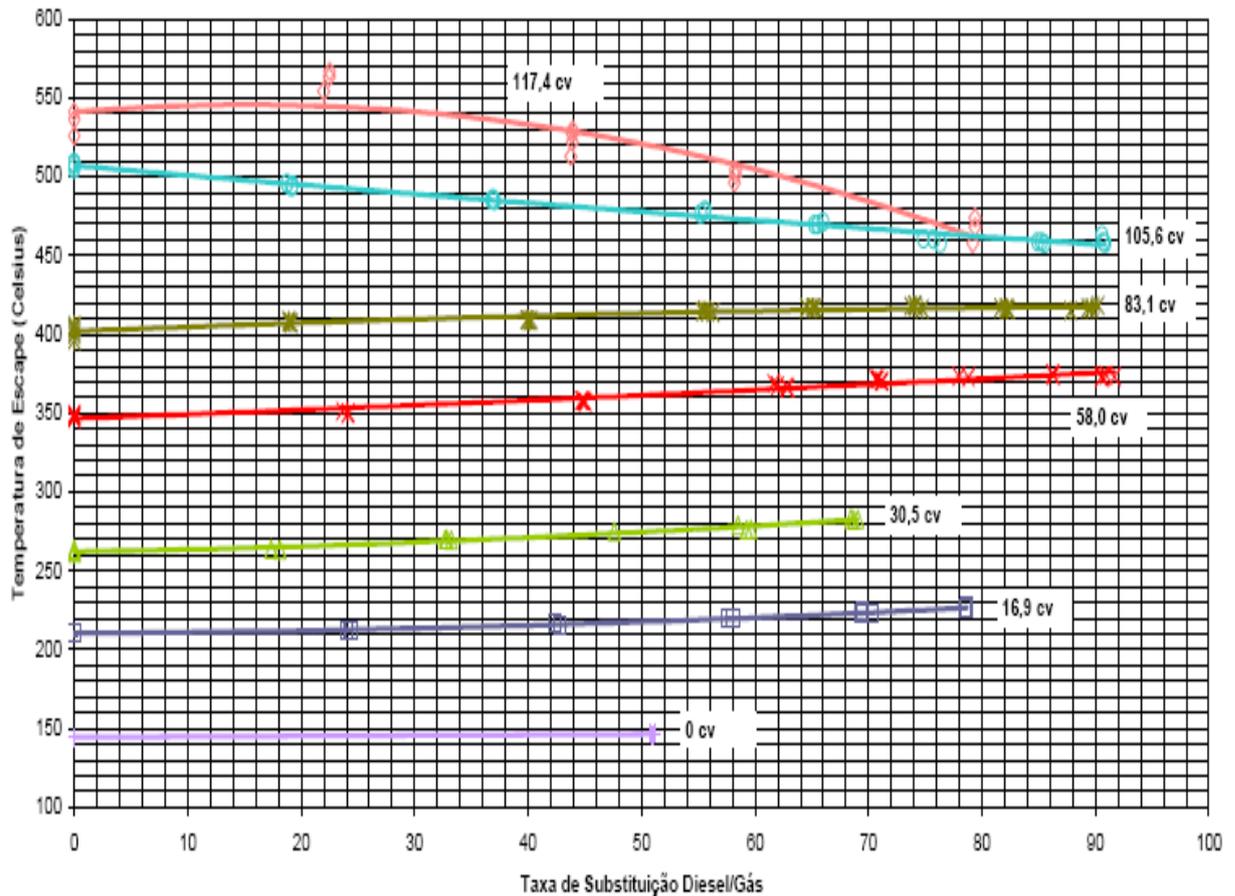


Gráfico 3 - Temperatura do Escape – Variação com Carga e Taxa de Substituição (1800 rpm).

3 ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA PARA USO DE GÁS NATURAL EM MOTORES MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Foi realizada uma pesquisa na literatura disponível sobre o tema em centros nacionais, assim como informações de empresas privadas envolvidas com a comercialização de equipamentos para a conversão diesel para diesel/gás em motores marítimos, e nada foi encontrado. Foi pesquisada toda a legislação brasileira pertinente ao assunto, assim como as normas envolvidas, e nada foi identificado. Sabe-se que legislação brasileira ainda não tem uma definição para a utilização de motores diesel/gás em embarcações, portanto não proibindo sua aplicação. Desta forma, este trabalho revela-se com algo pioneiro no Brasil.

3.1 ANÁLISE TÉCNICA DO MERCADO PARA CONVERSÃO PARCIAL DE MOTORES DIESEL EM MOTORES DIESEL COM GÁS NATURAL MISTURADOS, EM FUNÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS MOTORES MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

A principal base de dados a ser consultada seria a Capitania dos Portos da Amazônia Oriental, que tem o registro de todos os dados técnicos dos motores das embarcações legalizadas a navegar em grande parte da Amazônia, em particular do Estado do Pará. No entanto, a Capitania em questão, alegou razões de sigilo dos bens patrimoniais de empresas privadas e públicas negando-se por escrito, oficialmente o fornecimento dos dados. Diante desta situação foram buscados dados de uma empresa de transporte fluvial após sucessivas tentativas infrutíferas. A empresa que forneceu os dados solicitou que não fosse identificada em hipótese alguma, o que foi concordado.

Os dados a seguir relacionados em tabelas têm origem de uma empresa que opera nos trechos fluviais Belém-Manaus e Manaus-Belém, de 1580 km (853,13 milhas náuticas), feito em balsas propulsionadas por empurradores motorizados dotados de um ou dois motores diesel Cummins, modelo KTA, de 600 HP, assim relacionados: 28 unidades (E_M 1MCP = Empurrador Motorizado com um motor Cummins, propulsor) com um propulsor; 6 unidades (E_M 2MCP - Empurrador Motorizado com dois motores Cummins, propulsores) com dois propulsores.

Na tabela 4 constam os dados das viagens completas Belém-Manaus-Belém efetuadas pelos empurradores E_M 1MCP, assim discriminados:

- tempo navegando com o propulsor operando: representa o tempo real em horas e minutos navegado pelo empurrador, portanto sem computar o tempo parado nos portos ou em manobras para desenganche ou auxílio a outras embarcações, etc.;
- consumo específico em litro/hora: é o consumo específico de diesel pelo motor propulsor do empurrador, em cada viagem completa no trajeto Belém-Manaus-Belém;
- consumo total em litro: discrimina o consumo total de diesel pelo motor propulsor do empurrador em cada viagem completa no trajeto Belém-Manaus-Belém;
- valor médio: são valores médios calculados para viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém em tempo de viagem, consumo específico de diesel pelo motor propulsor e consumo total de diesel pelo motor propulsor. Dados que são importantes para dimensionar o consumo de gás natural em cada viagem, dimensionar os reservatórios de gás natural, selecionar os reservatórios, calcular custo dos reservatórios de gás natural e analisar a viabilidade econômica da conversão parcial de motores diesel em diesel misturado com gás natural, visto que têm influência nos investimentos e nos benefícios devidos ao uso do gás natural em substituição parcial do diesel.

Tabela 4

- Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 1MCP; Tempo de viagem; Consumo específico; Consumo total

Viagem Nº	E_M	Tempo navegando c/ propulsor operando: Bel-Mao-Bel	Consumo específico em litro/hora	Consumo total em litro
1	28	205:45	97,15	19.988
2	40	208:30	95,70	19.954
3	18	202:30	97,64	19.772
4	16	205:30	99,77	20.502
5	20	206:45	96,95	20.044
6	14	205:50	103,20	21.243
7	12	223:30	94,66	21.156
8	10	199:25	100,27	19.996
9	22	199:30	102,13	20.374
10	30	207:00	95,52	19.773
11	28	226:10	82,71	18.706
12	40	201:05	99,03	19.914
13	26	190:50	114,29	21.811
14	18	199:00	64,05	12.745
15	16	201:20	99,46	20.025
16	20	198:00	100,74	19.947
17	14	210:45	94,15	19.842
18	10	197:00	100,57	19.813
19	22	210:05	98,05	20.598
20	12	240:00	82,95	19.909
21	30	209:50	94,23	19.773
22	28	210:35	93,71	19.733
23	40	204:55	96,82	19.841
24	28	236:00	49,87	11.769
25	18	202:55	96,98	19.679
Valor médio =		204:34	97,05	19.842

Na tabela 5 constam os dados das viagens completas Belém-Manaus-Belém efetuadas pelos empurradores E_M 1MCP, assim discriminados:

- tempo entre duas viagens consecutivas: representa o tempo real em dias entre duas viagens consecutivas completas;
- viagens por ano: é a quantidade de viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém, possíveis que cada empurrador pode realizar;
- tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador: é o valor médio calculado entre os tempos entre viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém;
- média/ano/empurrador: representa a quantidade média de viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém, possíveis que cada empurrador pode realizar em um ano de operação;

- os valores tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador e média/ano/empurrador, são dados importantes para analisar a viabilidade econômica da conversão parcial de motores diesel em diesel misturado com gás natural, visto que têm influência no retorno do capital investido na conversão. Quanto maior for a quantidade de viagens/ano por cada empurrador mais rápido será a recuperação do capital investido.

Tabela 5

- Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurradores E_M 1MCP: Tempo entre duas viagens consecutivas; Viagens por ano

Viagem Nº	Tempo entre duas viagens consecutivas (dia)	Viagens por ano
1	11,38	31,63
2	13,42	26,83
3	12,00	29,99
4	12,40	29,03
5	10,92	32,96
6	12,35	29,14
7	9,96	36,14
8	12,17	29,57
9	13,17	27,34
10	12,70	28,34
11	10,43	34,50
12	12,52	28,76
<i>MÉDIA</i>	11,95	30,35
Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador = 11,95 dia		Média/ano/empurrador = 30,35 viagem

Na tabela 6 constam os dados das viagens completas Belém-Manaus-Belém efetuadas pelos empurradores E_M 2MCP, assim discriminados:

- tempo navegando com o propulsor operando: representa o tempo real em horas e minutos navegado pelo empurrador, portanto sem computar o tempo parado nos portos ou em manobras para desenganche ou auxílio a outras embarcações, etc.;
- consumo específico em litro/hora: é o consumo específico de diesel pelo motor propulsor do empurrador, em cada viagem completa no trajeto Belém-Manaus-Belém;

- consumo total em litro: discrimina o consumo total de diesel pelo motor propulsor do empurrador em cada viagem completa no trajeto Belém-Manaus-Belém;
- valor médio: são valores médios calculados para viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém em tempo de viagem, consumo específico de diesel pelo motor propulsor e consumo total de diesel pelo motor propulsor. Dados que são importantes para dimensionar o consumo de gás natural em cada viagem, dimensionar os reservatórios de gás natural, selecionar os reservatórios, calcular custo dos reservatórios de gás natural e analisar a viabilidade econômica da conversão parcial de motores diesel em diesel misturado com gás natural, visto que têm influência nos investimentos e nos benefícios devidos ao uso do gás natural em substituição parcial do diesel.

Tabela 6

- Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurraadores E_M 2MCP: Tempo de viagem; Consumo específico; Consumo total

Viagem Nº	E_M	Tempo navegando c/ propulsores operando: Bel-Mao-Bel	Consumo específico em l/h	Consumo total em litro
1	38	205:45	131	26.940
2	34	216:40	162	35.192
3	39	211:10	189	39.832
4	36	204:30	200	40.809
5	38	225:15	122	27.406
6	34	187:10	214	40.078
7	39	210:45	186	39.237
8	36	194:05	204	39.571
9	34	191:20	209	40.019
Valor médio =		205:11	179,58	36.565

Na tabela 7 constam os dados das viagens completas Belém-Manaus-Belém efetuadas pelos empurraadores E_M 1MCP, assim discriminados:

- tempo entre duas viagens consecutivas: representa o tempo real em dias entre duas viagens consecutivas completas;
- viagens por ano: é a quantidade de viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém, possíveis que cada empurrador pode realizar;
- tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador: é o valor médio calculado entre os tempos entre viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém;
- média/ano/empurrador: representa a quantidade média de viagens completas no trajeto Belém-Manaus-Belém, possíveis que cada empurrador pode realizar em um ano de operação;
- os valores tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador e média/ano/empurrador, são dados importantes para analisar a viabilidade econômica da conversão parcial de motores diesel em diesel misturado com gás natural, visto que têm influência no retorno do capital investido na conversão. Quanto maior for a quantidade de viagens/ano por cada empurrador mais rápido será a recuperação do capital investido.

Tabela 7

- Viagens completas Belém-Manaus-Belém pelos empurraadores E_M 2MCP: Tempo entre duas viagens consecutivas; Viagens por ano

Viagem Nº	Tempo entre duas viagens consecutivas (dia)	Viagens por ano
1	10,96	32,85
2	11,48	31,36
3	11,67	30,86
4	11,97	30,07
5	15,50	23,23
MÉDIA	12,31	29,67
Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador = 12,31 dia		Média/ano/empurrador = 29,67

3.1.1 Levantamento do custo do combustível usado em função da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido, para viagem completa Belém-Manaus-Belém:

A tabela 8 foi construída para gerar dados necessários para cálculos de consumos e custos de diesel e gás natural na tabela 9 em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurraadores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP), estando (a tabela 8) preenchida em função das seguintes informações:

- Massa específica [kg/m^3], 20°C e 1 atm, Poder calorífico superior [kJ/kg] e Poder calorífico inferior: origem tabela 1;
- Consumo de combustível diesel por viagem [m^3]: origem tabela 4;
- Consumo de combustível diesel por viagem [kg]: calculado pela multiplicação de 19,842 (consumo de combustível por viagem [m^3]) por 830 (massa específica do diesel);
- Energia calorífica do diesel [kJ]: calculado pela multiplicação de 16.468,86 (Consumo de combustível diesel por viagem [kg]) por 42.450 (Poder calorífico inferior do diesel [kJ/kg]);
- Energia calorífica do gás natural [kJ]: é igual a 699.103.107 (Energia calorífica do diesel [kJ]), considerando que o rendimento térmico diesel/GNC não é alterado, devido os motores operarem viajando em regime de plena carga a 1800 RPM;
- Consumo de combustível gás natural por viagem [m^3]: calculado pela divisão 699.103.107 (Energia calorífica do gás natural [kJ]) por 48.750 (Poder

calorífico inferior do gás natural [kJ/kg]), dividido por 0,74 (Massa específica do gás natural [kg/m³]);

- Consumo de combustível gás natural por viagem [kg]; calculado pela divisão 699.103.107 (Energia calorífica do gás natural [kJ]) por 48.750 (Poder calorífico inferior do gás natural [kJ/kg]);
- Custo de combustível sem mistura por viagem [R\$]: valor representativo considerando as viagens usando 100% do combustível diesel R\$ 33.308,77 ou gás natural R\$ 21.432,93
- Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador [dia]: origem tabela 5
- Quantidade média de viagens/ano/empurrador: origem tabela 5

Tabela 8

Consumos e custos de diesel e gás natural em viagens completas Belém-Manaus-Belém, para empurradores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP)

Discriminação	Gás Natural	Óleo Diesel
Massa específica [kg/m ³], 20°C e 1 atm	0,74	830,00
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	48.750,00	42.450,00
Consumo de combustível diesel por viagem [m3]		19,842
Consumo de combustível diesel por viagem [kg]		16.468,86
Energia calorífica do diesel [kJ]		699.103.107,00
Energia calorífica do gás natural [kJ]	699.103.107,00	
Consumo de combustível gás natural por viagem [m3]	19.484,48	
Consumo de combustível gás natural por viagem [kg]	14.340,58	
Preço do combustível 100% diesel [R\$/litro]		R\$ 1,6787
Preço do combustível 100% gás natural [R\$/m3]	R\$ 1,10	
Custo de combustível sem mistura por viagem [R\$]	R\$ 21.432,93	R\$ 33.308,77
Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador [dia]		11,95
Quantidade média de viagens/ano/empurrador		30,35

Na tabela 9 estão referenciados os consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP). A taxa de substituição diesel/gás em percentagem representa o percentual de energia do gás natural que substitui o diesel no momento referenciado, que neste caso, representa a viagem completa Belém-Manaus-Belém. Portanto, a taxa de substituição não corresponde ao percentual da massa ou volume total de combustível consumido na viagem considerada.

Tabela 9

Consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com um motor diesel, propulsor (E_M 1MCP)

Taxa de substituição diesel/gás [%]	Diesel		Gás Natural		Custo por viagem	Economia por viagem
	consumo [m3]	valor [R\$]	consumo [m3]	Valor [R\$]		
100%	0,00	0,00	19.484,48	21.432,93	R\$ 21.432,93	R\$ 11.875,84
95%	0,99	1.665,44	18.510,26	20.361,28	R\$ 22.026,72	R\$ 11.282,05
90%	1,98	3.330,88	17.536,03	19.289,63	R\$ 22.620,51	R\$ 10.688,25
85%	2,98	4.996,31	16.561,81	18.217,99	R\$ 23.214,30	R\$ 10.094,46
80%	3,97	6.661,75	15.587,58	17.146,34	R\$ 23.808,09	R\$ 9.500,67
75%	4,96	8.327,19	14.613,36	16.074,70	R\$ 24.401,89	R\$ 8.906,88
70%	5,95	9.992,63	13.639,14	15.003,05	R\$ 24.995,68	R\$ 8.313,09
65%	6,94	11.658,07	12.664,91	13.931,40	R\$ 25.589,47	R\$ 7.719,30
60%	7,94	13.323,51	11.690,69	12.859,76	R\$ 26.183,26	R\$ 7.125,50
55%	8,93	14.988,94	10.716,46	11.788,11	R\$ 26.777,05	R\$ 6.531,71
50%	9,92	16.654,38	9.742,24	10.716,46	R\$ 27.370,85	R\$ 5.937,92
45%	10,91	18.319,82	8.768,02	9.644,82	R\$ 27.964,64	R\$ 5.344,13
40%	11,91	19.985,26	7.793,79	8.573,17	R\$ 28.558,43	R\$ 4.750,34
35%	12,90	21.650,70	6.819,57	7.501,52	R\$ 29.152,22	R\$ 4.156,54
30%	13,89	23.316,14	5.845,34	6.429,88	R\$ 29.746,01	R\$ 3.562,75
25%	14,88	24.981,57	4.871,12	5.358,23	R\$ 30.339,81	R\$ 2.968,96
20%	15,87	26.647,01	3.896,90	4.286,59	R\$ 30.933,60	R\$ 2.375,17
15%	16,87	28.312,45	2.922,67	3.214,94	R\$ 31.527,39	R\$ 1.781,38
10%	17,86	29.977,89	1.948,45	2.143,29	R\$ 32.121,18	R\$ 1.187,58
5%	18,85	31.643,33	974,22	1.071,65	R\$ 32.714,97	R\$ 593,79
0%	19,84	33.308,77	0,00	0,00	R\$ 33.308,77	R\$ 0,00

1 - Redução do **custo de combustível por viagem** em função da taxa de substituição:

a) quando a taxa de substituição diesel/gás é 90% a economia é de:

R\$ 10.688,25

b) quando a taxa de substituição diesel/gás é 75% a economia é de:

R\$ 8.906,88

c) quando a taxa de substituição diesel/gás é 50% a economia é de:

R\$ 5.937,92

2 - Redução do **custo de combustível por ano/empurrador** em função da taxa de substituição diesel/gás e quantidade média de viagens/ano/empurrador = **30,35**

a) quando a taxa de substituição diesel/gás é 90% a economia é de:

R\$ 324.388,53

b) quando a taxa de substituição diesel/gás é 75% a economia é de:

R\$ 270.323,77

c) quando a taxa de substituição diesel/gás é 50% a economia é de:

R\$ 180.215,85

A tabela 10 foi construída para gerar dados necessários para cálculos de consumos e custos de diesel e gás natural na tabela 11 em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurraadores com dois motores diesel, propulsores (E_M 2MCP), estando (a tabela 10) preenchida em função das seguintes informações:

- Massa específica [kg/m^3], 20°C e 1 atm, Poder calorífico superior [kJ/kg] e Poder calorífico inferior: origem tabela 1;
- Consumo de combustível diesel por viagem [m^3]: origem tabela 6;
- Consumo de combustível diesel por viagem [kg]: calculado pela multiplicação de 30.348,95 (consumo de combustível por viagem [m^3]) por 830 (massa específica do diesel);
- Energia calorífica do diesel [kJ]: calculado pela multiplicação de 1.288.312.927,50 (Consumo de combustível diesel por viagem [kg]) por 42.450 (Poder calorífico inferior do diesel [kJ/kg]);
- Energia calorífica do gás natural [kJ]: é igual a 1.288.312.927,50 (Energia calorífica do diesel [kJ]);
- Consumo de combustível gás natural por viagem [m^3]: calculado pela divisão 1.288.312.927,50 (Energia calorífica do gás natural [kJ]) por 48.750 (Poder calorífico inferior do gás natural [kJ/kg]), dividido por 0,74 (Massa específica do gás natural [kg/m^3]);
- Consumo de combustível gás natural por viagem [kg]: calculado pela divisão 1.288.312.927,50 (Energia calorífica do gás natural [kJ]) por 48.750 (Poder calorífico inferior do gás natural [kJ/kg]);
- Custo de combustível sem mistura por viagem [R\$]: valor representativo considerando as viagens usando 100% do combustível diesel R\$ 61.381,67 ou 100% de gás natural R\$ 39.496,77
- Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador [dia]: origem tabela 7
- Quantidade média de viagens/ano/empurrador: origem tabela 7

Tabela 10

Consumos e custos de diesel e gás natural em viagens completas Belém-Manaus-Belém, para empurradores com dois motores diesel, propulsores (E_M 2MCP)

Discriminação	Gás Natural	Óleo Diesel
Massa específica [kg/m ³], 20°C e 1 atm	0,74	830,00
Poder calorífico superior [kJ/kg]	53.970,00	45.590,00
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	48.750,00	42.450,00
Consumo de combustível diesel por viagem [m3]		36,565
Consumo de combustível diesel por viagem [kg]		30.348,95
Energia calorífica do diesel [kJ]		1.288.312.927,50
Energia calorífica do gás natural [kJ]	1.288.312.927,50	
Consumo de combustível gás natural por viagem [m3]	35.906,16	
Consumo de combustível gás natural por viagem [kg]	26.426,93	
Preço do combustível 100% diesel [R\$/litro]		R\$ 1,6787
Preço do combustível 100% gás natural [R\$/m3]	R\$ 1,10	
Custo de combustível sem mistura por viagem [R\$]	R\$ 39.496,77	R\$ 61.381,67
Tempo médio entre duas saídas consecutivas/empurrador [dia]		12,31
Quantidade média de viagens/ano/empurrador		29,67

Na tabela 11 estão referenciados os consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com dois motores diesel, propulsores (E_M 2MCP). A taxa de substituição diesel/gás em percentagem representa o percentual de energia do gás natural que substitui o diesel no momento referenciado, que neste caso representa a viagem completa Belém-Manaus-Belém. Portanto, a taxa de substituição não corresponde ao percentual da massa ou volume total de combustível consumido na viagem considerada.

Tabela 11

Consumos, custos de diesel e gás natural e economia por viagem em viagens completas Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição diesel/gás, para empurradores com dois motores diesel, propulsores (E M 2MCP)

Taxa de substituição diesel/gás [%]	Diesel		Gás Natural		Custo por viagem	Economia por viagem
	consumo [m3]	Valor [R\$]	consumo [m3]	Valor [R\$]		
100%	0,00	0,00	35.906,16	39.496,77	R\$ 39.496,77	R\$ 21.884,89
95%	1,83	3.069,08	34.110,85	37.521,93	R\$ 40.591,02	R\$ 20.790,65
90%	3,66	6.138,17	32.315,54	35.547,10	R\$ 41.685,26	R\$ 19.696,40
85%	5,48	9.207,25	30.520,23	33.572,26	R\$ 42.779,51	R\$ 18.602,16
80%	7,31	12.276,33	28.724,93	31.597,42	R\$ 43.873,75	R\$ 17.507,91
75%	9,14	15.345,42	26.929,62	29.622,58	R\$ 44.968,00	R\$ 16.413,67
70%	10,97	18.414,50	25.134,31	27.647,74	R\$ 46.062,24	R\$ 15.319,42
65%	12,80	21.483,58	23.339,00	25.672,90	R\$ 47.156,49	R\$ 14.225,18
60%	14,63	24.552,67	21.543,69	23.698,06	R\$ 48.250,73	R\$ 13.130,94
55%	16,45	27.621,75	19.748,39	21.723,23	R\$ 49.344,97	R\$ 12.036,69
50%	18,28	30.690,83	17.953,08	19.748,39	R\$ 50.439,22	R\$ 10.942,45
45%	20,11	33.759,92	16.157,77	17.773,55	R\$ 51.533,46	R\$ 9.848,20
40%	21,94	36.829,00	14.362,46	15.798,71	R\$ 52.627,71	R\$ 8.753,96
35%	23,77	39.898,08	12.567,16	13.823,87	R\$ 53.721,95	R\$ 7.659,71
30%	25,60	42.967,17	10.771,85	11.849,03	R\$ 54.816,20	R\$ 6.565,47
25%	27,42	46.036,25	8.976,54	9.874,19	R\$ 55.910,44	R\$ 5.471,22
20%	29,25	49.105,33	7.181,23	7.899,35	R\$ 57.004,69	R\$ 4.376,98
15%	31,08	52.174,42	5.385,92	5.924,52	R\$ 58.098,93	R\$ 3.282,73
10%	32,91	55.243,50	3.590,62	3.949,68	R\$ 59.193,18	R\$ 2.188,49
5%	34,74	58.312,58	1.795,31	1.974,84	R\$ 60.287,42	R\$ 1.094,24
0%	36,57	61.381,67	0,00	0,00	R\$ 61.381,67	R\$ 0,00

1 - Redução do **custo de combustível por viagem** em função da taxa de substituição:

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 90% a economia é de:

R\$ 19.696,40

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 75% a economia é de:

R\$ 16.413,67

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 50% a economia é de:

R\$ 10.942,45

2 - Redução do **custo de combustível por ano/empurrador** em função da taxa de substituição diesel/gás e quantidade média de viagens/ano/empurrador = **30,35**

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 90% a economia é de:

R\$ 584.392,28

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 75% a economia é:

R\$ 486.993,57

Quando a taxa de substituição diesel/gás é 50% a economia é de:

R\$ 324.662,38

3.1.2 Dimensionamento e seleção dos reservatórios de GNC:

Para dimensionamento dos reservatórios de GNC foi considerado que os abastecimentos serão efetivados em Belém e em Manaus, visto que se o abastecimento for feito em um único porto, os reservatórios serão maiores e haverá transporte de combustível gasoso desnecessariamente, onerando o custo do transporte.

3.1.2.1 Dimensionamento

Diante da prioridade citada no item 3.1.2 foi escolhido o trecho que demanda um tempo de viagem maior, que é Belém-Manaus, porque a navegação se processa no contra fluxo do Rio Amazonas, como confirmam a tabela 12 para empurradores com um propulsor (E_M 1MCP) e a tabela 13 para empurradores com dois propulsores (E_M 2MCP) na linha “Valor médio do tempo de viagem”, para subida e descida no Rio Amazonas.

Na tabela 12 estão listados os tempos de viagem de subida (trecho Bel-Mao (Belém-Manaus)), de descida (trecho Mao-Bel (Manaus-Belém)) e o total da viagem (trechos Belém-Manaus e Manaus-Belém), para empurradores E_M 1MCP que foram usados para determinação das taxas de substituição de diesel por gás natural na tabela 14 e na tabela 15.

Tabela 12
Tempos de subida e descida no trecho Bel-Mao, para E_M 1MCP

Viagem Nº	Tempo Subida Bel-Mao [h]	Tempo Descida Mao-Bel [h]	Tempo navegando c/ propulsor operando: Bel-Mao-Bel [h]
1	121:50	83:55	205:45
2	122:15	86:15	208:30
3	119:40	82:50	202:30
4	122:00	83:30	205:30
5	118:00	88:45	206:45
6	124:20	81:30	205:50
7	136:00	87:30	223:30
8	117:35	81:50	199:25
9	117:00	82:30	199:30
10	122:55	84:05	207:00
11	121:50	104:20	226:10
12	118:15	82:50	201:05
13	114:10	76:40	190:50
14	118:00	81:00	199:00
15	116:20	85:00	201:20
16	115:25	82:35	198:00
17	122:25	88:20	210:45
18	116:00	81:00	197:00
19	121:15	88:50	210:05
20	146:10	93:50	240:00
21	119:40	90:10	209:50
22	116:10	94:25	210:35
23	118:25	86:30	204:55
24	153:35	82:25	236:00
25	119:00	83:55	202:55
Valor médio do tempo de viagem =	122:19	85:46	208:05
Percentagem do valor médio do tempo de viagem =	58,78%	41,22%	100,00%

A diferença entre o valor médio do tempo de viagem de subida Belém-Manaus (122:19h) e o valor médio do tempo de viagem de descida Manaus-Belém (85:46h), é devida ao fluxo do Rio Amazonas, que se desloca no sentido Manaus-Belém, desaguando no Oceano Atlântico.

Na tabela 13 estão listados os tempos de viagem de subida (trecho Bel-Mao (Belém-Manaus)), de descida (trecho Mao-Bel (Manaus-Belém)) e o total da viagem (trechos Belém-Manaus e Manaus-Belém), para empurradores E_M 2MCP que foram usados para determinação das taxas de substituição de diesel por gás natural na tabela 16 e na tabela 17.

Tabela 13
Tempos de subida e descida no trecho Bel-Mao, para E_M 2MCP

Viagem Nº	Tempo Subida Bel-Mao [h]	Tempo Descida Mao-Bel [h]	Tempo navegando c/ propulsores operando: Bel-Mao-Bel [h]
1	122:45	83:00	205:45
2	134:40	82:00	216:40
3	127:30	83:40	211:10
4	135:10	69:20	204:30
5	121:20	103:55	225:15
6	111:05	76:05	187:10
7	125:40	85:05	210:45
8	114:05	80:00	194:05
9	108:50	82:30	191:20
Valor médio do tempo de viagem =	122:20	82:50	205:10
Porcentagem do valor médio do tempo de viagem =	59,63%	40,37%	100,00%

Tabela 14
Combustível para E_M 1MCP - trecho Bel-Mao

Propriedades	Gás Natural	Óleo Diesel
Massa específica [kg/m ³], 20°C e 1 atm	0,74	830,00
Poder calorífico superior [kJ/kg]	53.970,00	45.590,00
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	48.750,00	42.450,00
Consumo de combustível diesel por viagem Bel-Mao-Bel [m3]		19,842
Consumo específico de combustível diesel por viagem Bel-Mao-Bel [m3/h]		0,097
Tempo médio de viagem no trecho Bel-Mao [h]		122:19
Consumo de combustível diesel por viagem no trecho Bel-Mao [m3]		11,865
Consumo de combustível diesel por viagem no trecho Bel-Mao [kg]		9.847,71
Energia calorífica do diesel no trecho Bel-Mao [kJ]		418.035.494,68
Energia calorífica do gás natural no trecho Bel-Mao [kJ]	418.035.494,68	
Consumo de combustível gás natural por viagem Bel-Mao [m3]	11.650,93	
Consumo de combustível gás natural por viagem Bel-Mao [kg]	8.575,09	
Preço do combustível 100% diesel [R\$/litro]		R\$ 1,6787
Preço do combustível 100% gás natural [R\$/m3]	R\$ 1,10	
Custo de combustível sem mistura por viagem Bel-Mao [R\$]	R\$ 12.816,03	R\$ 19.917,30

Tabela 15
Combustível para E_M 1MCP - trecho Bel-Mao e taxa de substituição

Taxa de substituição Diesel/gás [%]	Diesel		Gás Natural		Custo por viagem	Economia por viagem
	consumo [m3]	Valor [R\$]	consumo [m3]	valor [R\$]		
100%	0,00	0,00	11.650,93	12.816,03	R\$ 12.816,03	R\$ 7.101,27
95%	0,59	995,86	11.068,39	12.175,23	R\$ 13.171,09	R\$ 6.746,21
90%	1,19	1.991,73	10.485,84	11.534,42	R\$ 13.526,15	R\$ 6.391,15
85%	1,78	2.987,59	9.903,29	10.893,62	R\$ 13.881,22	R\$ 6.036,08
80%	2,37	3.983,46	9.320,75	10.252,82	R\$ 14.236,28	R\$ 5.681,02
75%	2,97	4.979,32	8.738,20	9.612,02	R\$ 14.591,35	R\$ 5.325,95
70%	3,56	5.975,19	8.155,65	8.971,22	R\$ 14.946,41	R\$ 4.970,89
65%	4,15	6.971,05	7.573,11	8.330,42	R\$ 15.301,47	R\$ 4.615,83
60%	4,75	7.966,92	6.990,56	7.689,62	R\$ 15.656,54	R\$ 4.260,76
55%	5,34	8.962,78	6.408,01	7.048,81	R\$ 16.011,60	R\$ 3.905,70
50%	5,93	9.958,65	5.825,47	6.408,01	R\$ 16.366,66	R\$ 3.550,64
45%	6,53	10.954,51	5.242,92	5.767,21	R\$ 16.721,73	R\$ 3.195,57
40%	7,12	11.950,38	4.660,37	5.126,41	R\$ 17.076,79	R\$ 2.840,51
35%	7,71	12.946,24	4.077,83	4.485,61	R\$ 17.431,85	R\$ 2.485,45
30%	8,31	13.942,11	3.495,28	3.844,81	R\$ 17.786,92	R\$ 2.130,38
25%	8,90	14.937,97	2.912,73	3.204,01	R\$ 18.141,98	R\$ 1.775,32
20%	9,49	15.933,84	2.330,19	2.563,21	R\$ 18.497,05	R\$ 1.420,25
15%	10,09	16.929,70	1.747,64	1.922,40	R\$ 18.852,11	R\$ 1.065,19
10%	10,68	17.925,57	1.165,09	1.281,60	R\$ 19.207,17	R\$ 710,13
5%	11,27	18.921,43	582,55	640,80	R\$ 19.562,24	R\$ 355,06
0%	11,86	19.917,30	0,00	0,00	R\$ 19.917,30	R\$ 0,00

Tabela 16
Combustível para E_M 2MCP - trecho Bel-Mao

Propriedades	Gás Natural	Óleo Diesel
Massa específica [kg/m ³], 20°C e 1 atm	0,74	830,00
Poder calorífico superior [kJ/kg]	53.970,00	45.590,00
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	48.750,00	42.450,00
Consumo de combustível diesel por viagem Bel-Mao-Bel [m3]		36,565
Consumo específico de combustível diesel por viagem Bel-Mao-Bel [m3/h]		0,1796
Tempo médio de viagem no trecho Bel-Mao [h]		122:20
Consumo de combustível diesel por viagem no trecho Bel-Mao [m3]		21,971
Consumo de combustível diesel por viagem no trecho Bel-Mao [kg]		18.235,99
Energia calorífica do diesel Bel-Mao [kJ]		774.117.577,40
Energia calorífica do gás natural Bel-Mao [Kj]	774.117.577,40	
Consumo de combustível gás natural por viagem Bel-Mao [m3]	21.575,18	
Consumo de combustível gás natural por viagem Bel-Mao [kg]	15.879,33	
Preço do combustível 100% diesel [R\$/litro]		R\$ 1,6787
Preço do combustível 100% gás natural [R\$/m3]	R\$ 1,10	
Custo de combustível sem mistura por viagem Bel-Mao [R\$]	R\$ 23.732,70	R\$ 36.882,83

Combustível para E_M 2MCP - trecho Bel-Mao

Tabela 17
Combustível para E_M 2MCP - trecho Bel-Mao e taxa de substituição

Taxa de substituição Diesel/gás [%]	Diesel		Gás Natural		Custo por viagem	Economia por viagem
	consumo [m3]	Valor [R\$]	consumo [m3]	valor [R\$]		
100%	0,00	0,00	21.575,18	23.732,70	R\$ 23.732,70	R\$ 13.150,13
95%	1,10	1.844,14	20.496,42	22.546,07	R\$ 24.390,21	R\$ 12.492,62
90%	2,20	3.688,28	19.417,66	21.359,43	R\$ 25.047,71	R\$ 11.835,12
85%	3,30	5.532,42	18.338,91	20.172,80	R\$ 25.705,22	R\$ 11.177,61
80%	4,39	7.376,57	17.260,15	18.986,16	R\$ 26.362,73	R\$ 10.520,10
75%	5,49	9.220,71	16.181,39	17.799,53	R\$ 27.020,23	R\$ 9.862,60
70%	6,59	11.064,85	15.102,63	16.612,89	R\$ 27.677,74	R\$ 9.205,09
65%	7,69	12.908,99	14.023,87	15.426,26	R\$ 28.335,25	R\$ 8.547,58
60%	8,79	14.753,13	12.945,11	14.239,62	R\$ 28.992,75	R\$ 7.890,08
55%	9,89	16.597,27	11.866,35	13.052,99	R\$ 29.650,26	R\$ 7.232,57
50%	10,99	18.441,41	10.787,59	11.866,35	R\$ 30.307,77	R\$ 6.575,06
45%	12,08	20.285,56	9.708,83	10.679,72	R\$ 30.965,27	R\$ 5.917,56
40%	13,18	22.129,70	8.630,07	9.493,08	R\$ 31.622,78	R\$ 5.260,05
35%	14,28	23.973,84	7.551,31	8.306,45	R\$ 32.280,28	R\$ 4.602,54
30%	15,38	25.817,98	6.472,55	7.119,81	R\$ 32.937,79	R\$ 3.945,04
25%	16,48	27.662,12	5.393,80	5.933,18	R\$ 33.595,30	R\$ 3.287,53
20%	17,58	29.506,26	4.315,04	4.746,54	R\$ 34.252,80	R\$ 2.630,03
15%	18,68	31.350,41	3.236,28	3.559,91	R\$ 34.910,31	R\$ 1.972,52
10%	19,77	33.194,55	2.157,52	2.373,27	R\$ 35.567,82	R\$ 1.315,01
5%	20,87	35.038,69	1.078,76	1.186,64	R\$ 36.225,32	R\$ 657,51
0%	21,971	36.882,83	0,00	0,00	R\$ 36.882,83	R\$ 0,00

3.1.2.2 Seleção de cestas de cilindros

Todas as informações sobre cestas de cilindros listadas na tabela 18 abaixo, foram fornecidas pela White Martins Gases Industriais Ltda., a qual possui fábricas no Rio de Janeiro e Amazonas, o único fabricante nacional que apresentou orçamento.

Cesta de Cilindros

A Cesta de Cilindros (figura 19) é uma unidade destinada ao armazenamento e transporte de gás natural comprimido, composta de cilindros de alta pressão dispostos em uma estrutura metálica. Os cilindros são fixados através de flanges, localizados na parte superior da estrutura e apoiados em centralizadores, evitando a movimentação das extremidades inferiores durante o transporte. Este sistema garante a rigidez da unidade e elimina o risco de grandes solicitações à tubulação.

Desenvolvida com a mais alta tecnologia e segurança para viabilizar economicamente o transporte e o abastecimento de gás natural em áreas que não possuem acesso ao gasoduto convencional.

Características:

- composta de Cilindros Cilbrás (Marca Registrada da White Martins);
- dispositivos de segurança em cada cilindro;
- sistema para transporte de gás natural de 200 bar e 250 bar;
- tubulação em aço inoxidável;
- olhal para içamento;
- pintura especial anti-corrosiva;
- manômetro para monitorar a pressão durante o enchimento, a armazenagem e a descarga do gás;
- válvulas de carga e de descarga;
- válvulas e manifold;

Cilindros de Alta Pressão

Os cilindros são fabricados a partir de tubo de aço sem costura AISI 41B30 (CrMo), com as extremidades conformadas a quente, sofrendo, após este processo, tratamento térmico de têmpera e revenimento, tendo como norma de fabricação a ISO 4705D. A pressão de teste hidrostático dos cilindros é de uma vez e meia a sua pressão de serviço. A cada 5 anos, ou sempre que ocorrer danos que possam afetar a sua integridade, os cilindros deverão ser submetidos à inspeção e testes para requalificação.

CESTA DE CILINDROS PARA GÁS NATURAL

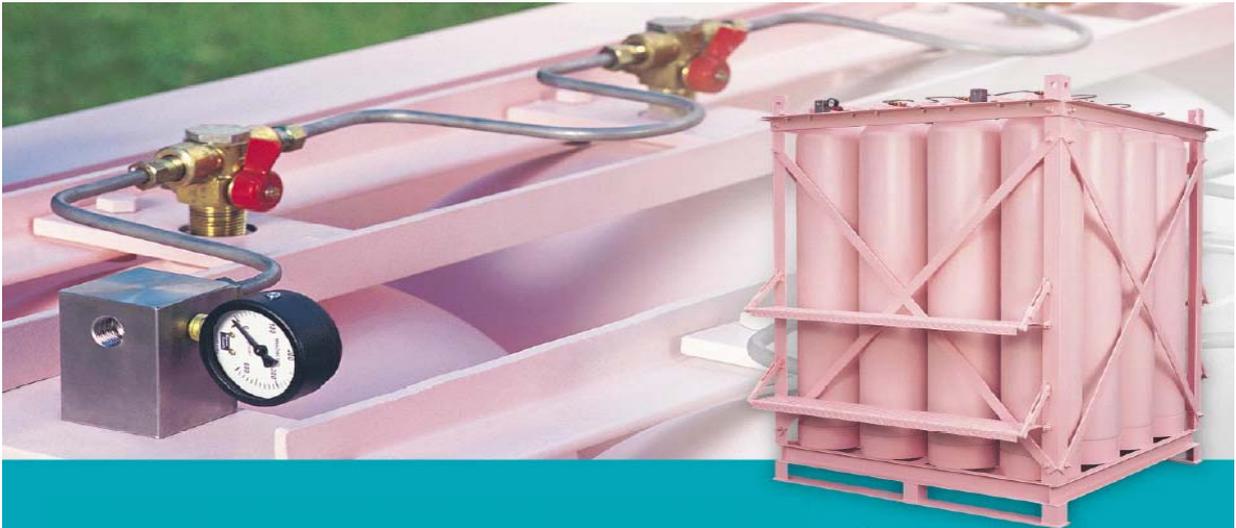


Figura 19 - Cesta de cilindros pés fixos, transportáveis por empilhadeiras
Fonte: White Martins, 2007

Tabela 18

- Especificações e Cotação de cestas de cilindros para gás natural – 200 bar

TABELA DE CESTAS DE CILINDROS - PRESSÃO 200 bar

Cesta	Cilindro	Cap.Nom. (litros)	Cap. Nom. (m³)	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Pressão (bar)	Peso Total (Kg)	ICMS 07%
3x3	107.340.200 CrMo	963,0	234,0	2030,0	1103,2	1103,2	200,0	1266,0	R\$ 28.254,57
3x4	107.340.200 CrMo	1284,0	312,0	2030,0	1103,2	1438,4	200,0	1588,0	R\$ 33.395,70
4x4	107.340.200 CrMo	1712,0	416,0	2030,0	1438,4	1438,4	200,0	2014,0	R\$ 40.250,55
3x3	119.356.200 CrMo	1071,0	260,3	2030,0	1103,2	1103,2	200,0	1334,0	R\$ 32.267,04
3x4	119.356.200 CrMo	1428,0	347,0	2030,0	1103,2	1438,4	200,0	1679,0	R\$ 38.745,67
4x4	119.356.200 CrMo	1904,0	462,7	2030,0	1438,4	1438,4	200,0	2136,0	R\$ 47.383,84
3x3	136.356.200 CrMo	1224,0	297,4	2210,0	1103,2	1103,2	200,0	1443,0	R\$ 34.445,35
3x4	136.356.200 CrMo	1632,0	396,6	2210,0	1103,2	1438,4	200,0	1824,0	R\$ 41.650,08
4x4	136.356.200 CrMo	2176,0	528,8	2210,0	1438,4	1438,4	200,0	2329,0	R\$ 51.256,39

Fonte: White Martins, 2007

As especificações e cotações contidas na tabela 18, fornecidas pela White Martins, foram usadas para selecionar as cestas de cilindros e seus custos em função da taxa de substituição, no trecho Belém-Manaus, assim discriminadas:

- para empurradores E M 1MCP:

- Tabela 19: quando a taxa de substituição é 90% e consumo de 10.486, que são valores originários da tabela 15
- Tabela 20: quando a taxa de substituição é 75% e consumo de 8.738, que são valores originários da tabela 15;

- Tabela 21: quando a taxa de substituição é 50% e consumo de 5.825, que são valores originários da tabela 15.

Tabela 19

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 90% e o consumo é igual a 10.486 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m ³]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	45	111	64.215
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	34	110	61.302
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	25	105	57.500
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	40	99	60.560
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	30	97	57.540
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	23	97	56.442
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	35	94	57.680
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	26	91	54.522
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	20	91	53.860
Menor valor =									20	91	53.860

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	1.271.455,65
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	1.135.453,80
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	1.006.263,75
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	1.290.681,60
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	1.162.370,10
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	1.089.828,32
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	1.205.587,25
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	1.082.902,08
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	1.025.127,80
Menor preço total =			R\$ 1.006.263,75

Tabela 20

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 75% e o consumo é igual a 8.738 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m ³]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	37	91	52.799
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	28	90	50.484
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	21	88	48.300
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	34	84	51.476
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	25	81	47.950
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	19	80	46.626
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	29	78	47.792
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	22	77	46.134
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	17	78	45.781
Menor valor =									17	77	45.781

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	1.045.419,09
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	935.079,60
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	845.261,55
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	1.097.079,36
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	968.641,75
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	900.292,96
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	998.915,15
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	916.301,76
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	871.358,63
Menor preço total =			R\$ 845.261,55

Tabela 21

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 1MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 50% e o consumo é igual a 5.825 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m3]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	25	62	35.675
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	19	61	34.257
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	14	59	32.200
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	22	54	33.308
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	17	55	32.606
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	13	55	31.902
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	20	54	32.960
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	15	53	31.455
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	11	50	29.623
Menor valor =									11	50	29.623

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	706.364,25
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	634.518,30
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	563.507,70
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	709.874,88
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	658.676,39
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	615.989,92
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	688.907,00
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	624.751,20
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	563.820,29
Menor preço total =			R\$ 563.507,70

- para empuradores E_M 2MCP:

- Tabela 22: quando a taxa de substituição é 90% e consumo de 19.418, que são valores originários da tabela 16;
- Tabela 23: quando a taxa de substituição é 75% e consumo de 16.181, que são valores originários da tabela 16;
- Tabela 23: quando a taxa de substituição é 50% e consumo de 10.788, que são valores originários da tabela 16.

Tabela 22

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 90% e o consumo é igual a 19.418 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m3]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	83	205	118.441
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	62	200	111.786
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	47	197	108.100
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	75	185	113.550
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	56	180	107.408
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	42	176	103.068
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	65	175	107.120
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	49	172	102.753
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	37	169	99.641
Menor valor =									37	169	99.641

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	2.345.129,31
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	2.070.533,40
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	1.891.775,85
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	2.420.028,00
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	2.169.757,52
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	1.990.121,28
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	2.238.947,75
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	2.040.853,92
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	1.896.486,43
Menor preço total =			R\$ 1.891.775,85

Tabela 23

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 75% e o consumo é igual a 16.181 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m3]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	69	170	98.463
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	52	168	93.756
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	39	164	89.700
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	62	153	93.868
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	47	151	90.146
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	35	147	85.890
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	54	145	88.992
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	41	144	85.977
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	31	142	83.483
Menor valor =									31	142	83.483

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	1.949.565,33
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	1.736.576,40
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	1.569.771,45
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	2.000.556,48
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	1.821.046,49
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	1.658.434,40
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	1.860.048,90
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	1.707.653,28
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	1.588.948,09
Menor preço total =		R\$ 1.569.771,45	

Tabela 24

Seleção de cestas de cilindros para empuradores E_M 2MCP considerando a taxa de substituição diesel/gás de 50% e o consumo é igual a 10.788 m³

CESTA	CILINDRO	CAPACIDADE EM GÁS m ³	ALTURA [mm]	LARGURA [mm]	COMP. [mm]	PESO [kg]			Quantidade cestas	Volume total cestas [m3]	Peso total cestas [kg]
						Vazio	Carga	PBT			
3x3	107.340.200 CrMo	234	2.030	1.103,20	1.103,2	1.266	161	1.427	46	114	65.642
3x4	107.340.200 CrMo	312	2.030	1.103,20	1.438,4	1.588	215	1.803	35	113	63.105
4x4	107.340.200 CrMo	416	2.030	1.438,40	1.438,4	2.014	286	2.300	26	109	59.800
3x3	119.356.200 CrMo	260,3	2.030	1.103,20	1.103,2	1.334	179	1.514	41	101	62.074
3x4	119.356.200 CrMo	347	2.030	1.103,20	1.438,4	1.679	239	1.918	31	100	59.458
4x4	119.356.200 CrMo	462,7	2.030	1.438,40	1.438,4	2.136	319	2.454	23	97	56.442
3x3	136.356.200 CrMo	297,4	2.210	1.103,20	1.103,2	1.443	205	1.648	36	97	59.328
3x4	136.356.200 CrMo	396,6	2.210	1.103,20	1.438,4	1.824	273	2.097	27	95	56.619
4x4	136.356.200 CrMo	528,8	2.210	1.438,40	1.438,4	2.329	364	2.693	20	91	53.860
Menor valor =									20	91	53.860

CESTA	CILINDRO	PREÇO UNITÁRIO [R\$]	PREÇO TOTAL [R\$]
3x3	107.340.200 CrMo	28.254,57	1.299.710,22
3x4	107.340.200 CrMo	33.395,70	1.168.849,50
4x4	107.340.200 CrMo	40.250,55	1.046.514,30
3x3	119.356.200 CrMo	32.267,04	1.322.948,64
3x4	119.356.200 CrMo	38.745,67	1.201.115,77
4x4	119.356.200 CrMo	47.383,84	1.089.828,32
3x3	136.356.200 CrMo	34.445,35	1.240.032,60
3x4	136.356.200 CrMo	41.650,08	1.124.552,16
4x4	136.356.200 CrMo	51.256,39	1.025.127,80
Menor preço total =		R\$ 1.025.127,80	

3.1.3 CUSTO DOS RESERVATÓRIOS DE GÁS NATURAL COMPRIMIDO

Na tabela 25 e na tabela 26, estão listados os preços totais das cestas de cilindros de GNV, para empurradores E_M 1MCP e E_M 2MCP em função da taxa de substituição com valores de 90%, 75% e 50%, e dos consumos de combustíveis originários da tabela 15 e da tabela 16 nos trechos Belém-Manaus, considerando abastecimentos tanto em Manaus quanto em Belém.

Os preços totais das cestas de cilindros juntamente com a aquisição e instalação dos kits de conversão, compuseram os investimentos usados na análise econômica.

Tabela 25

Custo total das cestas de cilindros em função da taxa de substituição e consumos para E_M 1MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC	VOLUME TOTAL DAS CESTAS	PESO TOTAL DAS CESTAS (PBT)	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL DAS CESTAS
[%]	[m3]	[kg]	[R\$]	[R\$]
90	91	53.860	51.256,39	1.025.127,80
75	78	45.781	51.256,39	871.358,63
50	50	29.623	51.256,39	563.820,29

Tabela 26

Custo total das cestas em função da taxa de substituição e consumos para E_M 2MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC	VOLUME TOTAL DAS CESTAS	PESO TOTAL DAS CESTAS (PBT)	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL DAS CESTAS
[%]	[m3]	[kg]	[R\$]	[R\$]
90	169	99.641	51.256,39	1.896.486,43
75	142	83.483	51.256,39	1.588.948,09
50	91	53.860	51.256,39	1.025.127,80

3.1.4 BENEFÍCIOS FINANCEIROS DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE DIESEL POR GÁS NATURAL COMPRIMIDO

Os benefícios financeiros anuais, devido à substituição parcial do diesel por gás natural comprimido, por rebocadores E_M 1MCP e E_M 2MCP, em função da taxa de substituição, estão listados na tabela 27:

Tabela 27
Benefício anual em função da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido

REBOCADOR TIPO	TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC	BENEFÍCIO ANUAL
	[%]	[R\$]
E_M 1MCP	90	324.388,53
E_M 1MCP	75	270.323,77
E_M 1MCP	50	180.215,85
E_M 2MCP	90	584.392,28
E_M 2MCP	75	486.993,57
E_M 2MCP	50	324.662,38

3.1.5 CUSTO DO FRETE DOS RESERVATÓRIOS NOS TRECHOS BELÉM-MANAUS-BELÉM

A composição do frete de cargas estava assim constituída em janeiro de 2007 no trajeto Belém-Manaus-Belém, para a empresa analisada:

- Preço unitário do frete: R\$ 511,99 por tonelada;
- Taxa advalorem (seguro): 0,5% sobre o valor da nota fiscal - R\$2,56 por nota fiscal emitida;
- Gerenciamento de risco: 0,3% sobre o valor da nota fiscal - R\$ 1,54 por nota fiscal emitida;
- ICMS (Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços): 12% sobre o valor da nota fiscal emitida - R\$ 61,44 sobre o valor da nota fiscal emitida;
- Taxa de emissão do Conhecimento de Transporte Aquaviário de Cargas (CTAC): R\$ 48,54 por conhecimento emitido.
- Preço total do frete: R\$ 577,53 por tonelada.

Considerou-se que os reservatórios de GNC serão instalados nas balsas e não nos empurradores devido o volume que será ocupado, e isto gerará uma perda

de espaço que deixará de gerar frete, o que provocará uma perda de arrecadação. Por esta razão será calculado a seguir o valor do frete perdido por viagem completa Belém-Manaus-Belém, para cada tipo de empurrador.

- para empurradores do tipo E M 1MCP, teremos:

Tabela 28

Custo do frete das cestas por viagem completa Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição para E_M 1MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC [%]	PESO TOTAL CESTAS (PBT) [kg]	PREÇO UNITÁRIO FRETE BEL-MAO + MAO-BEL [R\$/t]	PREÇO TOTAL FRETE BEL-MAO + MAO-BEL [R\$]
90	53.860	577,53	31.202,85
75	45.781	577,53	26.536,98
50	29.623	577,53	17.205,25

Tabela 29

Custo do frete das cestas por ano Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição e a quantidade de viagens por ano, para E_M 1MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC [%]	PREÇO FRETE POR VIAGEM COMPLETA BEL-MAO-BEL [R\$]	QUANTIDADE VIAGENS POR ANO	PREÇO FRETE VIAGENS COMPLETAS BEL-MAO-BEL ANUAL [R\$]
90	31.202,85	30,35	947.006,37
75	26.536,98	30,35	805.397,37
50	17.205,25	30,35	522.179,37

- para empuradores do tipo E M 2MCP, teremos:

Tabela 30

Custo do frete das cestas por viagem completa Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição para E_M 2MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC	PESO TOTAL CESTAS (PBT)	PREÇO UNITÁRIO FRETE BEL-MAO + MAO-BEL	PREÇO TOTAL FRETE BEL-MAO + MAO-BEL
[%]	[kg]	[R\$/t]	[R\$]
90	99.641	577,53	57.642,75
75	83.483	577,53	48.311,02
50	53.860	577,53	31.202,85

Tabela 31

Custo do frete das cestas por ano Belém-Manaus-Belém, em função da taxa de substituição e a quantidade de viagens por ano, para E_M 2MCP

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DIESEL/GNC	PREÇO FRETE POR VIAGEM COMPLETA BEL-MAO-BEL	QUANTIDADE VIAGENS POR ANO	PREÇO FRETE VIAGENS COMPLETAS BEL-MAO-BEL ANUAL
[%]	[R\$]		[R\$]
90	57.642,75	29,67	1.710.260,30
75	48.311,02	29,67	1.433.387,87
50	31.202,85	29,67	925.788,43

3.1.6 CUSTO DO KIT DE CONVERSÃO DIESEL/GNC

Os kits de conversão parcial de motores diesel em diesel/Gás Natural, assim como os motores de combustão interna, também passaram por uma evolução tecnológica ao longo das últimas duas décadas, constatada nas gerações listadas abaixo:

- 1ª Geração: Os sistemas de primeira geração eram mecânicos, sendo a proporção de ar / Gás Natural dosada por um venturi calibrado e a quantidade de diesel ajustada mecanicamente (injeção piloto). O índice de substituição do diesel pelo gás era baixo.

A conversão de um motor de ignição por compressão requer, geralmente, a instalação de um kit semelhante àqueles utilizados nos motores de ignição por centelha (motores leves do ciclo Otto). Os kits de primeira geração eram constituídos dos seguintes componentes básicos (vide figura 19):

- 1 - Sistema de abastecimento e armazenamento de gás sob alta pressão ou liquefeito;
- 2 - Sistema de redução ou evaporação do gás;
- 3 - Sistema de redução do débito de óleo diesel;
- 4 - Sistema de dosagem e mistura ar/gás natural.

Outros dispositivos passaram a ser incorporados aos kits de primeira geração. Dispositivos eletrônicos foram desenvolvidos para melhor controlar a injeção piloto, bem como a relação ar / gás natural, segundo as diferentes condições de operação do motor.

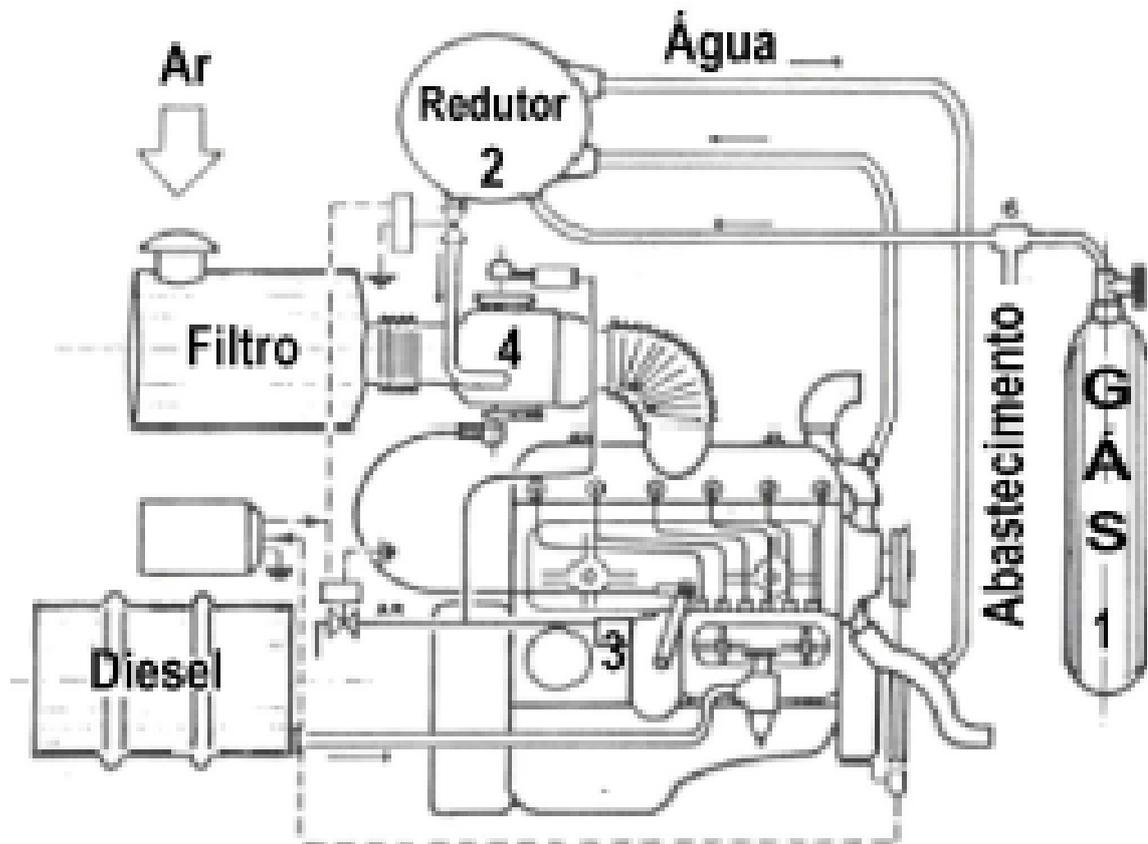


Figura 20 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 1ª Geração
 Fonte: (LASTRES, 1988)

- 2ª Geração: O kit de segunda geração ainda apresentava o venturi calibrado na alimentação de gás natural, porém o diesel era dosado eletronicamente. Alguns sensores eletrônicos passam a alimentar uma central eletrônica, a qual se encarregava de fazer a injeção piloto de diesel da maneira mais adequada e eficiente para cada condição de operação (MACHADO, 2005)

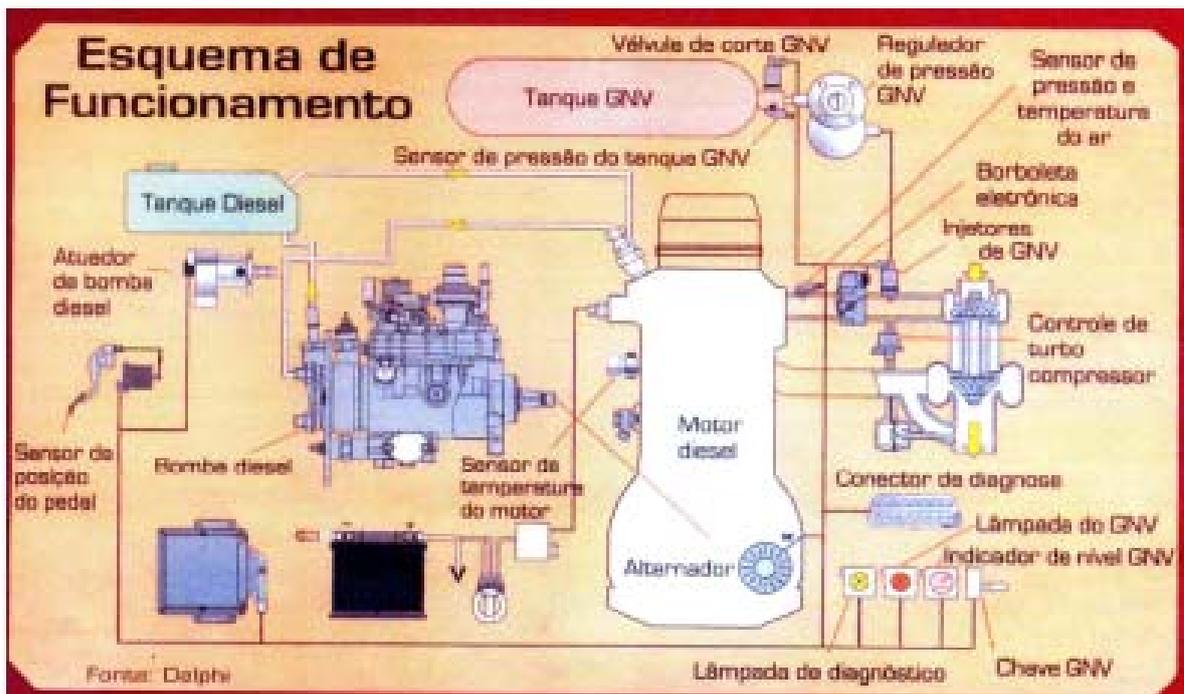


Figura 21 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 2ª Geração

Fonte: (DELPHI, 2005)

- 3ª Geração: No kit de terceira geração, o sistema possui controle eletrônico das injeções de diesel e de gás natural, sendo também “closed-loop”, ou seja, a formação da mistura também é controlada em função de um monitoramento das condições dos gases de escapamento; esse monitoramento é feito por uma sonda especial muitas vezes chamada sonda lâmbda. A diferença aqui é que a injeção de gás natural também passa a ser controlada e regulada eletronicamente (MACHADO, 2005).
- 4ª Geração: A quarta geração, ainda em pesquisas, emprega um injetor único para as injeções piloto de diesel e de gás (MACHADO, 2005). A maior parte dos estudos se encontra nos países industrializados e mesmo assim sem nenhuma aplicação comercial conhecida.

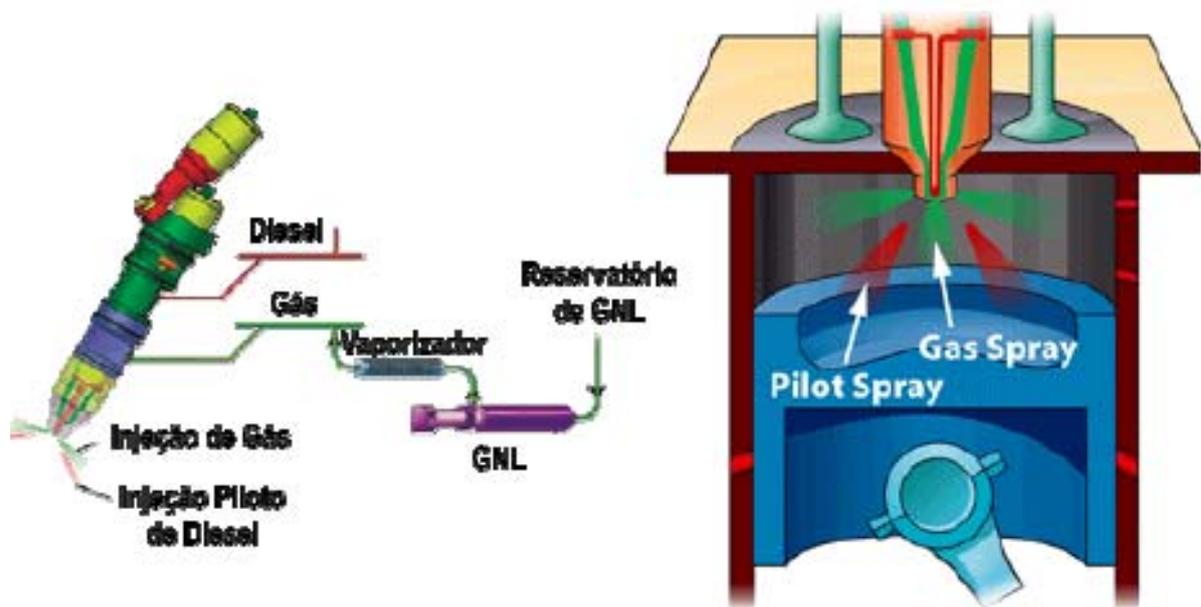


Figura 22 - Diagrama de funcionamento do kit diesel/Gás Natural de 4ª Geração
Fonte: (MARTHINS, 2004)

Cabe ressaltar que o desenvolvimento de um kit diesel/Gás Natural é específico para o motor em que será aplicado, sendo assim, esses kits não são intercambiáveis com diferentes motores e requerem uma otimização criteriosa para atingir desempenho satisfatório com emissões reduzidas. Sem tal desenvolvimento específico para o motor de aplicação, o potencial de redução de emissões atmosféricas com o gás natural, substituindo parcialmente o óleo diesel, poderá não ser satisfatório.

Tabela 32
Preço do Kit de conversão diesel/GNV

DESCRIÇÃO	CUSTO
Kit de Conversão DIESEL/GNC (CIVIC CORP)	R\$ 25.000,00

Fonte: (Conceição, 2006)

Com relação aos custos de manutenção dos motores convertidos ao uso de gás natural veicular não se pode encontrar nenhum indicador confiável dos estudos e experiências já realizados no país. A justificativa maior reside no fato de esses estudos e experimentos terem sido de curta duração e realizados principalmente em ônibus usados em transporte coletivo de cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, o que impossibilita uma avaliação comparativa consistente. onde há disponibilidade de gás natural, como exemplos citemos Campinas, Rio de Janeiro.

A variável custo de manutenção de kits de conversão Dual Fuel proposta por um fabricante (CIVIC CORP, 2006), foi de 10% do valor total do kit por ano (Conceição, 2006). Considerando-se que os empurradores são dotados de um propulsor (E_M 1MCP) e dois propulsores (E_M 2MCP), foram tomados por referência os custos de R\$ 2.500,00 (dois mil e quinhentos reais) e R\$ 5.000,00 (cinco mil reais), por ano, respectivamente.

3.2 ANÁLISE ECONÔMICA DA CONVERSÃO PARCIAL DE MOTORES DIESEL EM MOTORES DIESEL COM GÁS NATURAL MISTURADOS, EM FUNÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS MOTORES MARÍTIMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Para realizar a análise econômica da conversão parcial de motores diesel em motores diesel com gás natural misturados, em função do consumo energético dos motores marítimos, foram adotados os métodos de avaliação da viabilidade econômica (Gomes, 2004), descritos a seguir:

1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL);
2. VALOR ANUAL LÍQUIDO (VAL);
3. RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO (B/C);
4. TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR);
5. TEMPO DE RETORNO DO CAPITAL (TRC) (Período de Payback).

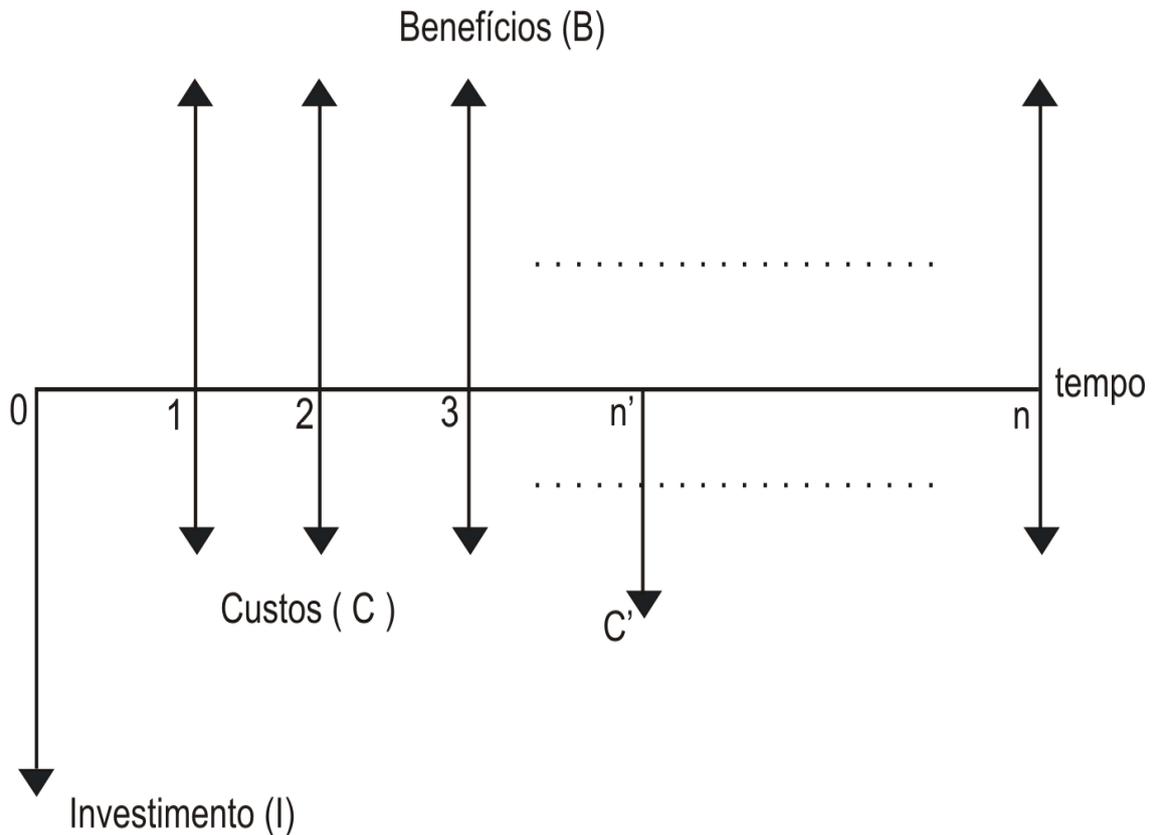


Figura 23 - Diagrama de Fluxo de Caixa

DIAGRAMA DE FLUXO DE CAIXA

Um fluxo de caixa é uma maneira simplificada de se representar, graficamente, receitas e as despesas de um projeto ao longo do tempo.

As receitas (benefícios do projeto) são representadas por setas (vetores) orientadas para cima e as despesas (investimentos e custos de operação e manutenção do projeto) são representadas por vetores orientados para baixo.

Convencionalmente, o investimento (inicial) incide no instante zero, enquanto que as receitas e os gastos ocorrem nos finais dos períodos considerados.

EQUIVALÊNCIA DE CAPITALIS

Um determinado montante (C') a incidir no final do período (n') será equivalente a um valor presente (C_{presente}), a incidir no instante zero, sujeito a uma taxa de juros (i), através da equação (22):

$$C_{\text{presente}} = \frac{C'}{(1 + i)^{n'}} \quad (11)$$

Exemplo: Um valor de R\$ 1.000,00 a incidir no final do 5º mês, sujeito a uma taxa de juros mensal de 2 %, será equivalente, no instante presente a:

$$C_{\text{presente}} = \frac{1000}{(1 + 2\%)^5} = \text{R\$ } 905,73$$

VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Este método é, geralmente, aplicado quando se deseja comparar várias alternativas de projeto mutuamente excludentes.

Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são transformados em valores presentes (instante zero).

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VALOR PRESENTE LÍQUIDO (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa. Quando as alternativas de projeto possuem os mesmos benefícios, aquela que proporcionar o menor VALOR PRESENTE LÍQUIDO dos custos envolvidos será a mais atrativa.

$VPL = \mathbf{B}$ Benefícios (valor presente) – Investimentos – \mathbf{C} Custos (valor presente)

$$VPL = B \times FVP(i, e, n) - I - C \times FVP(i, n) \quad (12)$$

B = Benefício uniforme (anual ou mensal)

C = Custo uniforme (anual ou mensal)

FVP = Fator de valor presente

$$FVP = \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \quad (13)$$

i = taxa de juros compostos (anual ou mensal)

n = período de tempo (anual ou mensal)

Quando se considera o aumento do custo do gás natural e do diesel, segundo uma taxa “ e ”, ao longo do alcance do projeto, o Fator de Valor Presente passa a ser:

$$FVP = \left[\frac{(1 + e)^n - (1 + i)^n}{(1 + e) - (1 + i)} \right] \times \left[\frac{1}{(1 + i)^n} \right] \quad (14)$$

A equação (14) não é aplicada para $e = i$

Considerando B'_j os benefícios líquidos (benefícios menos custos) ao longo de “ n ” períodos de tempo, o VPL pode, também, ser dado pela equação (22):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{B'_j}{(1 + i)^j} \quad (15)$$

Avaliação do VPL (exclusivamente financeira)

$VPL > 0 \rightarrow$ financeiramente atrativo (selecionar a alternativa de maior VPL)

$VPL < 0 \rightarrow$ financeiramente não atrativo

$VPL = 0 \rightarrow$ indiferente

VALOR ANUAL LÍQUIDO

Da mesma forma que o VPL o método do Valor Anual Líquido é indicado para comparar alternativas de projeto mutuamente excludentes.

Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são distribuídos em valores uniformes anuais.

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VAL (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa.

O método do VAL é menos aplicado do que o VPL.

$$\text{VAL} = B_{\text{uniforme}} - C_{\text{uniforme}} - I \times \text{FRC}(i,n) \quad (16)$$

FRC = Fator de recuperação de capital, também chamado **fator de amortização**.

$$\text{FRC} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (17)$$

$$\text{FRC} = \frac{1}{\text{FVL}} \quad (18)$$

Quando se considera o aumento do custo do gás natural e do diesel, segundo uma taxa “e”, ao longo do alcance do projeto, o custo do gás natural e do diesel (estimado inicialmente) deverá ser multiplicado pelo Fator de Equivalência Anual (FEA), dado por:

$$\text{FEA} = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \right] \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (19)$$

A equação (19) não é aplicada para $e = i$

$\text{VAL} > 0 \rightarrow$ financeiramente atrativo (selecionar a alternativa de maior VPL)

$\text{VAL} < 0 \rightarrow$ financeiramente não atrativo

$VAL = 0 \rightarrow$ indiferente (financeiramente)

RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO

Relação entre os todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, contabilizados numa mesma referência de tempo (valores presentes ou anuidades).

$B/C > 1 \rightarrow$ financeiramente atrativo (selecionar a alternativa de maior B/C)

$B/C < 1 \rightarrow$ financeiramente não atrativo

$B/C = 1 \rightarrow$ indiferente (financeiramente)

A viabilidade econômica pode ser avaliada, também, pela relação entre todos os custos e benefícios (**Relação C/B**), contabilizados numa mesma referência de tempo.

TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A **Taxa Interna de Retorno** é a taxa de juros que zera o Valor Presente Líquido (VPL), ou anual (VAL), do empreendimento. É a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas (benefícios) aos valores presentes dos custos de investimento e operação do projeto.

É um método amplamente recomendável para analisar a viabilidade econômica de um projeto isolado (por si mesmo), sem comparação com alternativas excludentes.

$TIR > i$ (taxa de juros do mercado ou de referência) \rightarrow financeiramente atrativo

$TIR = i \rightarrow$ indiferente

$TIR < i \rightarrow$ não atrativo

A forma prática de se determinar a TIR de um determinado projeto consiste em calcular valores de VPL para taxas crescentes de juros “i” (através de uma planilha eletrônica) e verificar qual o valor desta taxa que zera o Valor Presente Líquido do projeto.

Uma maneira de se avaliar a viabilidade através da TIR é compará-la com a **Taxa Mínima de Atratividade (TMA)**. A **TMA** é a expectativa mínima de lucratividade em termos de taxa de juros, que se espera de um investimento. Na prática a TMA pode ser considerada como a taxa de juros equivalente à maior rentabilidade das aplicações correntes de pouco risco.

TEMPO DE RETORNO DO CAPITAL (Payback)

- a) Tempo de retorno não descontado
- b) Tempo de retorno descontado

Tempo de Retorno Não Descontado - TR é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levar em conta às taxas de juros e de aumento do custo do gás natural e diesel esperados durante a análise do projeto. O valor de TRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento.

Tempo de Retorno Não Descontado é determinado, simplesmente, pela divisão do custo de implantação (**I**) do empreendimento pelo benefício líquido periódico esperado - **BL** (mensal ou anual).

$$TR = \frac{I}{BL} \quad (20)$$

Tempo de Retorno Descontado é o número de períodos que zera o Valor Presente Líquido, ou Valor Anual Líquido, do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento do custo do gás natural e do diesel.

A forma prática de se determinar o **Tempo de Retorno Descontado de um determinado projeto consiste em calcular valores de VPL para valores crescentes do número de períodos “n” (através de uma planilha eletrônica) e verificar qual o valor de “n” que zera o Valor Presente Líquido do projeto.**

A análise do Tempo de Retorno do Capital está diretamente relacionada, também, com a duração da vida útil do projeto.

Considerações sobre os Métodos de Avaliação Econômica Apresentados:

Os métodos apresentados diferem entre si pela forma como os indicadores de viabilidade são indicados ou interpretados.

No entanto, se um determinado projeto ou empreendimento é viável, através de um determinado método, ele o será perante os demais métodos.

É conveniente avaliar a viabilidade econômica de um determinado projeto através da análise simultânea dos métodos: VPL, Relação B/C, TIR e TRC descontado.

RISCOS E INCERTEZAS

Quanto mais incerteza houver em um determinado projeto, maiores serão os riscos.

3.2.1 ESTUDO DE CASO 1

Neste ESTUDO DE CASO 1 não foi considerado o volume e o peso que os reservatórios de GNC ocuparão nos empurradores ou nas balsas.

Esse estudo também poderá servir de base para avaliação da conversão de motores diesel estacionários usando diesel misturado com gás natural, em locais não servidos por gasoduto, mas que possam ser alimentados por gasoduto denominado de gasoduto virtual. Sendo uma aplicação muito importante para geração de energia elétrica nas pequenas cidades ao longo da calha do Rio Amazonas e seus afluentes, ainda não servidas pelas redes de eletricidade interligadas com a energia fornecida pelas usinas hidroelétricas.

PARA EMPURRADORES E_M 1MCP

Pretende-se investir em equipamentos para converter motores que consomem diesel em motores que possam usar também gás natural, usados como propulsores de **empurradores E_M 1MCP**, dotados de um único propulsor, para que na operação do motor seja consumido de forma misturada diesel/GNC, em três cenários onde a taxa de juros anual (i) de 13 % a.a. (124ª reunião do COPOM-BACEN-24/01/2007) e taxa de aumento do custo anual (e) do gás natural e do diesel de 4 % a.a, e dependentes da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido, a seguir discriminados:

Cenário I: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 90%;

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 1.050.127,80. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 324.388,53 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 2.500,00 por ano.

A-I) Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 1.500.154,99 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 33}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 232.136,65 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 33}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes}) = [B \times FVP(i,e,n)] / [I + C \times FVP(i,n)]$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais}) = [B \times FEA(i,e,n)] / [C + I \times FRC(i,n)]$$

$$B/C = 2,41 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 33}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 34 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **34,06** %. Como este valor é superior à taxa de juros "i" (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 33 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,2** ano.

O Tempo de Retorno do Capital não descontado será:

$$TR = I / (B - C)$$

$$TR = \mathbf{3,26} \text{ ano}$$

O TR não descontado é bem menos realista que o TR descontado.

B-I) Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 34 e tabela 35 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 34, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 34,06 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 35, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,97.

Tabela 33

– Cálculo do **VPL**, **VAL**, Relação **Benefício/Custo** e **Tempo de Retorno de Capital Descontado**, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros..

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	1	0,885	0,885	-765.270,69	1,000	1,130	-864.755,88	0,27
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	2	1,699	1,668	-503.023,01	1,019	0,599	-301.554,03	0,52
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	3	2,449	2,361	-261.593,00	1,037	0,424	-110.790,38	0,75
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	4	3,139	2,974	-39.330,60	1,055	0,336	-13.222,72	0,96
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	5	3,774	3,517	165.283,76	1,073	0,284	46.992,58	1,16
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	6	4,358	3,998	353.649,44	1,090	0,250	88.466,55	1,33
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	7	4,896	4,423	527.055,04	1,107	0,226	119.172,84	1,50
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	8	5,391	4,799	686.687,20	1,123	0,208	143.096,49	1,65
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	9	5,847	5,132	833.638,58	1,139	0,195	162.450,23	1,78
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	10	6,266	5,426	968.915,32	1,155	0,184	178.560,97	1,91
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	11	6,652	5,687	1.093.443,88	1,170	0,176	192.272,76	2,03
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	12	7,007	5,918	1.208.077,31	1,184	0,169	204.148,25	2,13
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	13	7,334	6,122	1.313.601,06	1,198	0,163	214.577,18	2,23
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	14	7,635	6,302	1.410.738,33	1,211	0,159	223.838,32	2,32
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	1.500.154,99	1,224	0,155	232.136,65	2,41

E_M 1MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 34

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	33,5	4	15	3,310	2,946	16.156,38	1,124	0,339	5.484,32	1,02
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	33,61	4	15	3,298	2,937	12.472,08	1,123	0,341	4.247,01	1,01
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	33,72	4	15	3,287	2,927	8.811,14	1,123	0,342	3.009,81	1,01
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	33,83	4	15	3,276	2,918	5.173,35	1,122	0,343	1.772,71	1,00
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	33,94	4	15	3,264	2,909	1.558,52	1,122	0,344	535,71	1,00
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,06	4	15	3,253	2,900	-2.033,57	1,122	0,345	-701,18	1,00
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,17	4	15	3,242	2,891	-5.603,09	1,121	0,346	-1.937,97	0,99
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,28	4	15	3,231	2,882	-9.150,25	1,121	0,347	-3.174,66	0,99
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,39	4	15	3,220	2,873	-12.675,23	1,121	0,348	-4.411,23	0,99
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,5	4	15	3,209	2,865	-16.178,23	1,120	0,349	-5.647,70	0,98
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,61	4	15	3,199	2,856	-19.659,44	1,120	0,350	-6.884,06	0,98
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,72	4	15	3,188	2,847	-23.119,04	1,120	0,351	-8.120,31	0,98
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,83	4	15	3,177	2,838	-26.557,21	1,119	0,352	-9.356,45	0,97
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	34,94	4	15	3,167	2,830	-29.974,14	1,119	0,353	-10.592,47	0,97
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	35,06	4	15	3,156	2,821	-33.370,00	1,119	0,354	-11.828,38	0,97

E_M 1MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 35

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e", para E_M 1MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	0	15	6,462	6,462	1.030.037,82	1,000	0,155	159.389,89	1,97
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	1	15	6,786	6,462	1.135.156,84	1,050	0,155	175.656,19	2,06
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	2	15	7,135	6,462	1.248.104,85	1,104	0,155	193.133,97	2,17
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	3	15	7,509	6,462	1.369.534,86	1,162	0,155	211.924,26	2,28
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	1.500.154,99	1,224	0,155	232.136,65	2,41
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	5	15	8,345	6,462	1.640.732,89	1,291	0,155	253.889,93	2,54
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	6	15	8,812	6,462	1.792.100,57	1,364	0,155	277.312,83	2,68
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	7	15	9,314	6,462	1.955.159,52	1,441	0,155	302.544,86	2,83
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	8	15	9,856	6,462	2.130.886,31	1,525	0,155	329.737,14	3,00
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	9	15	10,440	6,462	2.320.338,48	1,616	0,155	359.053,31	3,18
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	10	15	11,070	6,462	2.524.661,00	1,713	0,155	390.670,54	3,37
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	11	15	11,749	6,462	2.745.093,08	1,818	0,155	424.780,59	3,57
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	12	15	12,483	6,462	2.982.975,53	1,932	0,155	461.590,94	3,80
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	13,1	15	13,357	6,462	3.266.535,85	2,067	0,155	505.469,57	4,06
1.050.127,80	324.388,53	2.500,00	13	14	15	14,129	6,462	3.517.010,81	2,186	0,155	544.228,51	4,30

E_M 1MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Cenário II: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 75%:

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 896.358,63. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível

consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 270.323,77 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 2.500,00 por ano.

A-II. Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 1.226.184,33 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 36}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 189.741,95 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 36}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 2,34 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 36}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 37 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **33,3 %**. Como este valor é superior à taxa de juros "i" (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 36 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,3** ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = \mathbf{3,34} \text{ ano}$$

B-II Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 37 e tabela 38 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 37, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 33,3 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 38, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,91.

Tabela 36

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	1	0,885	0,885	-659.346,44	1,000	1,130	-745.061,48	0,27
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	2	1,699	1,668	-441.133,02	1,019	0,599	-264.452,00	0,51
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	3	2,449	2,361	-240.230,12	1,037	0,424	-101.742,73	0,73
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	4	3,139	2,974	-55.267,01	1,055	0,336	-18.580,45	0,94
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	5	3,774	3,517	115.018,81	1,073	0,284	32.701,52	1,13
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	6	4,358	3,998	271.790,07	1,090	0,250	67.989,16	1,30
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	7	4,896	4,423	416.117,63	1,107	0,226	94.088,69	1,46
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	8	5,391	4,799	548.987,69	1,123	0,208	114.401,74	1,60
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	9	5,847	5,132	671.308,46	1,139	0,195	130.817,14	1,74
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	10	6,266	5,426	783.916,34	1,155	0,184	144.467,59	1,86
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	11	6,652	5,687	887.581,51	1,170	0,176	156.073,62	1,97
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	12	7,007	5,918	983.013,24	1,184	0,169	166.115,56	2,08
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	13	7,334	6,122	1.070.864,63	1,198	0,163	174.926,10	2,17
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	14	7,635	6,302	1.151.737,07	1,211	0,159	182.743,24	2,26
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	1.226.184,33	1,224	0,155	189.741,95	2,34

E_M 1MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 37

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"j" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
896.358,63	270.323,77	2.500,00	32,5	4	15	3,416	3,032	19.487,97	1,127	0,330	6.427,96	1,02
896.358,63	270.323,77	2.500,00	32,61	4	15	3,404	3,022	16.238,72	1,126	0,331	5.373,53	1,02
896.358,63	270.323,77	2.500,00	32,72	4	15	3,392	3,012	13.010,51	1,126	0,332	4.319,16	1,01
896.358,63	270.323,77	2.500,00	32,83	4	15	3,380	3,003	9.803,15	1,126	0,333	3.264,86	1,01
896.358,63	270.323,77	2.500,00	32,94	4	15	3,368	2,993	6.616,46	1,125	0,334	2.210,62	1,01
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,06	4	15	3,356	2,984	3.450,27	1,125	0,335	1.156,45	1,00
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,17	4	15	3,345	2,974	304,38	1,125	0,336	102,35	1,00
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,28	4	15	3,333	2,965	-2.821,38	1,124	0,337	-951,69	1,00
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,39	4	15	3,321	2,955	-5.927,18	1,124	0,338	-2.005,65	0,99
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,5	4	15	3,310	2,946	-9.013,20	1,124	0,339	-3.059,54	0,99
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,61	4	15	3,298	2,937	-12.079,61	1,123	0,341	-4.113,36	0,99
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,72	4	15	3,287	2,927	-15.126,58	1,123	0,342	-5.167,10	0,98
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,83	4	15	3,276	2,918	-18.154,27	1,122	0,343	-6.220,76	0,98
896.358,63	270.323,77	2.500,00	33,94	4	15	3,264	2,909	-21.162,86	1,122	0,344	-7.274,35	0,98
896.358,63	270.323,77	2.500,00	34,06	4	15	3,253	2,900	-24.152,52	1,122	0,345	-8.327,86	0,97

E_M 1MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 38

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e", para E_M 1MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"j" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	0	15	6,462	6,462	834.420,03	1,000	0,155	129.119,64	1,91
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	1	15	6,786	6,462	922.019,21	1,050	0,155	142.674,89	2,01
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	2	15	7,135	6,462	1.016.142,55	1,104	0,155	157.239,71	2,11
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	3	15	7,509	6,462	1.117.334,22	1,162	0,155	172.898,29	2,22
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	1.226.184,33	1,224	0,155	189.741,95	2,34
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	5	15	8,345	6,462	1.343.332,58	1,291	0,155	207.869,67	2,47
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	6	15	8,812	6,462	1.469.472,31	1,364	0,155	227.388,76	2,61
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	7	15	9,314	6,462	1.605.354,77	1,441	0,155	248.415,45	2,76
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	8	15	9,856	6,462	1.751.793,75	1,525	0,155	271.075,68	2,92
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	9	15	10,440	6,462	1.909.670,56	1,616	0,155	295.505,82	3,09
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	10	15	11,070	6,462	2.079.939,32	1,713	0,155	321.853,51	3,28
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	11	15	11,749	6,462	2.263.632,72	1,818	0,155	350.278,56	3,48
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	12	15	12,483	6,462	2.461.868,09	1,932	0,155	380.953,85	3,70
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	13,1	15	13,357	6,462	2.698.168,35	2,067	0,155	417.519,37	3,96
896.358,63	270.323,77	2.500,00	13	14	15	14,129	6,462	2.906.897,49	2,186	0,155	449.818,49	4,19

E_M 1MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Cenário III: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 50%;

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 588.820,29. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 180.215,85 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 2.500,00 por ano.

A-III Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 820.823,06 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 39}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 127.015,62 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 39}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 2,36 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 39}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 40 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **33,6 %**. Como este valor é superior à taxa de juros "i" (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 39 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,2** ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = 3,31 \text{ ano}$$

B-III Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 40 e tabela 41 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 40, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 33,6 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 41, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,93.

Tabela 39

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	1	0,885	0,885	-431.549,63	1,000	1,130	-487.651,08	0,27
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	2	1,699	1,668	-286.726,63	1,019	0,599	-171.887,90	0,52
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	3	2,449	2,361	-153.368,90	1,037	0,424	-64.955,10	0,74
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	4	3,139	2,974	-30.571,26	1,055	0,336	-10.277,88	0,95
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	5	3,774	3,517	82.500,32	1,073	0,284	23.456,04	1,14
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	6	4,358	3,998	186.614,23	1,090	0,250	46.682,15	1,31
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	7	4,896	4,423	282.478,39	1,107	0,226	63.871,42	1,47
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	8	5,391	4,799	370.744,96	1,123	0,208	77.258,33	1,62
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	9	5,847	5,132	452.014,75	1,139	0,195	88.083,62	1,75
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	10	6,266	5,426	526.841,17	1,155	0,184	97.091,33	1,87
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	11	6,652	5,687	595.734,04	1,170	0,176	104.754,74	1,99
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	12	7,007	5,918	659.162,94	1,184	0,169	111.389,36	2,09
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	13	7,334	6,122	717.560,40	1,198	0,163	117.213,74	2,19
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	14	7,635	6,302	771.324,79	1,211	0,159	122.384,17	2,28
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	820.823,06	1,224	0,155	127.015,62	2,36

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 40

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	2.500,00	32,5	4	15	3,416	3,032	19.217,66	1,127	0,330	6.338,80	1,03
588.820,29	180.215,85	2.500,00	32,61	4	15	3,404	3,022	17.061,57	1,126	0,331	5.645,80	1,03
588.820,29	180.215,85	2.500,00	32,72	4	15	3,392	3,012	14.919,43	1,126	0,332	4.952,85	1,03
588.820,29	180.215,85	2.500,00	32,83	4	15	3,380	3,003	12.791,12	1,126	0,333	4.259,94	1,02
588.820,29	180.215,85	2.500,00	32,94	4	15	3,368	2,993	10.676,52	1,125	0,334	3.567,08	1,02
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,06	4	15	3,356	2,984	8.575,50	1,125	0,335	2.874,26	1,01
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,17	4	15	3,345	2,974	6.487,95	1,125	0,336	2.181,50	1,01
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,28	4	15	3,333	2,965	4.413,76	1,124	0,337	1.488,79	1,01
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,39	4	15	3,321	2,955	2.352,79	1,124	0,338	796,12	1,00
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,5	4	15	3,310	2,946	304,95	1,124	0,339	103,51	1,00
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,61	4	15	3,298	2,937	-1.729,89	1,123	0,341	-589,05	1,00
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,72	4	15	3,287	2,928	-3.751,84	1,123	0,342	-1.281,55	0,99
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,83	4	15	3,276	2,918	-5.761,00	1,122	0,343	-1.974,01	0,99
588.820,29	180.215,85	2.500,00	33,94	4	15	3,265	2,909	-7.757,50	1,122	0,344	-2.666,40	0,99
588.820,29	180.215,85	2.500,00	34,05	4	15	3,253	2,900	-9.741,43	1,122	0,345	-3.358,75	0,98

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 41

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e”, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	0	15	6,462	6,462	559.646,86	1,000	0,155	86.600,75	1,93
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	1	15	6,786	6,462	618.046,31	1,050	0,155	95.637,59	2,02
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	2	15	7,135	6,462	680.795,20	1,104	0,155	105.347,46	2,13
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	3	15	7,509	6,462	748.256,32	1,162	0,155	115.786,51	2,24
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	4	15	7,912	6,462	820.823,06	1,224	0,155	127.015,62	2,36
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	5	15	8,345	6,462	898.921,90	1,291	0,155	139.100,77	2,49
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	6	15	8,812	6,462	983.015,05	1,364	0,155	152.113,50	2,62
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	7	15	9,314	6,462	1.073.603,36	1,441	0,155	166.131,29	2,77
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	8	15	9,856	6,462	1.171.229,35	1,525	0,155	181.238,11	2,94
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	9	15	10,440	6,462	1.276.480,56	1,616	0,155	197.524,87	3,11
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	10	15	11,070	6,462	1.389.993,07	1,713	0,155	215.090,00	3,30
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	11	15	11,749	6,462	1.512.455,33	1,818	0,155	234.040,03	3,50
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	12	15	12,483	6,462	1.644.612,25	1,932	0,155	254.490,23	3,72
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	13,1	15	13,357	6,462	1.802.145,76	2,067	0,155	278.867,24	3,98
588.820,29	180.215,85	2.500,00	13	14	15	14,129	6,462	1.941.298,52	2,186	0,155	300.399,99	4,21

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção de um kit de conversão.

PARA EMPURRADORES E_M 2MCP

Pretende-se investir em equipamentos para converter motores que consomem diesel em motores que possam usar também gás natural, usados como propulsores de empurraadores E_M 2MCP, dotados de um duplo sistema de propulsão, para que na operação do motor seja consumido de forma misturada diesel/GNC, em três cenários dependentes da taxa de substituição de diesel por gás natural comprimido, a seguir discriminados:

Cenário IV: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 90%:

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 1.946.486,43. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelos motores, proporcionando uma economia anual de R\$ 584.392,28 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 5.000,00 por ano.

A-IV Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 2.644.691,24 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 42}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 409.244,23 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 42}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes})/(\text{soma dos custos presentes})$$

$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais})/(\text{soma dos custos anuais})$

$B/C = 2,34$ ← dado da tabela 42

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 43 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **33,1 %**. Como este valor é superior à taxa de juros “i” (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 42 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,3** ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = \mathbf{3,36}$$
 ano

B-IV Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel

Através da tabela 43 e tabela 44 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 43, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 33,1 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 44, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,91.

Tabela 42

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	1	0,885	0,885	-1.433.749,90	1,000	1,130	-1.620.137,39	0,27
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	2	1,699	1,668	-961.694,16	1,019	0,599	-576.519,85	0,51
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	3	2,449	2,361	-527.097,17	1,037	0,424	-223.237,23	0,73
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	4	3,139	2,974	-126.991,44	1,055	0,336	-42.693,79	0,94
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	5	3,774	3,517	241.356,01	1,073	0,284	68.621,03	1,12
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	6	4,358	3,998	580.462,13	1,090	0,250	145.204,48	1,30
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	7	4,896	4,423	892.644,80	1,107	0,226	201.836,63	1,45
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	8	5,391	4,799	1.180.038,60	1,123	0,208	245.904,37	1,60
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	9	5,847	5,132	1.444.609,20	1,139	0,195	281.509,41	1,73
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	10	6,266	5,426	1.688.166,73	1,155	0,184	311.111,50	1,86
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	11	6,652	5,687	1.912.378,00	1,170	0,176	336.275,33	1,97
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	12	7,007	5,918	2.118.777,89	1,184	0,169	358.043,98	2,07
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	13	7,334	6,122	2.308.779,68	1,198	0,163	377.139,95	2,17
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	14	7,635	6,302	2.483.684,71	1,211	0,159	394.080,03	2,26
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	2.644.691,24	1,224	0,155	409.244,23	2,34

E_M 2MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 43

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	32,5	4	15	3,416	3,032	34.638,79	1,127	0,330	11.425,34	1,02
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	32,6111	4	15	3,404	3,022	27.610,54	1,126	0,331	9.136,56	1,01
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	32,7222	4	15	3,392	3,012	20.627,79	1,126	0,332	6.847,91	1,01
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	32,8333	4	15	3,380	3,003	13.690,15	1,126	0,333	4.559,39	1,01
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	32,9444	4	15	3,368	2,993	6.797,21	1,125	0,334	2.271,01	1,00
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,0555	4	15	3,356	2,984	-51,40	1,125	0,335	-17,23	1,00
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,1666	4	15	3,345	2,974	-6.856,09	1,125	0,336	-2.305,32	1,00
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,2777	4	15	3,333	2,965	-13.617,24	1,124	0,337	-4.593,27	0,99
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,3888	4	15	3,321	2,955	-20.335,22	1,124	0,338	-6.881,07	0,99
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,4999	4	15	3,310	2,946	-27.010,42	1,124	0,339	-9.168,71	0,99
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,6111	4	15	3,298	2,937	-33.643,19	1,123	0,341	-11.456,20	0,98
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,7221	4	15	3,287	2,927	-40.233,92	1,123	0,342	-13.743,54	0,98
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,8332	4	15	3,276	2,918	-46.782,97	1,122	0,343	-16.030,71	0,98
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	33,9443	4	15	3,264	2,909	-53.290,69	1,122	0,344	-18.317,72	0,97
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	34,0554	4	15	3,253	2,900	-59.757,45	1,122	0,345	-20.604,56	0,97

E_M 2MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 44

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e”, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 90%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	0	15	6,462	6,462	1.797.765,97	1,000	0,155	278.189,51	1,91
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	1	15	6,786	6,462	1.987.139,95	1,050	0,155	307.493,57	2,00
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	2	15	7,135	6,462	2.190.617,98	1,104	0,155	338.980,13	2,11
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	3	15	7,509	6,462	2.409.376,52	1,162	0,155	372.831,21	2,22
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	2.644.691,24	1,224	0,155	409.244,23	2,34
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	5	15	8,345	6,462	2.897.945,08	1,291	0,155	448.433,18	2,46
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	6	15	8,812	6,462	3.170.636,91	1,364	0,155	490.630,00	2,60
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	7	15	9,314	6,462	3.464.390,81	1,441	0,155	536.086,00	2,75
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	8	15	9,856	6,462	3.780.966,05	1,525	0,155	585.073,42	2,91
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	9	15	10,440	6,462	4.122.267,84	1,616	0,155	637.887,06	3,08
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	10	15	11,070	6,462	4.490.358,86	1,713	0,155	694.846,12	3,27
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	11	15	11,749	6,462	4.887.471,55	1,818	0,155	756.296,05	3,47
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	12	15	12,483	6,462	5.316.021,45	1,932	0,155	822.610,62	3,69
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	13,1	15	13,357	6,462	5.826.860,91	2,067	0,155	901.658,83	3,94
1.946.486,43	584.392,28	5.000,00	13	14	15	14,129	6,462	6.278.096,45	2,186	0,155	971.483,82	4,17

E_M 2MCP 90%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Cenário V: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 75%;

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 1.638.948,09. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 486.993,57 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 5.000,00 por ano.

A-V Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 2.181.648,01 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 45}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA (i,e,n) - C - I \times FRC (i,n)$$

$$VAL = R\$ 337.592,10 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 45}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes})/(\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais})/(\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 2,31 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 45}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 46 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **32,7 %**. Como este valor é superior à taxa de juros “i” (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 45 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,3** ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = \mathbf{3,40} \text{ ano}$$

B-V Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 46 e tabela 47 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 46, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 32,7 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 47, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel ("e") quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,88.

Tabela 45

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	1	0,885	0,885	-1.212.405,11	1,000	1,130	-1.370.017,77	0,26
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	2	1,699	1,668	-819.677,95	1,019	0,599	-491.383,46	0,50
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	3	2,449	2,361	-458.091,33	1,037	0,424	-194.011,74	0,72
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	4	3,139	2,974	-125.180,98	1,055	0,336	-42.085,12	0,92
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	5	3,774	3,517	181.322,93	1,073	0,284	51.552,75	1,11
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	6	4,358	3,998	463.511,10	1,090	0,250	115.948,80	1,28
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	7	4,896	4,423	723.309,11	1,107	0,226	163.548,00	1,44
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	8	5,391	4,799	962.490,47	1,123	0,208	200.570,23	1,58
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	9	5,847	5,132	1.182.688,58	1,139	0,195	230.469,22	1,71
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	10	6,266	5,426	1.385.407,69	1,155	0,184	255.316,17	1,83
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	11	6,652	5,687	1.572.033,18	1,170	0,176	276.428,60	1,94
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	12	7,007	5,918	1.743.840,83	1,184	0,169	294.684,83	2,05
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	13	7,334	6,122	1.902.005,51	1,198	0,163	310.693,25	2,14
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	14	7,635	6,302	2.047.609,15	1,211	0,159	324.889,02	2,23
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	2.181.648,01	1,224	0,155	337.592,10	2,31

E_M 2MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 46

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	32,4	4	15	3,427	3,041	14.760,20	1,127	0,329	4.854,39	1,01
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	32,5	4	15	3,415	3,031	8.877,09	1,127	0,330	2.928,99	1,01
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	32,6	4	15	3,403	3,021	3.032,15	1,126	0,331	1.003,69	1,00
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	32,7	4	15	3,391	3,011	-2.774,96	1,126	0,332	-921,51	1,00
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	32,8	4	15	3,379	3,002	-8.544,55	1,126	0,333	-2.846,60	0,99
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33	4	15	3,367	2,992	-14.276,97	1,125	0,334	-4.771,58	0,99
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,1	4	15	3,355	2,983	-19.972,54	1,125	0,335	-6.696,46	0,99
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,2	4	15	3,343	2,973	-25.631,58	1,125	0,336	-8.621,21	0,98
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,3	4	15	3,332	2,964	-31.254,42	1,124	0,337	-10.545,86	0,98
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,4	4	15	3,320	2,954	-36.841,36	1,124	0,338	-12.470,38	0,98
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,5	4	15	3,309	2,945	-42.392,72	1,123	0,340	-14.394,79	0,97
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,6	4	15	3,297	2,936	-47.908,82	1,123	0,341	-16.319,07	0,97
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,7	4	15	3,286	2,927	-53.389,95	1,123	0,342	-18.243,22	0,97
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	33,8	4	15	3,275	2,917	-58.836,41	1,122	0,343	-20.167,25	0,96
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	34	4	15	3,263	2,908	-64.248,52	1,122	0,344	-22.091,15	0,96

E_M 2MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 47

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e", para E_M 2MCP, taxa de substituição de 75%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	0	15	6,462	6,462	1.475.876,95	1,000	0,155	228.379,83	1,88
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	1	15	6,786	6,462	1.633.688,60	1,050	0,155	252.799,88	1,98
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	2	15	7,135	6,462	1.803.253,63	1,104	0,155	279.038,68	2,08
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	3	15	7,509	6,462	1.985.552,41	1,162	0,155	307.247,91	2,19
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	2.181.648,01	1,224	0,155	337.592,10	2,31
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	5	15	8,345	6,462	2.392.692,88	1,291	0,155	370.249,56	2,43
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	6	15	8,812	6,462	2.619.936,08	1,364	0,155	405.413,57	2,57
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	7	15	9,314	6,462	2.864.730,99	1,441	0,155	443.293,57	2,71
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	8	15	9,856	6,462	3.128.543,69	1,525	0,155	484.116,42	2,87
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	9	15	10,440	6,462	3.412.961,86	1,616	0,155	528.127,79	3,04
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	10	15	11,070	6,462	3.719.704,37	1,713	0,155	575.593,67	3,23
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	11	15	11,749	6,462	4.050.631,62	1,818	0,155	626.801,95	3,42
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	12	15	12,483	6,462	4.407.756,53	1,932	0,155	682.064,09	3,64
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	13,1	15	13,357	6,462	4.833.456,08	2,067	0,155	747.937,60	3,89
1.638.948,09	486.993,57	5.000,00	13	14	15	14,129	6,462	5.209.485,71	2,186	0,155	806.125,09	4,12

E_M 2MCP 75%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Cenário VI: Quando a taxa de substituição de diesel por gás natural é igual a 50%:

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 1.075.127,80. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 324.662,38 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 5.000,00 por ano.

A-VI Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 1.461.165,64 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 48}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 226.103,37 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 48}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 2,32 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 48}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 49 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é de **33** %. Como este valor é superior à taxa de juros "i" (13 %) o empreendimento é economicamente viável.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 48 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de **4,3** ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = \mathbf{3,36} \text{ ano}$$

B-VI Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 49 e tabela 50 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 49, que o empreendimento é economicamente viável para “e” = 4% a.a., constante, para taxas de juros menores que 33 % a.a..

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 50, que o empreendimento é economicamente viável para quaisquer taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) quando as taxas de juros forem de 13 % a.a., pois a relação B/C será sempre maior ou igual a 1,89.

Tabela 48

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	1	0,885	0,885	-792.240,74	1,000	1,130	-895.232,03	0,27
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	2	1,699	1,668	-531.727,87	1,019	0,599	-318.762,12	0,51
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	3	2,449	2,361	-291.825,21	1,037	0,424	-123.594,39	0,73
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	4	3,139	2,974	-70.907,18	1,055	0,336	-23.838,58	0,93
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	5	3,774	3,517	132.524,16	1,073	0,284	37.678,55	1,12
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	6	4,358	3,998	319.849,07	1,090	0,250	80.011,28	1,29
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	7	4,896	4,423	492.339,31	1,107	0,226	111.323,24	1,45
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	8	5,391	4,799	651.166,63	1,123	0,208	135.694,48	1,59
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	9	5,847	5,132	797.410,55	1,139	0,195	155.390,52	1,72
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	10	6,266	5,426	932.065,65	1,155	0,184	171.769,96	1,85
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	11	6,652	5,687	1.056.048,14	1,170	0,176	185.697,04	1,96
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	12	7,007	5,918	1.170.202,07	1,184	0,169	197.747,87	2,06
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	13	7,334	6,122	1.275.304,92	1,198	0,163	208.321,49	2,15
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	14	7,635	6,302	1.372.072,88	1,211	0,159	217.703,37	2,24
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	1.461.165,64	1,224	0,155	226.103,37	2,32

E_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 49

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	32,6	4	15	3,405	3,023	15.264,03	1,126	0,331	5.049,37	1,01
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	32,7111	4	15	3,393	3,013	11.403,79	1,126	0,332	3.784,56	1,01
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	32,8222	4	15	3,381	3,004	7.568,51	1,126	0,333	2.519,82	1,01
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	32,9333	4	15	3,369	2,994	3.757,96	1,125	0,334	1.255,17	1,00
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,0444	4	15	3,357	2,984	-28,08	1,125	0,335	-9,41	1,00
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,1555	4	15	3,346	2,975	-3.789,82	1,125	0,336	-1.273,90	1,00
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,2666	4	15	3,334	2,966	-7.527,48	1,124	0,337	-2.538,31	0,99
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,3777	4	15	3,322	2,956	-11.241,25	1,124	0,338	-3.802,63	0,99
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,4888	4	15	3,311	2,947	-14.931,36	1,124	0,339	-5.066,87	0,99
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,5999	4	15	3,299	2,938	-18.598,01	1,123	0,340	-6.331,02	0,98
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,711	4	15	3,288	2,928	-22.241,39	1,123	0,341	-7.595,08	0,98
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,8221	4	15	3,277	2,919	-25.861,72	1,122	0,343	-8.859,04	0,98
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	33,9332	4	15	3,266	2,910	-29.459,19	1,122	0,344	-10.122,92	0,97
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	34,0443	4	15	3,254	2,901	-33.034,00	1,122	0,345	-11.386,69	0,97
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	34,1554	4	15	3,243	2,892	-36.586,35	1,121	0,346	-12.650,38	0,97

E_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

Tabela 50

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa “e”, para E_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, sem considerar frete anual das cestas de cilindros.

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	0	15	6,462	6,462	990.651,60	1,000	0,155	153.295,19	1,89
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	1	15	6,786	6,462	1.095.859,36	1,050	0,155	169.575,23	1,99
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	2	15	7,135	6,462	1.208.902,71	1,104	0,155	187.067,76	2,09
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	3	15	7,509	6,462	1.330.435,24	1,162	0,155	205.873,92	2,20
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	4	15	7,912	6,462	1.461.165,64	1,224	0,155	226.103,37	2,32
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	5	15	8,345	6,462	1.601.862,22	1,291	0,155	247.875,01	2,45
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	6	15	8,812	6,462	1.753.357,68	1,364	0,155	271.317,69	2,58
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	7	15	9,314	6,462	1.916.554,29	1,441	0,155	296.571,02	2,73
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	8	15	9,856	6,462	2.092.429,42	1,525	0,155	323.786,25	2,89
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	9	15	10,440	6,462	2.282.041,53	1,616	0,155	353.127,17	3,06
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	10	15	11,070	6,462	2.486.536,54	1,713	0,155	384.771,09	3,25
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	11	15	11,749	6,462	2.707.154,71	1,818	0,155	418.909,94	3,44
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	12	15	12,483	6,462	2.945.237,98	1,932	0,155	455.751,37	3,66
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	13,1	15	13,357	6,462	3.229.037,69	2,067	0,155	499.667,04	3,92
1.075.127,80	324.662,38	5.000,00	13	14	15	14,129	6,462	3.479.724,10	2,186	0,155	538.458,70	4,14

E_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e os dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" está incluso o custo de manutenção dos dois kits de conversão.

3.2.2 ESTUDO DE CASO 2

Neste ESTUDO DE CASO 2 foi considerado que os reservatórios de GNC ocuparão espaço nas balsas, visto que não haverá espaço disponível nos empurradores para tal, o que ocasionará uma perda de receita proveniente da perda do frete. A perda de receita foi denominada de FRETE ANUAL DAS CESTAS.

Visando simplificar a análise foi levado em consideração o caso mais simples, ou seja, quando são usados empurradores E_M 1MCP, com taxa de substituição de 50%, os quais necessitam de reservatórios para abastecimento de gás natural, formados por 11 (onze) cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo (vide tabela 21, fabricadas pela White Martins, conforme figura 19).

Considerando as dimensões de uma carreta fechada, tipo baú, de 14,90 m de comprimento e 2,64 m de largura (39,34 m²), chegamos a conclusão que 11 cestas ocuparão uma área (1,44 x 1,44 x 11= 22,81) de 22,80 m², equivalente a de uma carreta.

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 588.820,29. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 180.215,85 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 anos. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 2.500,00 por ano e a perda de receita pelo frete anual das cestas é de R\$ 522.179,37.

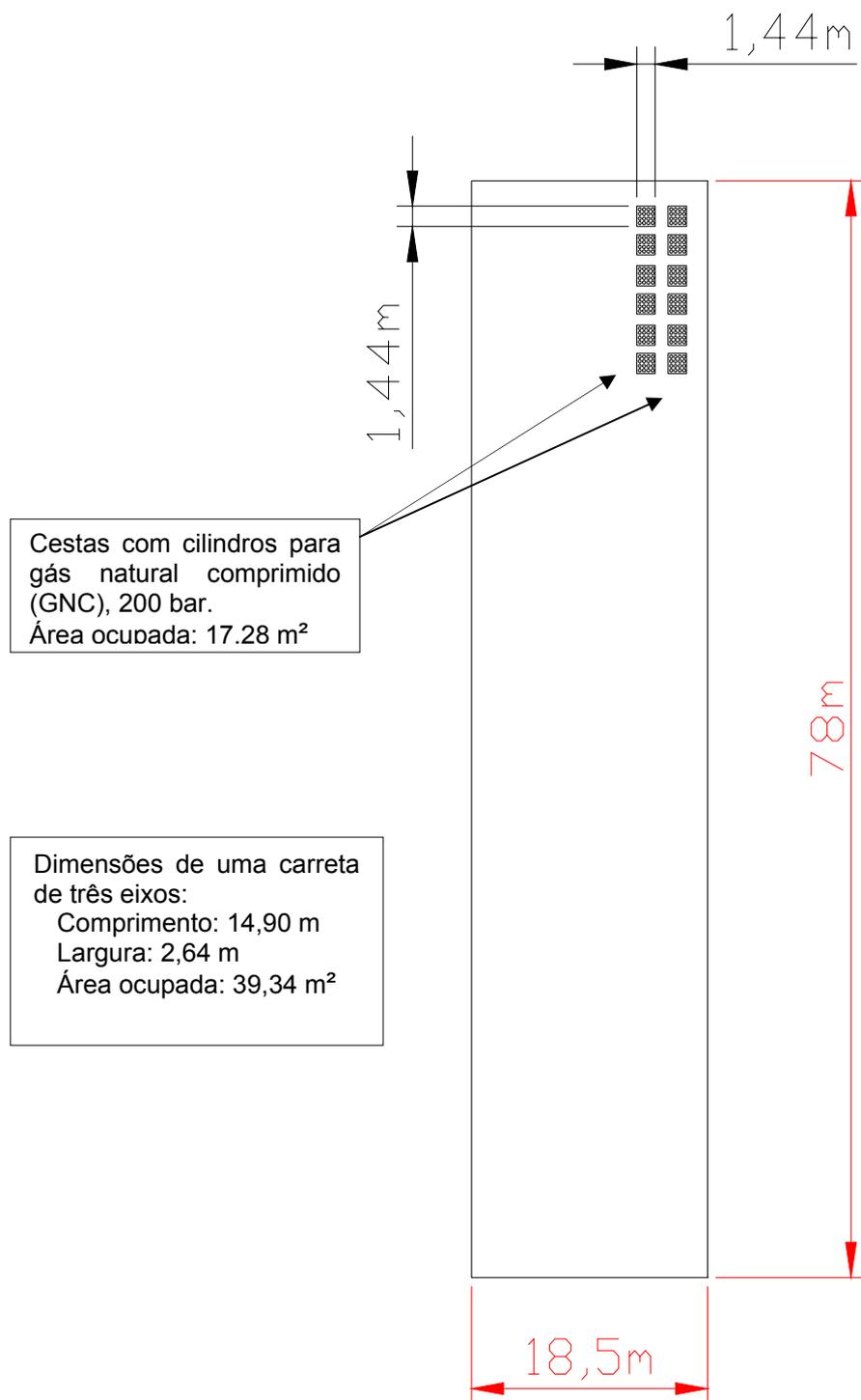


Figura 24 - Planta do convés de uma balsa para transporte de carretas, plotadas as cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo, fabricadas pela White Martins, usadas para abastecer empurradores E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%.

A - Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ -2.553.697,87 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 51}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ -395.163,75 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 51}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (1.380.900,00) / (900.000,00 + 87.720,00) = 1,40$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 0,36 \quad \leftarrow \text{ dado da tabela 51}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 52 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é sempre inferior à taxa de juros “i” (13%), o empreendimento é economicamente inviável ou financeiramente não atrativo.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 51 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é indeterminado.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = - 1,70 \text{ ano (inexiste tempo negativo)}$$

B - Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 52 e tabela 53 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros “i”, e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel “e”.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 52, que o empreendimento é economicamente inviável para “e” = 4% a.a., constante, e para quaisquer taxas de juros, visto que a relação B/C será sempre igual ou inferior 0,42.

Pode-se verificar, pelos dados da tabela 53, que o empreendimento é economicamente viável quando as taxas de juros forem de 13 % a.a. e as taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel (“e”) forem maiores ou igual a 20,81 % a.a., pois os VPL e VAL serão sempre maiores do que 0 (zero).

Tabela 51

– Cálculo do **VPL**, **VAL**, Relação **Benefício/Custo** e **Tempo de Retorno de Capital Descontado**, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Manaus-Belém: R\$522.179,37

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	1	0,885	0,885	-893.655,27	1,000	1,130	-1.009.830,45	0,15
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	2	1,699	1,668	-1.157.775,31	1,019	0,599	-694.067,28	0,21
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	3	2,449	2,361	-1.386.314,09	1,037	0,424	-587.134,47	0,24
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	4	3,139	2,974	-1.583.778,83	1,055	0,336	-532.457,25	0,26
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	5	3,774	3,517	-1.754.125,30	1,073	0,284	-498.723,33	0,28
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	6	4,358	3,998	-1.900.823,81	1,090	0,250	-475.497,22	0,29
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	7	4,896	4,423	-2.026.917,56	1,107	0,226	-458.307,96	0,30
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	8	5,391	4,799	-2.135.073,90	1,123	0,208	-444.921,05	0,31
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	9	5,847	5,132	-2.227.629,71	1,139	0,195	-434.095,76	0,32
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	10	6,266	5,426	-2.306.631,25	1,155	0,184	-425.088,05	0,33
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	11	6,652	5,687	-2.373.869,31	1,170	0,176	-417.424,63	0,34
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	12	7,007	5,918	-2.430.910,27	1,184	0,169	-410.790,01	0,34
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	13	7,334	6,122	-2.479.123,31	1,198	0,163	-404.965,64	0,35
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	14	7,635	6,302	-2.519.704,48	1,211	0,159	-399.795,20	0,35
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	4	15	7,912	6,462	-2.553.697,87	1,224	0,155	-395.163,75	0,36

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas BEL-MAO-BEL) das cestas e o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 52

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Manaus-Belém: R\$522.179,37

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	524.679,37	2	4	15	16,906	12,849	-4.283.766,60	1,316	0,078	-333.386,16	0,42
588.820,29	180.215,85	524.679,37	4,1	4	15	14,313	11,041	-3.802.447,74	1,296	0,091	-344.392,01	0,40
588.820,29	180.215,85	524.679,37	6	4	15	12,426	9,712	-3.445.191,96	1,279	0,103	-354.726,49	0,39
588.820,29	180.215,85	524.679,37	8	4	15	10,807	8,559	-3.132.265,84	1,263	0,117	-365.941,19	0,38
588.820,29	180.215,85	524.679,37	10	4	15	9,481	7,606	-2.870.921,49	1,247	0,131	-377.450,89	0,37
588.820,29	180.215,85	524.679,37	12	4	15	8,387	6,811	-2.650.837,73	1,231	0,147	-389.207,23	0,36
588.820,29	180.215,85	524.679,37	14	4	15	7,477	6,142	-2.464.025,77	1,217	0,163	-401.165,48	0,35
588.820,29	180.215,85	524.679,37	15	4	15	7,079	5,847	-2.381.093,02	1,211	0,171	-407.207,51	0,35
588.820,29	180.215,85	524.679,37	16	4	15	6,714	5,575	-2.304.253,69	1,204	0,179	-413.285,23	0,34
588.820,29	180.215,85	524.679,37	18	4	15	6,069	5,092	-2.166.623,13	1,192	0,196	-425.530,81	0,34
588.820,29	180.215,85	524.679,37	20	4	15	5,519	4,675	-2.047.255,45	1,181	0,214	-437.871,34	0,33
588.820,29	180.215,85	524.679,37	21	4	15	5,275	4,489	-1.993.428,04	1,175	0,223	-444.068,83	0,32
588.820,29	180.215,85	524.679,37	22	4	15	5,049	4,315	-1.943.057,47	1,170	0,232	-450.280,57	0,32
588.820,29	180.215,85	524.679,37	23	4	15	4,838	4,153	-1.895.850,97	1,165	0,241	-456.503,94	0,32
588.820,29	180.215,85	524.679,37	24	4	15	4,643	4,001	-1.851.545,22	1,160	0,250	-462.736,60	0,31

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas BEL-MAO-BEL) das cestas e o custo de manutenção de um kit de conversão.

Tabela 53

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e", para E_M 1MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Manaus-Belém: R\$522.179,37

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,79	15	22,057	6,462	-4.472,98	3,413	0,155	-692,16	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,8	15	22,072	6,462	-1.765,50	3,415	0,155	-273,20	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,81	15	22,087	6,462	944,08	3,418	0,155	146,09	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,82	15	22,102	6,462	3.655,77	3,420	0,155	565,70	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,83	15	22,117	6,462	6.369,56	3,422	0,155	985,64	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,84	15	22,132	6,462	9.085,47	3,425	0,155	1.405,90	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,85	15	22,147	6,462	11.803,48	3,427	0,155	1.826,49	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,86	15	22,162	6,462	14.523,61	3,429	0,155	2.247,41	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,87	15	22,178	6,462	17.245,85	3,432	0,155	2.668,65	1,00
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,88	15	22,193	6,462	19.970,21	3,434	0,155	3.090,23	1,01
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,89	15	22,208	6,462	22.696,68	3,436	0,155	3.512,12	1,01
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,9	15	22,223	6,462	25.425,27	3,439	0,155	3.934,35	1,01
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,91	15	22,238	6,462	28.155,99	3,441	0,155	4.356,91	1,01
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,92	15	22,253	6,462	30.888,83	3,444	0,155	4.779,79	1,01
588.820,29	180.215,85	524.679,37	13	20,93	15	22,268	6,462	33.623,79	3,446	0,155	5.203,00	1,01

E_M 1MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e um kit de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas BEL-MAO-BEL) das cestas e o custo de manutenção de um kit de conversão.

3.2.3 ESTUDO DE CASO 3

Neste ESTUDO DE CASO 3 foi considerado que os reservatórios de GNC ocuparão o porão para transporte de cargas, do navio N_M 2MCP, São Francisco de Paula, que transporta passageiros e cargas nos trechos Macapá-Belém e Belém-Macapá, ou seja, a viagem completa representa Macapá-Belém-Macapá, o que ocasionará uma perda de receita proveniente da perda do frete, a cada viagem completa. A perda de receita foi denominada de FRETE ANUAL DAS CESTAS.

Visando simplificar a análise, foi levado em consideração o caso quando a taxa de substituição é de 50%, que necessita de reservatórios para abastecimento de gás natural, formados por 4 (quatro) cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo, fabricadas pela White Martins, conforme figura XY. O abastecimento das quatro cestas ocorrerá sempre em Macapá e em Belém, visto que se o abastecimento ocorrer em um único porto, serão duplicadas as cestas necessárias e estas ocuparão mais espaço no porão de cargas.

O custo de investimento dos equipamentos está orçado em R\$ 255.025,56. Com estes equipamentos haverá uma redução no custo do combustível consumido pelo motor, proporcionando uma economia anual de R\$ 210.342,04 (estimada para o custo do gás natural e do diesel do primeiro ano do projeto). A vida útil dos equipamentos é de 15 ano. Haverá um custo de manutenção dos equipamentos de R\$ 5.000,00 por ano e a perda de receita pelo frete anual das cestas é de R\$ 151.411,42.



Figura 25 – Navio Motor São Francisco de Paula

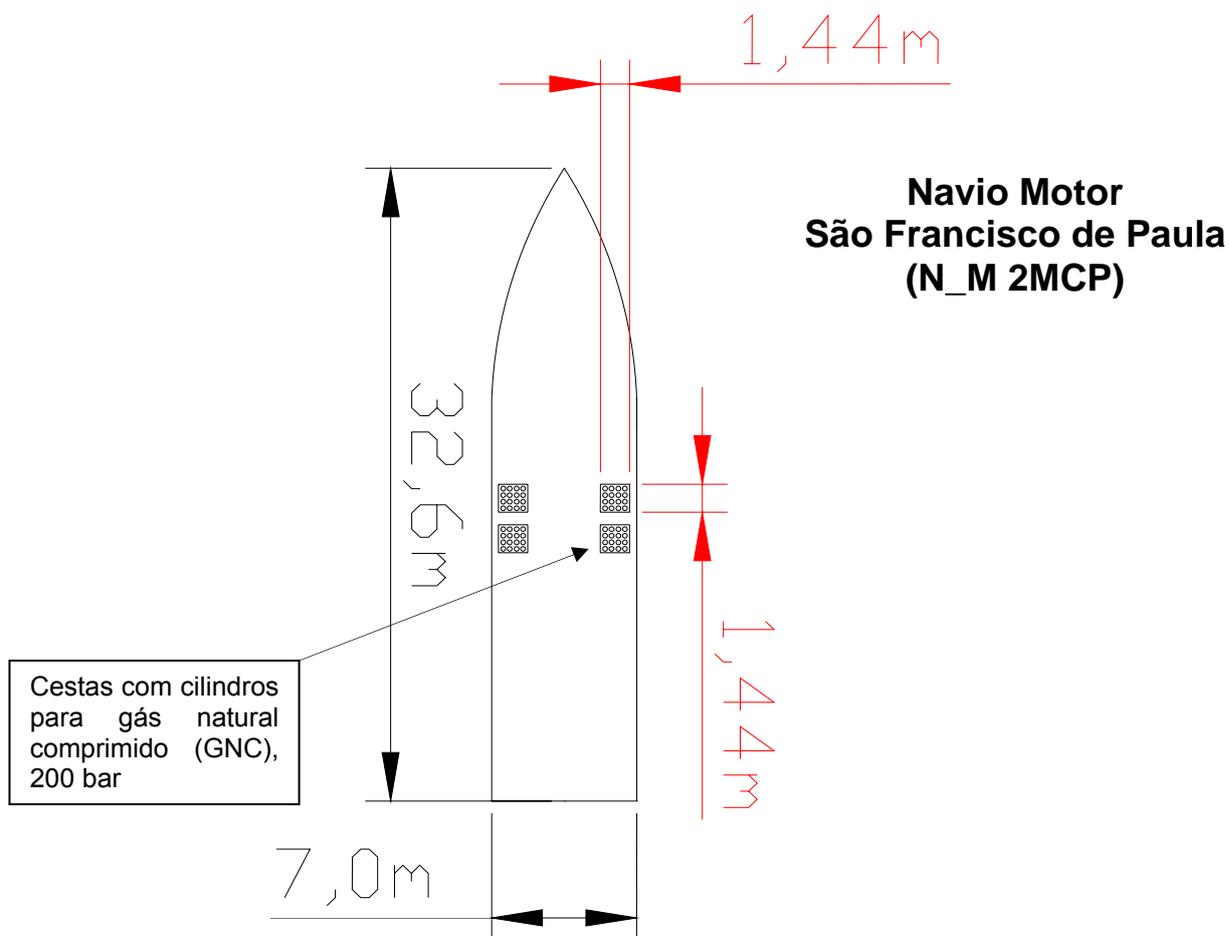


Figura 26 - Planta do porão para transporte de cargas, plotadas as cestas 4x4 com cilindros 136.356.200 CrMo, fabricadas pela White Martins, usadas para abastecer dois motores, taxa de substituição de 50%, do navio N_M 2MCP, São Francisco de Paula, que transporta passageiros e cargas nos trechos Macapá-Belém e Belém-Macapá.

Cadastro do Navio São Francisco de Paula:

Identificação para a Capitania dos Portos da Amazônia Oriental:

E-2-24 N_M São Francisco de Paula;

Capacidade de carga: 150 t;

Capacidade de passageiros: 220;

Propulsores: 2 (dois); marca: CUMMINS; modelo: NTA855M; potência: 380 HP (1800 RPM); consumo máximo por motor: 70,4 l/h (Fonte Cummins).

A - Verificar a viabilidade econômica deste empreendimento:

a) Método do Valor Presente Líquido

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,n)$$

$$VPL = R\$ 398.330,85 \leftarrow \text{ dado da tabela 54}$$

b) Método do Valor Anual Líquido

$$VAL = \text{Benefício uniforme} - \text{Custo uniforme} - I \times FRC$$

$$VAL = B \times FEA(i,e,n) - C - I \times FRC(i,n)$$

$$VAL = R\$ 61.638,42 \leftarrow \text{ dado da tabela 54}$$

c) Relação Benefício Custo

$$B/C = (\text{soma dos benefícios presentes}) / (\text{soma dos custos presentes})$$

$$B/C = (\text{soma dos benefícios anuais}) / (\text{soma dos custos anuais})$$

$$B/C = 1,31 \leftarrow \text{ dado da tabela 54}$$

d) Taxa Interna de Retorno

De acordo com os dados da tabela 55 o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) é 31,4. Como este valor é superior à taxa de juros "i" (13%), o empreendimento é economicamente viável ou financeiramente atrativo.

e) Tempo de Retorno do Capital (Payback)

De acordo com os dados da tabela 54 o valor do Tempo de Retorno do Capital Descontado é de 5,32 ano.

O Tempo de Retorno não descontado será:

$$TR = I / (B-C)$$

$$TR = 4,73 \text{ ano}$$

B - Análise de sensibilidade para diferentes taxas de juros e de aumento custo do gás natural e do diesel.

Através da tabela 55 e tabela 56 pode-se efetuar uma análise de sensibilidade da viabilidade econômica do empreendimento com relação às diferentes taxas de juros "i", e diferentes taxas de aumento custo do gás natural e do diesel "e".

Pode-se verificar pelos dados da tabela 55, que o empreendimento é economicamente viável para "e" = 4% a.a., constante, e para taxas de juros menores do que 31,4 a.a., visto que a relação B/C será maior ou igual a 1.

Pode-se verificar pelos dados da tabela 56, que o empreendimento é economicamente viável quando a taxa de juro for de 13 % a.a. e as taxas de aumento anual do custo do gás natural e do diesel ("e") forem iguais ou maiores que 0 (zero) % a.a., isto é, até mesmo sem aumento anual, pois os VPL e VAL serão sempre maiores do que 0 (zero).

Tabela 54

– Cálculo do VPL, VAL, Relação Benefício/Custo e Tempo de Retorno de Capital Descontado, para N_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Macapá-Belém: R\$151.411,42

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	1	0,885	0,885	-207.299,35	1,000	1,130	-234.248,26	0,47
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	2	1,699	1,668	-158.474,61	1,019	0,599	-95.002,93	0,69
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	3	2,449	2,361	-109.202,54	1,037	0,424	-46.249,67	0,83
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	4	3,139	2,974	-60.017,59	1,055	0,336	-20.177,56	0,92
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	5	3,774	3,517	-11.354,26	1,073	0,284	-3.228,18	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	6	4,358	3,998	36.438,31	1,090	0,250	9.115,16	1,04
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	7	4,896	4,423	83.083,77	1,107	0,226	18.786,14	1,09
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	8	5,391	4,799	128.367,53	1,123	0,208	26.750,09	1,13
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	9	5,847	5,132	172.127,30	1,139	0,195	33.542,26	1,16
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	10	6,266	5,426	214.244,86	1,155	0,184	39.483,09	1,19
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	11	6,652	5,687	254.638,97	1,170	0,176	44.776,09	1,22
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	12	7,007	5,918	293.259,25	1,184	0,169	49.556,73	1,25
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	13	7,334	6,122	330.080,92	1,198	0,163	53.918,83	1,27
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	14	7,635	6,302	365.100,29	1,211	0,159	57.929,55	1,29
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	15	7,912	6,462	398.330,85	1,224	0,155	61.638,42	1,31

N_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas MCP-BEL-MCP) das cestas e o custo de manutenção de dois kits de conversão.

Tabela 55

– Cálculo de Indicadores de Viabilidade Econômica - Variando as taxas de juros anuais, para N_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Macapá-Belém: R\$151.411,42

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31	4	15	3,588	3,170	3.819,09	1,132	0,315	1.204,90	1,01
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,11	4	15	3,574	3,159	2.705,08	1,131	0,317	856,28	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,22	4	15	3,561	3,149	1.599,20	1,131	0,318	507,89	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,33	4	15	3,548	3,138	501,35	1,131	0,319	159,75	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,44	4	15	3,536	3,128	-588,53	1,130	0,320	-188,15	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,55	4	15	3,523	3,118	-1.670,53	1,130	0,321	-535,81	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,66	4	15	3,510	3,108	-2.744,70	1,130	0,322	-883,24	1,00
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,77	4	15	3,498	3,097	-3.811,14	1,129	0,323	-1.230,43	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,88	4	15	3,485	3,087	-4.869,91	1,129	0,324	-1.577,37	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	31,99	4	15	3,473	3,077	-5.921,09	1,128	0,325	-1.924,09	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	32,1	4	15	3,460	3,067	-6.964,74	1,128	0,326	-2.270,56	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	32,21	4	15	3,448	3,058	-8.000,94	1,128	0,327	-2.616,80	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	32,32	4	15	3,436	3,048	-9.029,75	1,127	0,328	-2.962,81	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	32,43	4	15	3,424	3,038	-10.051,25	1,127	0,329	-3.308,58	0,99
255.025,56	210.342,04	156.411,42	32,54	4	15	3,412	3,028	-11.065,50	1,127	0,330	-3.654,12	0,98

N_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas MCP-BEL-MCP) das cestas e o custo de manutenção de dois kits de conversão.

Tabela 56

– Análise de sensibilidade para diferentes valores da taxa "e", para N_M 2MCP, taxa de substituição de 50%, considerando frete anual das cestas de cilindros.

Valor do frete anual das cestas viagem Belém-Macapá-Belém: R\$151.411,42

Investimento (R\$)	Benefício anual (R\$)	Custo anual (R\$)	"i" (%)	e (%)	Período (n)	FVP (i,e,n)	FVP (i,n)	VPL (R\$)	FEA (i,e,n)	FRC (i,n)	VAL (R\$)	B/C
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	0	15	6,462	6,462	93.494,54	1,000	0,155	14.467,51	1,07
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	1	15	6,786	6,462	161.656,47	1,050	0,155	25.015,01	1,13
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	2	15	7,135	6,462	234.894,92	1,104	0,155	36.348,06	1,19
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	3	15	7,509	6,462	313.633,33	1,162	0,155	48.532,18	1,25
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	4	15	7,912	6,462	398.330,85	1,224	0,155	61.638,42	1,31
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	5	15	8,345	6,462	489.485,26	1,291	0,155	75.743,82	1,39
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	6	15	8,812	6,462	587.636,03	1,364	0,155	90.931,85	1,46
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	7	15	9,314	6,462	693.367,74	1,441	0,155	107.292,96	1,55
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	8	15	9,856	6,462	807.313,60	1,525	0,155	124.925,14	1,64
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	9	15	10,440	6,462	930.159,36	1,616	0,155	143.934,52	1,73
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	10	15	11,070	6,462	1.062.647,45	1,713	0,155	164.435,96	1,84
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	11	15	11,749	6,462	1.205.581,40	1,818	0,155	186.553,81	1,95
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	13,1	15	13,357	6,462	1.543.698,58	2,067	0,155	238.874,67	2,22
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	14	15	14,129	6,462	1.706.113,12	2,186	0,155	264.006,98	2,35
255.025,56	210.342,04	156.411,42	13	15	15	15,052	6,462	1.900.262,56	2,329	0,155	294.050,01	2,50

N_M 2MCP 50%

Na coluna "Investimento" estão inclusos os valores: total das cestas e dois kits de conversão.

Na coluna "Benefício anual" está incluso o valor anual da redução do custo de combustível devido à substituição de diesel por GNC.

Na coluna "Custo anual" estão inclusos: frete anual (viagens completas MCP-BEL-MCP) das cestas e o custo de manutenção de dois kits de conversão.

4 CONCLUSÃO

A análise técnica demonstra que é possível tecnicamente a conversão dos motores diesel para consumirem diesel misturado com gás natural às taxas de substituição de diesel por gás natural de 5% a 90%, usando tecnologias ainda não disponíveis no mercado brasileiro e sim no internacional, sob a ótica de desempenho energético.

A análise econômica da conversão leva em consideração os reservatórios para gás natural comprimido - GNC ofertados no mercado nacional e os kits de conversão, em que ficam demonstradas:

a) a viabilidade econômica do empreendimento:

- 1 - se desprezados os pesos e os volumes dos reservatórios de gás natural comprimido, principalmente os pesos;
- 2 - para autonomia entre trechos que demandam poucas horas de viagens como no trecho Macapá-Belém ou Belém-Macapá, considerando a existência de postos de abastecimento nos dois pontos.

b) a inviabilidade econômica possível, quando considerado o transporte dos reservatórios nas embarcações que consomem muito combustível e em viagens longas (entre portos distantes), exemplo no trecho Belém-Manaus ou Manaus-Belém, como fretes que deixam de gerar receitas pelos volumes e pesos ocupados nelas, mesmo existindo postos de abastecimento nos dois pontos.

Alguns desafios inexoravelmente devem ser superados para que o gás natural seja utilizado nas embarcações da Região Amazônica: primeiro, um gasoduto para alimentar o Estado do Pará, principalmente a capital Belém, do qual não há nenhuma previsão oficial do governo federal de construção e instalação nos próximos dez anos; segundo, a instalação de postos de abastecimento de gás natural nas cidades que ficam situadas nas margens do Rio Amazonas, onde se localizam as cidades mais populosas e de significado econômico mais importante; terceiro, tornar os reservatórios (cilindros) de gás natural mais compactos e mais leves; quarto, disponibilizar no mercado nacional a tecnologia e os equipamentos necessários à conversão dos motores diesel em motores diesel usando gás natural misturado concomitantemente, que hoje não existem.

5 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Instalação dos cilindros (mais compactos) com um menor volume de frete;
- 2) Estudo da utilização viável de GNL;
- 3) Análise da viabilidade técnico-econômica da instalação de uma rede de postos de abastecimentos fluviais na região;
- 4) Fomentar tecnologia nacional para os kits de conversão;
- 5) Trabalhos sobre a regulamentação do uso do GNC e GNL em embarcações fluviais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. ***“Estrutura de Regulação do Mercado de Gás Natural - Experiência Internacional”***. Distrito Federal. 1998. 37 p..
- AHOUISSOUSSI, N. B. C. and Wetzstein, M. E. (1997); A Comparative Cost Analysis of Biodiesel, Compressed Natural Gas, Methanol and Diesel for Transit Bus Systems; Resource and Energy Economics; 20; pp. 1 – 15.
- BARBOSA, Cleiton R. Formiga. ***“Desempenho de um motor Otto com injeção direta de gás natural”***. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia da São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos. 1997. 216 p.
- BET, Luciano. ***“Avaliação do comportamento de um motor diesel refrigerado a ar, funcionando como motor dual Diesel-GNC”***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 1991. 204 p.
- BURDA, Jocely Aparecida. ***“Estudo dos aspectos comportamentais no processo de mudança de tecnologia na indústria: um estudo de caso no setor de gás natural”***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004. 204 p.
- CARVALHO, A. V. (1985); Natural Gas and Other Alternative Fuels for Transportation Purposes; Energy; Vol. 10; No. 2; pp. 187 - 215.
- CATAPAN, Edilson Antonio. ***“Aspectos relevantes do método fluxo de caixa descontado na avaliação de empresas de energia elétrica em processo de privatização”***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2001. 119 p.
- CATARINA, Ricardo Santa. ***“Regulação econômica do serviço de distribuição de gás natural canalizado no Brasil”***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002. 133 p.
- CONCEIÇÃO, Guilherme Wilson. ***“A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do gás natural veicular em frotas do transporte coletivo urbano de passageiros”***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006. 290 p.

- CORREA, Edson Luis. **“A viabilidade econômica do gás natural”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002. 82 p.
- COSTA, David Freire da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. Dissertação de Mestrado, IEE / EPUSP / FEA / da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. 194 p.
- GOMES, H. P. **“Viabilidade Econômica de Projetos de Eficiência de Energia”**. Artigo para Eletrobrás/PROCEL/SNSA/MCidades, 2004, 58p.
- HEYWOOD, J. B. **“Internal Combustion Engine Fundamentals”**, Editora McGraw Hill, Book Company, New York, SP, 1988, 487p.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Nota Técnica. **“Cilindros para Gás Natural Veicular”**. Rio de Janeiro. 2001. 38 p..
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Projeto CTPETRO - Tendências Tecnológicas. **“Mapeamento Tecnológico Tendências Internacionais da Cadeia O&G Exploração & Produção, Refino e Gás Natural”**. Rio de Janeiro. 2003. 208 p..
- LOBKOV, Dmitri Dmitrievich. **“Análise econômica para a substituição do uso de combustível diesel por GNC no transporte público de passageiros.”** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas-Campinas, São Paulo. 2005. 125 p.
- MACHADO, F. T. H. F. **“A Utilização do Ônibus a Gás Natural Comprimido da Frota de Ônibus Urbanos como Alternativa para Redução na Poluição Atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo”**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996. 245p.
- MACLEAN, H. L. and Lave, L. B. (2003); Evaluating Automobile Fuel / Propulsion System Technologies; Progress in Energy and Combustion Science; 29; pp. 1 – 69.
- NASCIMENTO, Gilmar F.. **“Avaliação do desempenho de um motor diesel funcionando com combustíveis alternativos”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 1998. 154 p.
- NETO, Carlos A. Rechelo. **“GNL para suprimento interno e exportação versus gasodutos: oportunidades e mitos”**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005. 150 p.

- OBERT, E. F. **“Motores de Combustão Interna”**. Tradução Luiz Carraro. Editora Globo. Porto Alegre. 1971. 618p.
- PELLIZA, Giovani. **Análise de veículos convertidos para o uso do combustível gás natural**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003. 139 p.
- PEREIRA, R. H, Braga, S. L. e Braga C. V. M., **“Substituição Parcial do Óleo diesel pelo gás natural em Motores – Atratividade da Tecnologia e sua Avaliação Experimental”**, CONEM 2004.
- RANGEL, Leonardo R.; BÜCCHLER Pedro M.. **“Estudo do nitrogênio na combustão do gás natural”**. Artigo publicado na web, Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005. 16 p.
- SANTOS, Antonio C. P. de L.. **“Metodologia para previsão e decisão de investimentos tecnológicos em gás natural”**. Tese de Doutorado, COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005. 167 p..
- SCHWYTER, Anton A.. **“A regulação da distribuição de gás natural em São Paulo: Questões e Desafios”**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001. 164 p..
- SHINODA, Carlos. **Matemática financeira para usuários do Excel**. Atlas. 1998. 167 p.
- SILVA, Lydia L. Correia da. **“Simulação dos processos termodinâmicos em motores de combustão interna - Ciclo Diesel”**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992. 161 p.
- TAYLOR, C. F. **“Análise dos Motores de Combustão Interna”**, Volume 2, Editora Edgar Blücher, São Paulo, SP, 1988, 378p.
- VIEIRA, P. L., Garcia, C. B., Guimarães, H. B., Torres, E. A., Pereira, O. L. S.; Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia - 2005.
- VILLENA, John E. Neira. **“Simulação de reservatórios não convencionais para armazenamento de gás natural veicular”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2004. 119 p.