



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

NAYANA DE FREITAS GADELHA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA DOS COMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE CICLO OTTO

CARAÚBAS – RN

2015

NAYANA DE FREITAS GADELHA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA DOS
COMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE CICLO OTTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. M.Sc. Fabiano da Costa Dantas – UFERSA

Coorientador:

Prof. M.Sc. Rudson de Souza Lima– UFERSA

CARAÚBAS – RN

2015

NAYANA DE FREITAS GADELHA

ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DOS COMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE CICLO
OTTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 02/12/2015

BANCA EXAMINADORA

[Redacted Signature]

Prof. M.Sc. Fabiano da Costa Dantas - UFERSA

Presidente

[Redacted Signature]

Prof. M.Sc. Rudson de Souza Lima - UFERSA

Primeiro Membro

[Redacted Signature]

Prof. João Victor de Queiroz - UFERSA

Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCA)
Setor de Informação e Referência

G124a Gadelha, Nayana de Freitas.

Análise da eficiência técnica-econômica dos combustíveis em motores de ciclo otto / Nayana de Freitas Gadelha -- Caraúbas, 2015.

63.: il.

Orientador: Prof. M.Sc. Fabiano da Costa Dantas.
Coorientador: Prof. M.Sc. Rudson de Souza Lima.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Combustão interna. 2. Motores de ciclo otto. 3.
Combustíveis. I. Título.

RN/UFERSA/BSCA

CDD: 621.43

Bibliotecário: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

Dedico este trabalho ao meu avô **Antônio de Paula**
por todo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades e bênçãos recebidas nesta caminhada da vida.

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho e em particular:

A minha mãe Madilsa por todos os sacrifícios que fez para que eu continuasse meus estudos.
Te Amo!

Ao meu pai Raimundo Nonato por todos os ensinamentos. O senhor é o meu orgulho!

A minha irmã Naysa por se mostrar sempre disposta a me proteger.

A minha tia Ana Lúcia que muito fez por mim.

Aos meus amigos Gustavo, Ana Paula, Felipe, Bruna, Poliana e Jhefisson por me proporcionarem as melhores relíquias da minha vida e tornarem meus dias mais felizes.

Ao meu orientador Fabiano Dantas por toda a paciência e disposição em compartilhar ensinamentos no decorrer deste trabalho.

Ao meu coorientador Rudson Lima pelas imensas contribuições neste trabalho e por se mostrar sempre prestativo.

Aos colegas Miliane, Ilg, Gessiany, Maysson, Roberta, Rita, Yanne, Anny, Vinícius, Miguel, Ramon, Kairo e Izodária pela contribuição na pesquisa de campo.

Muito obrigada!!!

RESUMO

Motores de Ciclo Otto equipam a maioria dos veículos e possuem a capacidade de funcionar com mais de um combustível, o que dá a opção de escolher o combustível mais viável de acordo com a finalidade almejada. No entanto, para entender a viabilidade de cada combustível, faz-se necessário um estudo sobre as propriedades e preços dos mesmos, como também sobre as características do motor em questão. Este trabalho apresenta uma análise da eficiência técnica-econômica dos combustíveis (álcool, gasolina e gás natural) em motores de Ciclo Otto. Esta análise foi realizada com base na ficha técnica de um Motor Fire Evo 1.4 Tetrafuel, além de preceitos termodinâmicos e preços dos combustíveis. Comparando os resultados obtidos, constatou-se que o álcool ganhou maior destaque nos quesitos potência e desempenho, com a gasolina em seguida. O gás natural apresenta menor preço como também maior autonomia, e a gasolina é o combustível que melhor satisfaz o quesito técnico-econômico tendo em vista que, apesar de obter o maior preço em relação ao álcool, ela detém o menor consumo.

PALAVRAS CHAVES: Motores de Ciclo Otto. Viabilidade. Combustíveis. Eficiência.

ABSTRACT

Otto cycle engines equip most of the vehicles and have the ability to operate with more than one fuel, which gives customers the option to choose the most viable fuel according to the desired purpose. However to understand the viability of each type of fuel, it is required a study of their properties and prices, as well as the engine characteristics in question. This paper presents an analysis of the technical-economic efficiency of some types of fuel (alcohol, gasoline and natural gas) on Otto cycle engines. This analysis was based on the technical specifications of a Fire Engine Evo 1.4 Tetrafuel, on thermodynamic principles and on the fuel prices. Comparing the results obtained, it was observed that alcohol had a greater prominence in the categories power and performance and it was immediately followed by gasoline. Natural gas has the lowest price as well as a greater autonomy, and gasoline is the type of fuel that best meets the technical and economic Question considering that even though it more expensive than the alcohol, it is more economic.

KEY WORDS: Otto cycle engines. Feasibility. Fuel Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2: Tipos de eficiência.....	31
Figura 3: Medida de Eficiência com Orientação Insumo.....	33
Figura 4: Medida de eficiência com orientação produto.....	35
Figura 5: Eficiência técnica e eficiência de escala	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços do Álcool.	48
Gráfico 2: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços do GNV.	49
Gráfico 3: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços da Gasolina.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Poderes Caloríficos Inferiores.....	23
Quadro 2: Poder Calorifico Inferior do Gás natural.....	23
Quadro 3: Especificações do motor Fire Evo 1.4.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Síntese de Preços dos Combustíveis ao Consumidor Praticados no Brasil.....	27
Tabela 2: Síntese de Preços de Distribuidora dos Combustíveis Praticados no Brasil.	27
Tabela 3: Valores da inflação dos combustíveis por período.....	46
Tabela 4: Análise da eficiência do álcool com as variáveis preço-consumo.....	47
Tabela 5: Análise da eficiência do GNV com as variáveis preço-consumo.....	48
Tabela 6: Análise da eficiência da gasolina com as variáveis preço-consumo.	50
Tabela 7 : Eficiência do uso dos combustíveis por município com as variáveis preço-quilômetro.....	52
Tabela 8: Média do preço dos combustíveis por região no município Natal.	62
Tabela 9: Média do preço dos combustíveis por região no município Mossoró.	62
Tabela 10: Média do preço dos combustíveis no município Apodi.	62
Tabela 11: Média do preço dos combustíveis no município Caicó.....	63
Tabela 12: Média do preço dos combustíveis no município Caraúbas.	63
Tabela 13: Média do preço dos combustíveis no município Umarizal.	63
Tabela 14: Média do preço dos combustíveis no município Lucrécia.	63
Tabela 15: Média do preço dos combustíveis no município Jundiá.....	64
Tabela 16: Média do preço dos combustíveis no município Messias Targino.....	64
Tabela 17: Média do preço dos combustíveis no município Pau dos Ferros.	64
Tabela 18: Média do preço dos combustíveis no município Patu.	64
Tabela 19: Média do preço dos combustíveis no município Santa Cruz.....	64
Tabela 20: Média do preço dos combustíveis no município Felipe Guerra.	65

LISTA DE SIGLAS

ANP–Agência nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

DEA–Termo Data Envelopment Analysis

DMUS–Decision Making Units

GLP–Gás natural do petróleo

GNV–Gás natural veicular

IAD–Método Índice Anti-Detonante

MCI–Motores de combustão interna

MIF–Motor de Ignição por Faísca

MON–O Motor Octane Number

PROCON-Órgão de Proteção e Defesa do Consumidor

RON– O método Research Octane Number

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3 HIPÓTESE.....	10
1.4 JUSTIFICATIVA	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 DEFINIÇÃO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	12
2.2 HISTÓRICO SOBRE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	13
2.3 CICLO DE TRABALHO NO MOTOR DE OTTO	13
2.4 EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	15
2.5 EFICIÊNCIA MECÂNICA DO MOTOR.....	17
2.6 CONSUMO ESPECÍFICO DO COMBUSTÍVEL.....	17
2.7 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA	18
2.8 PRESSÃO MÉDIA EFETIVA	19
2.9 TORQUE DO MOTOR DE OTTO	20
2.10 EMISSÕES DE POLUENTES	20
3 COMBUSTÍVEIS.....	22
3.1 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS	22
3.2 GASOLINA	24
3.3 ÁLCOOL	24
3.4 GÁS NATURAL VEICULAR	25
3.5 TECNOLOGIA FLEX.....	26
3.6 CUSTOS DE COMBUSTÍVEIS	27
3.7 A VISÃO DO CONSUMIDOR: Preço Relativo Entre os Dois Combustíveis (Álcool e Gasolina).....	28
4 DEFINIÇÃO DE EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA.....	30

4.1 TIPOS DE EFICIÊNCIA.....	30
4.1.1 Eficiência Econômica	32
5 METODOLOGIA	37
5.1 COLETA DE DADOS.....	37
5.2 MÉTODO DE ABORDAGEM	37
5.3 ANÁLISE QUANTITATIVA	38
5.4 MÉTODO DE PROCEDIMENTO.....	38
5.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA	38
5.6 MODELO NÃO PARAMÉTRICO	38
5.6.1 Análise Envoltória de Dados (DEA)	39
5.7 VEÍCULO FIAT GRAND SIENA FIRE EVO 1.4 TETRAFUEL	42
5.7.1 Ficha técnica do carro Fiat Grand Siena Fire Evo 1.4 Tetrafuel	43
5.8 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA- ECONÔMICA	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6.1 TESTE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA.....	47
7. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS	56
ANEXO.....	62

1 INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna surgiram no século XIX, e atualmente é a principal forma de movimento dos veículos. Essas máquinas térmicas transformam a energia proveniente de uma reação química em trabalho mecânico. O diferencial desses motores a combustão é o fato do processo de combustão ocorrer internamente ao motor.

Há diversos modelos termodinâmicos que os classificam, entre eles destaca-se o motor de combustão interna de Ciclo Otto, que foi implementado com sucesso em 1876 pelo engenheiro Nikolaus August Otto, e que de acordo com Brunetti (2012) acabou por ter utilização em automóveis de passeio e motocicletas, devido ao seu funcionamento suave, custo acessível e simplicidade no sistema de controle de emissões.

Com a evolução tecnológica tornou-se possível para esse tipo de motor trabalhar com mais de um combustível. Desta forma, os consumidores têm a opção de usufruir de um combustível com o propósito desejado, que geralmente são estes: baixo custo, maior autonomia e desempenho do motor sob a influência do mesmo.

Entre essas aplicabilidades, a que possui grande demanda é a de menor custo, porém muitas vezes tentativas de economia acarretam em prejuízo quando não há um conhecimento específico sobre assunto. Como exemplo, pode-se citar o fato de que muitas vezes em época de alta no preço dos combustíveis, os motoristas buscam subterfúgios para economizar na hora de abastecer o carro, porém essa atitude pode acabar por comprometer o funcionamento do motor.

Para evitar essas situações é fundamental estudar a eficiência técnica dos combustíveis em motores e a mesma pode ser analisada através de um estudo termodinâmico, este estudo é de extrema importância para escolher o combustível que possibilite uma resposta rápida e eficiente por parte da máquina térmica.

Sendo assim, este trabalho apresentará uma análise da eficiência técnica-econômica de cada combustível (álcool, gasolina e gás natural veicular) em motores de ciclo Otto, visando chegar à resposta das seguintes interrogações: Até que ponto a economia no uso dos combustíveis pode afetar o desempenho do motor? Quais conhecimentos deve-se ter para obter a melhor condição do motor na finalidade que se deseja?

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica-econômica de cada combustível (álcool, gasolina e gás natural veicular) em motores de ciclo Otto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os custos e consumo de cada combustível (álcool, gasolina e gás natural veicular);
- Estudar a eficiência térmica e energética;
- Investigar o comportamento termodinâmico de cada combustível relacionando o desempenho do motor com as características de cada um deles;
- Comparar os dados obtidos e discutir as vantagens e desvantagens do uso dos combustíveis;

1.3 HIPÓTESE

Com base em estudo termodinâmico e de viabilidade econômica com relação ao motor de ciclo Otto, atualmente em relação a gasolina, o álcool possui menor custo por volume e oferece maior potência ao motor, no entanto a autonomia é menor. O gás natural veicular apresenta menor custo por volume e maior autonomia em relação à gasolina e o álcool, porém não oferece potência favorável ao motor. A gasolina proporciona um bom desempenho ao motor.

1.4 JUSTIFICATIVA

A incessante busca por fontes renováveis devido à problemática do aquecimento global e a finalidade de custo/benefício tem sido requisito na escolha dos melhores combustíveis, por isso é tão importante conhecer a viabilidade de cada combustível.

Os motores de combustão interna de Ciclo Otto estão entre os mais utilizados, já que motores baseado nesse ciclo equipam a maioria dos automóveis de passeio atualmente. Para este tipo de máquina térmica é possível escolher o combustível que ofereça as finalidades que se almeja.

Atualmente estão em demanda as características de combustíveis: capacidade de oferecer eficiência ao motor, menor custo, competência de maior autonomia e por último, minimização de danos ao meio ambiente.

Dessa forma, torna-se necessário estudar a eficiência técnica, assim como os custos e consumo em prol de relacionar essas variáveis e analisar qual o combustível adequado para tal aplicabilidade e que não gere prejuízo ao consumidor.

Este trabalho apresenta uma análise da eficiência técnica-econômica de cada um dos combustíveis em motores de ciclo Otto (álcool, gasolina e gás natural veicular), visando esclarecer aos usuários que decisões de economia do combustível quando tomadas sem uma fundamentação teórica pode gerar prejuízo, justificando desta forma a importância desse trabalho para a nossa sociedade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÃO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Motor de combustão interna é uma máquina térmica que possui vasta aplicação em engenharia, e tem a finalidade de gerar energia mecânica através da energia química. Esta última no processo de combustão da mistura ar-combustível é transformada em energia térmica e parte desta é convertida em potência mecânica. Quando ocorre a queima ou oxidação do combustível dentro do próprio motor, os processos de combustão ocorrem internamente ao motor, e esse é o diferencial do motor de combustão interna em relação ao de combustão externa (HEYWOOD, 1988).

Entre os Motores de Combustão Interna (MCI) mais utilizados estão os de ignição por centelha e os de ignição por compressão, pois eles são simples, robustos e tem excelente relação peso/potência. Os MCI são comumente utilizados em navios, locomotivas, tratores, grandes caminhões, automóveis, ônibus, lanchas e outros tipos de embarcações.

A energia é necessária para que o motor funcione e essa fonte é justamente o combustível. Os mais utilizados são: gasolina, álcool e óleo diesel. O Gás Natural Veicular (GNV) também tem ganhado destaque como fonte de energia alternativa. A escolha do combustível adequado numa finalidade específica é possível, visto que atualmente há inúmeros estudos sobre a eficiência, custo/benefício e ajuda às regras de preservação ao meio ambiente, com relação ao mesmo (BOSCH, 2005).

O funcionamento do MCI de ciclo Otto se dá através da admissão da mistura ar-combustível, ocorre na câmara de combustão a união do combustível com o ar atmosférico, logo após essa mistura é comprimida dentro da mesma pelo o pistão, e em seguida o sistema de ignição sincronizado com o motor gera uma centelha elétrica nas velas que estão dentro da câmara inflamando a mistura, conseqüentemente ocorre uma explosão junto de um deslocamento de massa que empurra o pistão para baixo, gerando força, torque e movimento angular. Este processo termina quando os gases oxidados são expulsos externamente ao motor.

O MCI é uma das invenções mais importantes, que surtiu grande impacto em nossa sociedade, ele foi modificado ao longo do tempo. Os engenheiros encontraram na física os instrumentos necessários para atingir a meta almejada. E no decorrer desses estudos foram desenvolvidos diversos modelos termodinâmicos de motores.

2.2 HISTÓRICO SOBRE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Antigamente a tração animal era a única fonte de força que a sociedade tinha para realizar um determinado trabalho. Com o passar do tempo a força humana passou a ser utilizada pelas máquinas pioneiras como alavancas, esteiras, cordas e polias, criadas até então pelo próprio homem. Após a criação desses dispositivos mecânicos surgiram os primeiros guindastes e moinhos. Essas criações estimularam a busca por novas fontes motoras.

O primeiro motor surgiu nos anos 60 do século XVIII, esse motor não tinha compressão antes do processo de combustão e possuía eficiência em torno de 5%, ele foi construído pelo engenheiro Jean J. Lenoir (1822-1900) e foram comercializados vários na época (HEYWOOD, 1988).

Alphonse Beau de Rochas (1815-1993) criou o princípio do Motor de Ignição por Faísca (MIF) 4T em 1862, porém, o motor foi produzido e patenteado por Nikolaus August Otto em 1876, por isso deu-se o nome de motor de Otto (BRUNETTI, 2012).

Com o passar do tempo os motores de funcionamento suave, com alta velocidade foram criados por Karl Benz (1844-1929) e Gottlieb Daimler (1834-1900). Os motores de funcionamento a gasolina foram construções independentes deles. Em 1892, Rudolf Diesel (1858-1913) foi responsável pela criação do primeiro modelo do motor Diesel que funcionou de forma eficiente (BRUNETTI, 2002).

O modelo termodinâmico de Otto é uma grande referência para entender o princípio de funcionamento de um motor de combustão interna, e atualmente está entre as opções preferidas em aplicações comerciais.

2.3 CICLO DE TRABALHO NO MOTOR DE OTTO

O ciclo de Otto representa o funcionamento de motores de combustão interna de ignição por centelha. Segundo Santana (2010) esse ciclo termodinâmico idealiza motores a explosão e sua constituição apresenta os respectivos processos: admissão, compressão, combustão, expansão e exaustão.

Em um motor de ciclo Otto, o processo de admissão é justamente aquele em que a válvula de admissão está aberta e o movimento do pistão aspira a mistura ar-combustível em um movimento de descida.

Quando o pistão atinge o ponto morto inferior a válvula é fechada e o pistão inicia seu movimento de subida comprimindo a mistura. O ponto máximo de compressão corresponde ao ponto morto superior (PMS). Uma centelha na vela é produzida provocando a ignição da mistura e o processo de combustão. O pistão logo em seguida é forçado para baixo devido à expansão dos gases em virtude do fornecimento de calor que eleva a pressão da mistura.

O processo de exaustão se inicia quando o pistão atinge o ponto morto inferior e a válvula de escape é aberta, logo ocorre uma diminuição na pressão do gás. À medida que o pistão vai subindo a liberação de gases de combustão vai ocorrendo até que se chegue ao PMS, assim dando ênfase novamente ao início do ciclo.

As etapas do ciclo de Otto podem ser representadas através da figura 1:

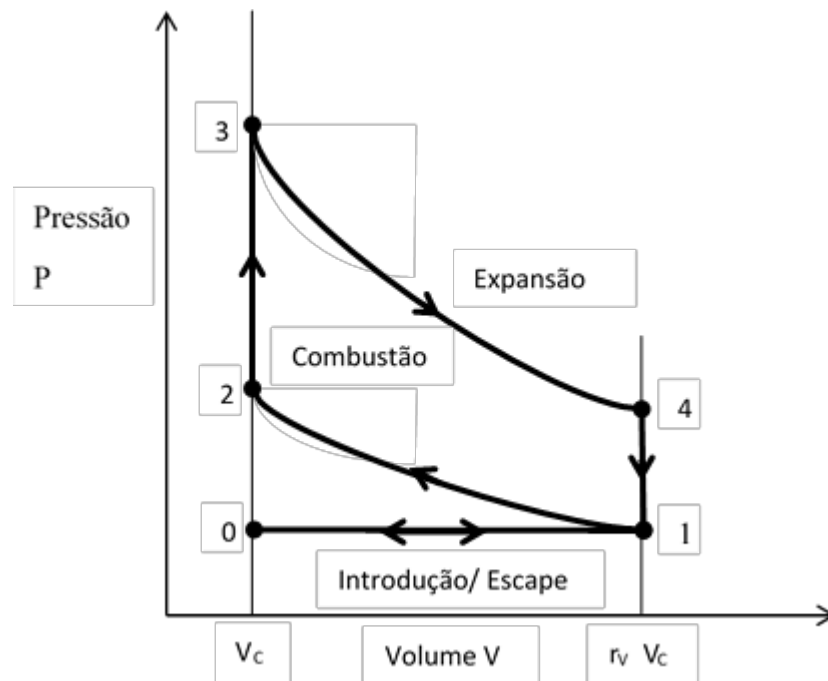


Figura 1: Diagrama do ciclo Otto.

Fonte: Stone, 1999.

De acordo com Ribeiro (2009), esse ciclo é composto por seis etapas: a etapa do ponto 0 até o ponto 1 é caracterizada pela a admissão da mistura ar-combustível sobre uma pressão constante. Logo em seguida acontece uma compressão adiabática do ponto 1 a 2. Neste processo acontece um aumento da pressão e uma diminuição do volume da mistura. O processo isocórico ocorre do ponto 2 até o ponto 3, onde acontece um fornecimento de calor a mistura sob um volume constante. Do ponto 3 até o ponto 4, ocorre o que chamamos de

expansão da mistura. Na etapa correspondente a transição do ponto 4 até o ponto 1, ocorre a evasão da mistura ar-combustível sobre um volume constante, e por último, a fase que começa no ponto 1 até o ponto 0 é caracterizada pela exaustão e eliminação dos resíduos. Atualmente os motores movidos a gasolina, álcool e GNV operam com base neste ciclo.

2.4 EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Segundo Çengel e Boles (2006), a eficiência térmica é definida como uma conversão da fração do calor fornecido em trabalho líquido. O trabalho líquido é a transferência líquida de calor para o sistema. Como em um motor de combustão interna o que se deseja é o trabalho líquido e para que o mesmo aconteça é preciso que ocorra um fornecimento do calor para o fluido de trabalho, então pode-se dizer que a eficiência térmica é dada por:

$$\text{Eficiência térmica} = \frac{\text{Trabalho líquido}}{\text{Calor total fornecido}}$$

$$\text{Ou seja, } \eta = \frac{W}{Q_e} \quad (1)$$

Onde:

η : É a eficiência térmica;

W : O trabalho líquido total;

Q_e : A magnitude de energia necessária para completar um ciclo;

Como o trabalho líquido é expresso por:

$$W = Q_e - Q_s \quad (2)$$

Onde:

Q_s : É a magnitude de energia rejeitada necessária para completar um ciclo.

Ao substituir a relação (2) em (1), tem-se que:

$$\eta = 1 - \frac{Q_s}{Q_e} \quad (3)$$

Q_s nunca irá ser zero, visto que a quantidade de calor fornecida ao sistema é sempre maior que o trabalho líquido.

Segundo Çengel e Boles (2006), o estudo da eficiência térmica é de extrema importância, pois o aumento da mesma implica em menor consumo de combustível e menos

danos ao meio ambiente. Desta forma quanto maior a medida do desempenho de uma máquina térmica maior será o benefício, ou seja, menor será o gasto com combustível.

Ao analisar um motor de combustão interna, onde ocorre a queima de combustível, pode-se relacionar a eficiência de combustão com o poder calorífico do combustível. Logo tem-se a seguinte relação:

$$n_c = \frac{Q}{PC} \quad (4)$$

Onde:

n_c : É a eficiência de combustão;

Q : O calor liberado durante o processo de combustão;

PC : O poder calorífico do combustível.

A eficiência de combustão possui outra definição que depende justamente do trabalho da máquina térmica e da entrada de energia química do combustível.

De acordo com Heywood (1988), a eficiência de conversão do combustível é dada por:

$$n_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m} \cdot PC} \quad (5)$$

Onde:

n_t : É a eficiência térmica em um motor de combustão;

$\dot{W}$: É a potência do motor

$\dot{m}$: A vazão mássica do combustível;

PC : O poder calorífico do combustível.

De acordo com as equações (4) e (5), pode-se afirmar que a realização de um estudo sobre as propriedades dos combustíveis é imprescindível, pois a energia e característica dos mesmos influenciam bastante na autonomia, desempenho e emissões do motor (CARVALHO, 2011).

É evidente que nem todas as máquinas térmicas têm a mesma eficiência, visto que há diversos fatores responsáveis como atrito, perdas de calor, construção de motores, propriedades dos combustíveis entre outros, que levam ao consumo distinto de energia para um mesmo trabalho.

2.5 EFICIÊNCIA MECÂNICA DO MOTOR

Segundo Silva (2006), a eficiência mecânica do motor é a razão entre a potência efetiva e a potência indicada. A potência efetiva é utilizada para o bombeamento do ar de admissão e eliminação dos gases (escape). A potência indicada se dá pela soma da potência de bombeamento mais a potência de atrito. A potência de atrito é uma energia perdida nas partes internas do motor. Desta forma, tem-se:

$$P_{ig} = P_b + P_f \quad (6)$$

Onde:

P_{ig} : É a potência indicada bruta;

P_b : A potência de bombeamento, também chamada de potência efetiva;

P_f : A potência de atrito.

Logo:

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{ig}} \quad (7)$$

Onde:

η_m : É a eficiência mecânica do motor.

O rendimento do motor está diretamente ligado a potência e energia, pois o desempenho do motor depende do torque do mesmo, logo quando se quer a autonomia de um veículo, recorre-se frequentemente a essas grandezas físicas.

2.6 CONSUMO ESPECÍFICO DO COMBUSTÍVEL

O motor consome uma quantidade de combustível que pode ser representada pela relação do tempo (consumo horário) e a relação do trabalho mecânico (consumo específico). Segundo Carvalho (2011), a relação do trabalho mecânico é expressa como a quantidade de combustível a ser consumido (em gramas) para uma dada energia (quilowatts).

De acordo com Heywood (1988), o consumo específico se dá pela a expressão algébrica abaixo:

$$CE = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} \quad (8)$$

Onde:

CE: O consumo específico de combustível (g/kWh);

$\dot{m}_f$: A vazão mássica de combustível (g/h);

$\dot{W}$: A potência em unidade de energia (kW).

A eficiência térmica atualmente auxilia como informativo quanto à finalidade do combustível referente no que diz a respeito do comportamento do motor de combustão interna (CARVALHO, 2011). Logo, afirma-se que quanto maior a eficiência térmica, maior será o trabalho do motor e/ou menor a quantidade de energia interna utilizada contida no combustível. Desta forma, fica evidente que o poder calorífico do combustível tem grande influência na autonomia do motor.

2.7 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA

A eficiência volumétrica é utilizada como referência a motores de combustão interna, sendo definida como a razão entre o volume da mistura de trabalho admitida e o volume deslocado do pistão. Quanto maior a eficiência volumétrica, maior será a capacidade do motor de se movimentar em alta velocidade e assim, produzir energia. Logo, quando se quer melhorar o rendimento do motor, geralmente, aumenta-se o tamanho ou o número de válvulas, desde que atenda a finalidade de aumentar o fluxo sem aumentar o peso do motor. De acordo com Brunetti (2012), a eficiência volumétrica pode ser expressa da seguinte maneira:

$$e_v = \frac{2\dot{M}_i}{N V_d \rho_i} \quad (9)$$

Onde:

$\dot{M}_i$: A vazão mássica da mistura ambiente por unidade de tempo;

N: O número de revoluções por unidade de tempo;

V_d : Volume da cilindrada total

ρ_i : Densidade, ou massa específica, do ar na admissão

O fato do número 2 aparecer no numerador da equação é devido ao motor de quatro tempos ter um ciclo de admissão para cada duas voltas do virabrequim.

O motivo que eleva cada vez mais a demanda de motores com maior eficiência volumétrica é justamente o fato de essa característica influenciar na maximização do combustível como também da potência gerada (FERGUNSON, 1986).

De acordo com Amorim (2005), a eficiência volumétrica é responsável pela a avaliação da quantidade de ar que é admitida internamente ao cilindro, quanto maior essa medida aceita no processo de admissão, maior será a potência e o rendimento do motor. Muitos fatores podem influenciar de forma decisiva na eficiência volumétrica, entre eles destacam-se as pressões envolvidas nos processos de combustão e exaustão, a velocidade do pistão, a transferência de calor, a taxa de compressão da máquina térmica, entre outros.

2.8 PRESSÃO MÉDIA EFETIVA

Em um motor de ciclo Otto, a mistura ar-combustível é comprimida e queimada, e consequentemente é gerada uma pressão. No decorrer do movimento do pistão, onde o mesmo absorve energia térmica, ocorre a expansão dos gases no interior da câmara e logo após os mesmos perdem pressão e temperatura. Neste processo, a energia térmica é transformada em mecânica e essa energia mecânica quando aproveitada por unidade de tempo é chamada de potência gerada pelo motor.

Um trabalho mecânico é considerado uma fonte de energia mecânica, logo a energia liberada na trajetória do pistão é proporcional a pressão média efetiva. De acordo com Carvalho (2011) esta pressão no interior do cilindro é definida como trabalho por unidade de volume. A expressão da pressão média pode-se ser expressa da seguinte maneira:

$$PME = \frac{W n_R}{V_d N} \quad (10)$$

Onde:

PME: É a pressão média efetiva;

W: A potência do motor;

n_R : O número de revoluções do motor para cada combustão do ciclo;

V_d : O volume do motor;

N: O número de revoluções do motor.

Desta forma à medida que o consumo de combustível aumenta a pressão média efetiva se eleva. É importante esclarecer que o torque é calculado com base na potência média efetiva, visto que o torque depende do tamanho do motor e a pressão média efetiva é uma medida da capacidade do motor de produzir trabalho relativo ao seu tamanho (ANDRADE, 2007).

2.9 TORQUE DO MOTOR DE OTTO

De acordo com Silva (2006), para analisar o rendimento do motor é necessário primeiramente verificar o cilindro, pois a energia e o momento de torque são provenientes do mesmo. O torque do motor de Ciclo Otto pode ser determinado pelos respectivos fatores: massa de ar disponível para a combustão, massa de combustível e pelo o instante que a centelha de ignição induz a combustão da mistura.

Silva (2006) afirma que há possibilidade de ajustar o torque do motor para atender à necessidade que se almeja e controlar os três fatores citados anteriormente através do processo de enchimento do cilindro, formação do ar-combustível e ponto de ignição.

O enchimento de cilindro define-se como a mistura existente no processo de admissão. Geralmente quando queremos maior rendimento por parte do motor, ou seja, maior potência e torque têm-se que apostar no enchimento máximo do cilindro (SILVA, 2006). A formação da mistura ar-combustível ocorre através de sistemas de injeção gerenciados eletronicamente, e influência de forma decisiva na eficiência do motor, já que afeta características como torque, potência e consumo de combustível.

Para cada condição de rotação do motor e composição da mistura é obtido um valor do ângulo (avanço da ignição), o mesmo passa por diversos ajustes em prol de uma melhor condição de uso sem afetar o motor. Silva (2006) assegura que o ponto de ignição é escolhido no intuito de satisfazer as respectivas exigências: máxima potência, economia de combustível, evitar auto detonação do combustível e emissões nocivas reduzidas. É importante esclarecer que não há como satisfazer todos esses requisitos, é preciso realizar a escolha de acordo com a finalidade que se deseja.

2.10 EMISSÕES DE POLUENTES

De acordo com Pinto (2005) a principal fonte de emissões é do motor de combustão interna, entre eles o de ciclo Otto que equipa a maioria dos automóveis. As emissões dos veículos de combustão interna se classificam em dois tipos: próprias e indiretas.

As emissões próprias são aquelas características de um MCI, ou seja, que provém dos tubos de exaustão, evaporação e escape. As indiretas são consequência do reabastecimento dos combustíveis.

Segundo Carvalho (2011) no processo de combustão do combustível a reação química obtém gases resultantes como o gás carbônico, água e nitrogênio. Devido a problemática do aquecimento global, o gás carbônico tem sido alvo de preocupações. No entanto em motores reais outros gases são produzidos como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis entre outros.

A possibilidade de usufruir de um determinado combustível com a finalidade de reduzir danos ao meio ambiente já existe devido à tecnologia de controle e regulamentação dos níveis de emissões veiculares. Para se chegar a essa conquista, foi realizado antes diversas modificações no motor de combustão interna, entre elas destaca-se a demanda por projetos de motores de combustão interna menores e mais eficientes.

As emissões estão relacionadas justamente ao consumo de combustíveis, ou seja, ambos são proporcionais. Heywood (1988) afirma que os catalisadores, reatores térmicos e filtros para materiais particulados são exemplos de tecnologias aplicadas no objetivo da diminuição de emissões.

O catalisador é uma substância ou material que atua numa reação ou processo químico, alterando sua velocidade seja positiva ou negativamente. Os reatores térmicos possuem materiais moderadores para reduzir a velocidade dos nêutrons. O filtro é um método analítico que mede a emissão de materiais particulados, ele é acoplado ao escapamento do motor de um grupo gerador.

Alvares Junior (2012) afirma que há muitas maneiras de melhorar a eficiência energética dos combustíveis e diminuir as emissões de gás carbônico, entre elas destaca-se o uso de motores movidos a energias renováveis. É importante esclarecer que existem também medidas não tecnológicas que prezam também pelo mesmo objetivo, como exemplo podemos citar ações no campo da fiscalização.

3 COMBUSTÍVEIS

Entre os combustíveis derivados do petróleo destaca-se a gasolina e óleo diesel. Existem os alternativos como álcool e o gás natural. O consumidor tem a oportunidade de escolher o combustível de acordo com a finalidade desejada, já que cada um obtém características físicas e químicas que são próprias e distintas. Os motores de ignição por centelha, como no caso dos de ciclo Otto, em geral trabalham com gasolina, álcool e Gás Natural Veicular (GNV). Desta forma, segue abaixo uma descrição breve desses combustíveis.

3.1 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS

A autonomia do motor está ligada diretamente ao poder calorífico do combustível, ou seja, quanto maior o poder calorífico inferior do combustível, maior a autonomia do motor. Segundo Carvalho (2011), a maioria dos combustíveis tem em sua composição o hidrogênio, em virtude disso ocorre a formação da água, quando o hidrogênio é queimado, desta forma os valores do poder calorífico podem ser alterados em função do estado da água (líquido ou vapor) presente nos produtos da combustão.

O poder calorífico dos combustíveis pode ser classificado como superior ou inferior. De acordo com Doat (1977) o poder calorífico superior é dado por um processo de combustão sob um volume constante, onde a água formada neste processo é condensada e o calor provido dessa condensação é recuperado. Ceragioli (2013) afirma que o poder calorífico inferior é dado quando o processo de combustão se efetua a pressão constante, logo a água de combustão não é condensada.

O poder calorífico inferior dos principais combustíveis comercializados no Brasil, é classificado pela Agência nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Copergás como segue no quadro 1:

Quadro 1: Poderes Caloríficos Inferiores.

Combustível	Poder calorífico Inferior (kcal/kg)
Etanol Anidro	6.750
Etanol Hidratado	6.300
Gasolina A	10.400
Gasolina C	10.200

Fonte: ANP, 2011.

Quadro 2: Poder Calorifico Inferior do Gás natural.

Combustível	Poder calorífico Inferior (kcal/kg)
Gás natural	10.897

Fonte: Site da Copergás.

A octanagem dos combustíveis é outro fator que influencia de forma decisiva no rendimento do motor, porém ela não define a qualidade do combustível. A octanagem é definida como o índice de resistência a auto detonação de combustíveis (NASCIMENTO, 2008).

De acordo com Carvalho (2011), dependendo do índice de octanagem do combustível, o motor pode suportar maiores taxas de compressão, como também pontos de avanços por ignição adiantados, desta forma proporcionando maior eficiência por parte do motor.

O índice de octanagem faz uma relação de equivalência à resistência de detonação de uma mistura percentual de isoctano. Para determinar a octanagem de um combustível utiliza-se de três métodos MON, RON e IAD (CARVALHO, 2011).

O método *Research Octane Number* (RON) promove uma avaliação da resistência a detonação do combustível com um motor de baixa rotação e carga plena. O *Motor Octane Number* (MON) se diferencia do MON, devido à avaliação ocorrer sobre alta rotação. No entanto, o método Índice Anti-Detonante (IAD) tem a função de traçar a octanagem do combustível através da média aritmética dos dois métodos citados anteriormente (Marques *et al.*, 2003).

A adição de aditivos (etanol, tolueno, alquilação), processo de isomerização e aromatização são medidas corretivas do índice de detonação do combustível, ou seja, esses procedimentos garantem que o combustível utilizado não cause danos ao veículo (CARVALHO, 2011).

3.2 GASOLINA

De acordo com Nascimento (2008), os combustíveis geralmente são compostos por carbono e hidrogênio. Atualmente, a gasolina é responsável por movimentar grande parte da frota de veículos, como também por alguns danos ao meio ambiente.

Nascimento (2008) afirma que a queima da gasolina, gera uma formação de névoa fotoquímica e consequentemente, o efeito estufa, pois os motores a combustão interna não realizam o processo de combustão de forma ideal. Em função desse fator prejudicial ao meio ambiente é que se busca por fontes alternativas, como o hidrogênio e por fontes renováveis, como o álcool, com o intuito de substituir a gasolina em sua função.

Segundo Carvalho (2011), a gasolina no Brasil apresenta em sua composição 25% de etanol anidro e 75% de gasolina pura (tipo A), o que a classifica como gasolina tipo C. É importante frisar que essas porcentagens podem variar sob as influências de fatores como: determinações governamentais e controle de preços.

No Brasil o preço da gasolina é instável devido a fatores como a alteração do valor de barril do petróleo, dependência da cotação do Dólar americano em relação ao Real e elevação do preço do petróleo, tendo em vista que as maiores reservas se localizam em regiões de constantes conflitos (AMORIM, 2005).

3.3 ÁLCOOL

O álcool é um composto orgânico que pode ser obtido a partir de vegetais ricos em açúcar, como a cana-de-açúcar, a beterraba e as frutas do amido, extrato da mandioca, do arroz e do milho, e da celulose extraída da matéria, como também através de processos sintéticos como a hidratação do etileno (NASCIMENTO, 2008).

Em consequência da crise do petróleo originada em 1970 e a incessante busca por combustíveis que emitissem gases poluentes em menor escala, optou-se pelo uso do álcool, uma tecnologia brasileira. Segundo Nascimento (2008), o primeiro veículo movido a álcool (FIAT 147) surgiu em 1979 e se tornou popular em 1986, com outros carros que também eram acionados por meio desse tipo de energia.

De acordo com Carvalho (2011), o álcool pode ser usado em motores de combustão interna, provenientes do etanol e do metanol. Em comparação à gasolina, o etanol apresenta

algumas vantagens, visto que é de origem renovável, possuem uma queima limpa e de ótimo funcionamento em motores de ciclo Otto.

O álcool também oferece maior potência e torque ao motor visto que possui maior octanagem em relação à gasolina. A desvantagem do uso álcool em relação ao uso da gasolina é devido à menor densidade de energia e a baixa volatilidade.

Nascimento (2008) afirma que no Brasil o álcool é comercializado com 7% de água presente em sua composição. É utilizado em grande escala em carros de corrida em consequência da octanagem. É possível melhorar a eficiência do álcool através de projetos específicos, já que o mesmo perde menor taxa de calor para o sistema de arrefecimento, possui uma taxa de queima maior, devolve pressões maiores no cilindro e possui uma octanagem maior, dessa forma, favorecendo maiores taxas de compressões em relação à gasolina (CARVALHO, 2011).

3.4 GÁS NATURAL VEICULAR

O gás natural é um composto formado por metano, etano, propano, butano e outros gases inertes (MELO, 2007). Ele apresenta vantagem como combustível, visto que possui abundância em suas fontes e assim como o álcool, possui uma queima limpa, além da baixa ausência nas emissões evaporativas.

O gás natural é produzido geralmente com petróleo, ou seja, através do mesmo processo que se dá através da extração nas depressões da superfície terrestre. Ao chegar à crosta ele é tratado para remoção de impurezas, como água e outros gases e posteriormente é transportado por gasodutos para as zonas de consumo, desta forma, ele pode ser obtido através da captação dos gasodutos ou por meio de empresas distribuidoras (PELIZZA, 2003).

De acordo com Carvalho (2011), em comparação à gasolina, o gás natural veicular oferece menor desempenho ao motor e menor consumo específico de combustível. Para um melhor aproveitamento, o GNV requer um avanço de ignição mais adiantado como forma de aumentar o desempenho do motor. Entretanto há outras formas de aumentar a capacidade de um motor movimentado a gás natural, como a implementação de turbos compressores e compressores mecânicos (CARVALHO, 2011).

Amorim (2005) afirma que o GNV por ser um combustível gasoso deve ser armazenado sempre como gás comprimido, ou seja, no cilindro sob altas pressões, desta forma tendo menor eficiência volumétrica em relação a gasolina e álcool. Sendo assim o

desempenho do motor em influência do GNV se torna menor do que utilizando os demais combustíveis (gasolina e álcool).

Segundo Silva Nogueira (2006), o uso do GNV vem crescendo mundialmente, sendo alvo de diversos setores (industrial, automotivo, residencial e comercial), tendo comumente utilização em motores leves e suaves, ou ainda na conversão de motores de ciclo Otto para utilização de GNV, desta forma tornando-o um motor bicomcombustível.

O GNV tem sido uma das alternativas mais exploradas acerca de pesquisas e tem-se constatado que ele possui baixo custo em manutenção, eficiência, limpeza e versatilidade, justificando-se desta forma a sua demasiada utilização e valorização em consequência da conscientização mundial no que se refere à preservação do meio ambiente (DELBEN, 2008).

3.5 TECNOLOGIA FLEX

De acordo com Nascimento (2008), a tecnologia Flex é um artifício utilizando um veículo de combustível duplo que está equipado com motor de ciclo Otto, que possui a capacidade de funcionar com mais de um combustível (álcool e/ou gasolina), em que podem ser misturados no mesmo tanque e consequentemente queimados. Melo (2007), afirma que essa invenção teve seu desenvolvimento inicialmente nos Estados Unidos e Europa, porém, era usado até 85% de álcool, pois desta forma evitaria possíveis problemas de partida a frio.

No Brasil, essa tecnologia foi introduzida em 2003 e passou a ter comumente utilização em 2006 (MELO, 2007). O princípio de funcionamento se dá através de um sensor que detecta a mistura de combustível, além de ajustar a injeção de acordo com a mesma.

De acordo com Heywood (1988), o sensor de oxigênio indica qual combustível está sendo utilizado, ou percentual de cada combustível presente na mistura no qual ocorre à queima e o controle da mistura ar /combustível.

O sensor fica localizado no escapamento e o módulo de controle corrige o ponto de ignição e injeção, ou seja, a correção é realizada após o processo de queimado combustível. Segundo Carvalho (2011), o sistema de controle eletrônico possui estratégias que visa melhorar a eficiência térmica, ou seja, a cada novo combustível utilizado para reabastecer o veículo inicia-se um novo ciclo de reconhecimento do mesmo, junto das correções no ponto de ignição e injeção.

A partir do século XXI, a maior invenção Flex é o veículo nacional Tetrafuel que funciona com quatro combustíveis (gasolina pura, gasolina com álcool, álcool e gás natural veicular) que são gerenciados por uma única central eletrônica.

A adaptação dos veículos no intuito de utilizar gás natural exige um determinado investimento, já que essa tecnologia tem evoluído muito (LARANJA, 2010). Há diversos *kits* de conversão para GNV, em que variam o preço em virtude das tecnologias e qualidade dos equipamentos.

3.6 CUSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Os custos dos combustíveis fósseis se elevam em uma proporção inversa a quantidade disponível para venda, quanto mais escasso o produto maior será o preço. O controle e uso dessa energia química exerce grande influência nas transformações econômica, sociais, tecnológicas e ambientais.

A principal finalidade na escolha do combustível é a economia, ou seja, o consumidor está procurando a melhor maneira de otimizar seu consumo, logo uma das condições importantes para atingir esse objetivo é ter o conhecimento dos preços dos combustíveis. Segue abaixo as tabelas 1 e 2 de levantamentos de custos dos combustíveis emitidos pela ANP.

Tabela 1: Síntese de Preços dos Combustíveis ao Consumidor Praticados no Brasil.

PRODUTO	UNIDADE	Nº DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO AO CONSUMIDOR				MARGEM MÉDIA
			PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO	
GLP	R\$/13kg	7760	52,17	7,14	35,00	75,00	17,49
GNV	R\$/m³	518	2,133	0,203	1,599	2,919	0,561
GASOLINA	R\$/l	6947	3,269	0,207	2,749	4,160	0,411
DIESEL	R\$/l	3992	2,801	0,155	2,480	3,640	0,273
DIESEL S10	R\$/l	4153	2,952	0,143	2,599	3,700	0,310
ETANOL	R\$/l	6448	2,049	0,351	1,390	3,610	0,352

Fonte: ANP, 2015.

Tabela 2: Síntese de Preços de Distribuidora dos Combustíveis Praticados no Brasil.

PRODUTO	UNIDADE	Nº DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO DISTRIBUIDORA			
			PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO
GLP	R\$/13kg	7760	34,68	7,61	20,22	58,90
GNV	R\$/m³	518	1,572	0,180	1,271	2,067
GASOLINA	R\$/l	6947	2,858	0,140	2,471	3,395
DIESEL	R\$/l	3992	2,528	0,117	2,216	3,110
DIESEL S10	R\$/l	4153	2,642	0,108	2,256	3,245
ETANOL	R\$/l	6448	1,697	0,288	1,220	2,699

Fonte: ANP, 2015.

Desta forma, fica claro que no século XXI o combustível mais barato é o GNV seguido pelo etanol, diesel, diesel S10, gasolina e gás natural liquefeito, respectivamente (GLP). De acordo com ANP (2013), o mercado do GNV ainda não é global, ou seja, seus preços não são aplicados da mesma forma, no mercado internacional, a cobrança de preços distintos é significativa quando comparados no mercado Europeu, Asiático e Norte-Americano. Essas diferenças de preços justificam-se pelo fato das indústrias possuírem características de mercado regional.

Para realizar economia efetiva de combustíveis, não se deve basear apenas nos preços disponíveis para o consumidor, como exemplo, pode-se citar o uso do álcool que possui menor preço em relação a gasolina, no entanto, o seu processo de queima se dá de forma mais rápida. Os preços estão sujeitos a alterações, pois há uma forte relação de dependência com nossa matriz energética, na qual o petróleo ainda predomina como maior sistema energético (ANP, 2013).

3.7 A VISÃO DO CONSUMIDOR: PREÇO RELATIVO ENTRE OS DOIS COMBUSTÍVEIS (ÁLCOOL E GASOLINA)

Os consumidores de veículos Flex quando desejam abastecer, precisam analisar os preços da gasolina e álcool não de forma isolada, e sim, através do preço relativo entre os dois combustíveis, esse fato justifica-se em decorrência do rendimento do álcool ser 30% menor do que o da gasolina. Desta forma, o preço relativo do etanol tem por objetivo dizer qual combustível oferece maior economia (LOSEKANN e CASTRO, 2011).

$$\text{Preço relativo do etanol} = \frac{\text{Preço do etanol}}{\text{Preço da gasolina}} \quad (11)$$

Quando o resultado do preço relativo for menor, aumenta-se a demanda por etanol, e quando maior, aumenta-se a demanda por gasolina. Com a escassez de investimentos no setor sucroalcooleiro devido à crise de 2009, ocasionada pelo desequilíbrio na economia mundial e o aumento do preço do açúcar no mercado internacional, a produção de etanol para abastecer o mercado doméstico reduziu (VIEGAS, 2011).

De acordo com Viegas (2011), o etanol teve maior demanda e os preços do etanol hidratado subiram, logo o etanol perdeu espaço para a gasolina após a crise, visto que sua competitividade diminuiu, desta forma tendo o seu preço mais caro que o etanol norte-americano.

Devido ao custo de transporte e tributação para cada unidade da federação serem diferenciados e outras especificações, os preços do etanol e da gasolina variam, o que determina ser vantajoso ou não abastecer com etanol. As condições do motor também podem influenciar no consumo do combustível, isso diz que a regra dos 70%, baseada na eficiência energética do etanol em relação a da gasolina, pode não ser aplicável para alguns modelos de veículos, ou seja, esse índice de eficiência pode ser maior ou menor.

4 DEFINIÇÃO DE EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA

Segundo Alcântara (2009), a eficiência é o uso racional dos meios dos quais se dispõe para alcançar um determinado objetivo. Em outras palavras trata-se da capacidade de alcançar os objetivos e as metas programadas com o mínimo de recursos disponíveis e tempo.

Muitas vezes o termo eficiência é confundido com o termo eficácia, porém, de acordo com Alcântara (2009) esta última se define como a escolha certa a se fazer, ou seja, selecionar as alternativas corretas como solução para o fim desejado, enquanto que, a eficiência está relacionada a melhor forma de fazer a escolha certa, mas, no entanto, ambas são de fundamental importância para o planejamento: determinação de objetivos certos, assim como os meios corretos para atingi-los.

Segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2006), a eficiência de um objeto ou sistema define-se como a divisão entre o indicador de desempenho do mesmo e o seu correspondente máximo, ou seja, de acordo com a expressão abaixo a eficiência pode ser entendida como:

$$\text{Eficiência} = \frac{I}{I_{\max}} \quad (12)$$

Onde,

I = Indicador de um desempenho atual de um determinado objeto

$I_{\max}$ = Máximo valor que um objeto pode alcançar nesse indicador

De acordo com Mariano (2007), a definição de eficiência expressa pela equação 12 pode ser utilizada para calcular até mesmo a eficiência energética, pois em uma máquina, por exemplo, poderia ser feito a análise interpretando o trabalho realizado por ela como o indicador de desempenho e a energia fornecida como o valor máximo alcançado desse indicador, considerando que não houvesse nenhuma perda de energia.

4.1 TIPOS DE EFICIÊNCIA

A eficiência pode assumir diversas definições dependendo do contexto em que está inserida, desde eficiência energética a eficiência produtiva, entre outras. Entre os vários tipos de sistemas em que se pode aplicar o conceito de eficiência tem-se os sistemas produtivos, que, de acordo com Tupy e Yamaguch (1998), a sua produtividade é compreendida como a

relação entre as quantidades de seus produtos e dos elementos essenciais para ocorrer a produção (insumos).

A eficiência de uma unidade produtiva é dada como uma comparação entre valores observados e valores ótimos (insumos e produtos), no qual o termo ótimo pode estar se referindo a possibilidade de produção (eficiência técnica) como também a um objetivo comportamental da unidade produtiva (eficiência econômica) (LOVELL, 1993).

A eficiência técnica é justamente a capacidade de evitar perdas através da produção de produtos e insumos ou da utilização do mínimo de elementos essenciais a produção (TUPY e YAMAGUCHI, 1998), enquanto a eficiência econômica é definida em termos de lucros, ou seja, é a diferença entre receitas e custos de produção (SILVA ROBERTO, 1977).

De acordo com Mariano (2007), a eficiência econômica é composta por eficiência alocativa e eficiência produtiva. Esta última é subdividida por suas componentes: eficiência técnica e eficiência de escala. Segue abaixo uma hierarquia de eficiência de acordo com o contexto.

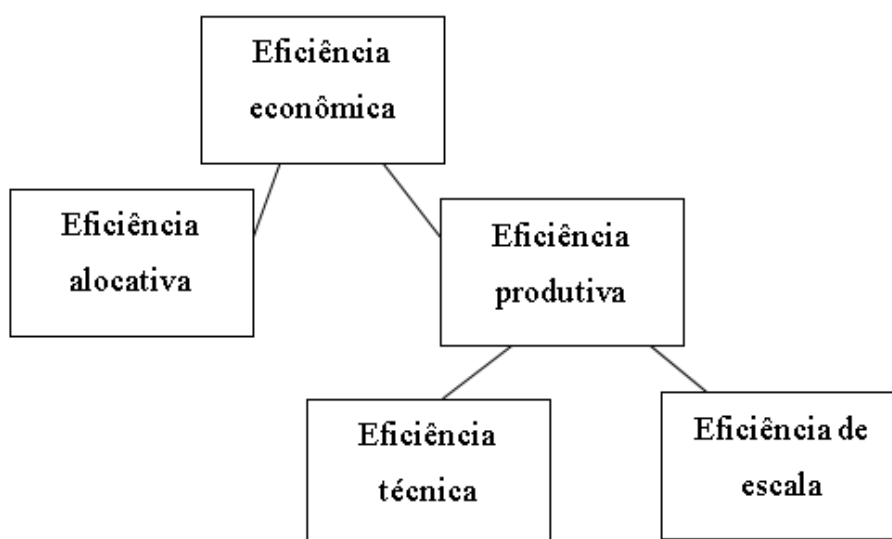


Figura 1: Tipos de eficiência.

Fonte: Mariano, 2007.

A eficiência alocativa é a habilidade de alocar os recursos da melhor forma possível, ou seja, é uma componente da eficiência econômica que tem a função de averiguar se um determinado recurso está sendo utilizado de maneira ótima. A eficiência em escala é um item da eficiência produtiva e define-se como a capacidade de produzir em escala de forma ótima (MARIANO, 2007).

Desta forma é evidente que antes de utilizar qualquer técnica de análise econômica deve-se primeiramente se certificar dos conceitos que estão envolvidos nesta técnica e ter a noção, de que, dependendo do contexto em que a eficiência está inserida ela pode ter um significado completamente distinto dos que ela pode vir assumir.

4.1.1 Eficiência Econômica

De acordo com Nied (2012) a eficiência econômica está relacionada a habilidade de maximizar riqueza e bem-estar social. Segundo Silva Roberto (1977), a eficiência econômica é definida de acordo com os propósitos ou objetivos da unidade econômica que está sendo considerada. Junio (1999) define o conceito de eficiência econômica como uma relação de custo-eficácia.

Farrel (1957) decompõe a eficiência econômica total em dois componentes: eficiência técnica (capacidade que uma unidade produtiva tem de obter o máximo produto, dado um conjunto de insumos) e eficiência alocativa (capacidade que a unidade produtiva tem de utilizar de seus insumos em proporções ótimas, dados seus preços).

Segundo Souza (2003), a eficiência econômica está relacionada a otimização de custo e lucro, ou seja, o processo produtivo apresenta eficiência econômica se não houver combinação de processos que resultem em uma produção com mesma quantidade, a menor custo, ou então quando produtos e insumos são variáveis e não ocorrer combinação de processos que gerem lucros.

Farrel (1957) no objetivo de medir a eficiência econômica total que é dada pela junção da eficiência técnica e alocativa, como também estimar a função de produção, propôs um método econométrico, ou seja, um método não paramétrico da fronteira determinista. De acordo com Farrel (1957), se uma unidade produtiva produz y unidades com a utilização de insumos (x_1, x_2) , considerando como função de produção de fronteira:

$$y = f(x_1, x_2) \quad (13)$$

E considerando que a unidade produtiva possua retornos constantes de escala:

$$1 = f(x_1, x_2) \quad (14)$$

Expressando-se x_2 em função de x_1 , obtém-se a fronteira técnica dada pela a figura 3.

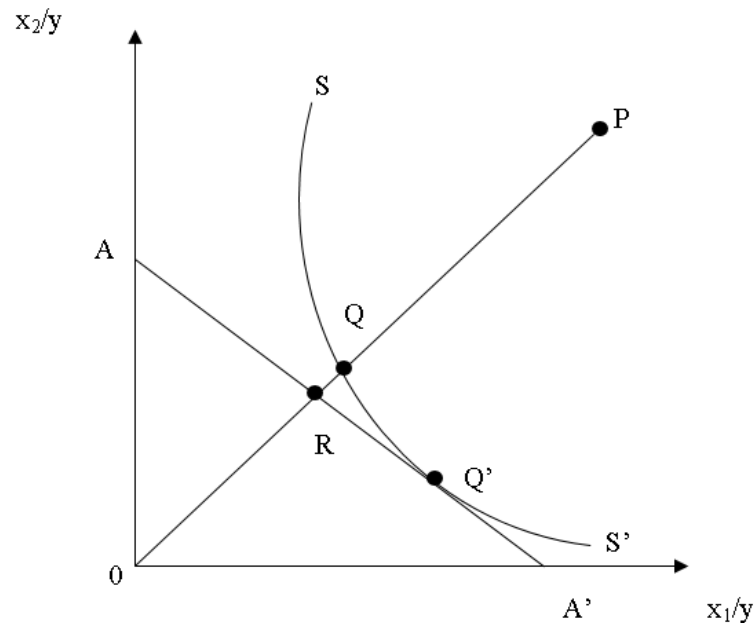


Figura 2: Medida de Eficiência com Orientação Insumo.

Fonte: Farrel, 1957.

De acordo com Souza (2003), na figura 3 o SS' representa a isoquanta unitária da unidade produtiva eficiente, como na prática ela é desconhecível, torna-se necessário estimar a função de produção da unidade. A distância QP indica a ineficiência técnica em caso de outra unidade produtiva utilizar uma quantidade de insumos definida pelo ponto P para produzir uma mesma quantidade de produto.

A ineficiência técnica nos diz a quantidade pela qual os dois insumos podem ser reduzidos sem que ocorra a diminuição de produção. Logo a eficiência técnica é dada por:

$$ET = 1 - \frac{QP}{OP} \quad (15)$$

Onde,

ET = Eficiência técnica

A razão $\frac{QP}{OP}$ = Ineficiência técnica

Logo $0 < ET \leq 1$. Se $ET=1$ pode-se dizer que a firma é tecnicamente eficiente, pois está sobre a isoquanta eficiente, como é o caso do ponto Q .

Por outro lado, quando se conhece AA' que é o isocusto que representa as razões entre os preços dos insumos, tem-se como calcular a eficiência alocativa, então considerando uma unidade produtiva que opera em P , tem-se:

$$EA = \frac{OR}{OQ} \quad (16)$$

Onde,

EA= Eficiência alocativa

A razão $\frac{OR}{OQ}$ = Os custos que precisam ser reduzidos para que ocorra eficiência alocativa.

Quando ocorre a situação em que a unidade produtiva opera no ponto Q' em vez do ponto Q, que é tecnicamente eficiente, no entanto alocativamente ineficiente, a distância RQ irá representar a redução dos custos de produção da firma.

Logo a eficiência econômica total é dada pelo produto da eficiência técnica e alocativa:

$$EE = \frac{OQ}{OP} \times \frac{OR}{OQ} = \frac{OR}{OP} \quad (17)$$

Onde,

EE= Eficiência econômica total

A equação 17 indica a quantidade de insumos que pode ser proporcionalmente reduzida, sem alterar a quantidade de produto que está sendo produzido.

No entanto, a medida da eficiência econômica orientada pelo produto dá-se, segundo Gomes e Baptista (2004), através da suposição de que o insumo x_1 está associado à produção de 2 bens (y_1, y_2) , dando característica a função $x_1 = g(y_1, y_2)$. A tecnologia pode ser representada por uma curva de possibilidades de produção unitária (zz') que segue na figura 4, considerando a produção com retornos constantes a escala.

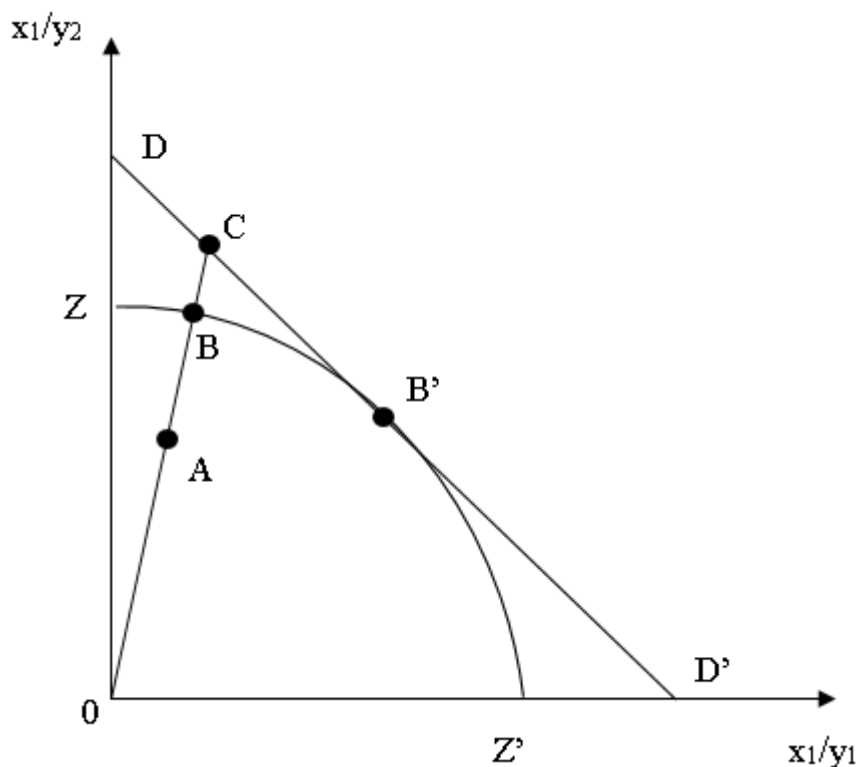


Figura 3: Medida de eficiência com orientação produto.

Fonte: Gomes e Baptista, 2011.

O ponto A representa uma firma ineficiente, enquanto a distância AB representa as quantidades de produtos que poderiam ser aumentadas sem necessidade de mais insumos, ou seja, é a própria ineficiência técnica. Logo a eficiência técnica é dada pela equação abaixo:

$$ET = \frac{OA}{OB} \quad (18)$$

Onde,

ET=Medida da eficiência técnica

Conhecendo-se a razão de preços dos produtos, pode-se traçar uma linha como a descrita pelo segmento DD', e a mesma irá representar uma curva de isorenda onde o produtor auferir o mesmo nível de receita, para qualquer combinação dos bens considerados, onde a inclinação é dada exatamente pela razão dos preços de y_1 e y_2 . Desta forma pode-se obter a definição da eficiência alocativa a partir de DD', logo:

$$EA = \frac{OB}{OC} \quad (19)$$

Onde,

EA=Medida da eficiência alocativa

Como a ineficiência alocativa da firma que opera em A, seria dada pela distância BC, conhecendo-se as medidas de eficiência técnica e alocativa, obtém-se a expressão da eficiência econômica:

$$EE = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC} \quad (20)$$

Onde,

EE= Eficiência econômica total

As medidas de eficiência podem ser obtidas de forma menos complicada, quando se há poucos insumos e produtos (GOMES e BAPTISTA, 2004).

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consiste na comparação entre os diferentes tipos de combustíveis (álcool, gasolina e GNV), o mesmo é constituído por duas etapas: a primeira etapa está ligada a coleta de dados e a segunda é uma análise técnica-econômica auxiliada por um modelo não paramétrico.

5.1 COLETA DE DADOS

Será utilizado dados da ficha técnica do automóvel Fiat Grand Siena Fire Evo 1.4 Tetrafuel, advindo do site da Fiat. O preço dos combustíveis se dará através de uma pesquisa de campo realizada em alguns postos de combustíveis instalados em municípios inseridos nas 4 (quatro) mesorregiões (Oeste Potiguar, Central Potiguar, Agreste Potiguar e Leste Potiguar) do estado do Rio Grande do Norte, durante o período de 01 de maio à 29 de setembro de 2015. As interrogações sobre a viabilidade de cada combustível serão respondidas comparando os diferentes tipos de combustíveis (álcool, gasolina e GNV) com base em pesquisas realizadas acerca da eficiência térmica e energética, propriedades dos combustíveis, custos/consumo dos combustíveis e o estudo do motor (ciclo de Otto), no objetivo de se chegar as possíveis respostas sobre as vantagens e desvantagens da utilização dos combustíveis.

O presente trabalho tem como característica de pesquisa documental, a coleta de dados restrita a documentos, escritos ou não, constituindo fontes primárias, ou seja, dados obtidos através de pesquisa de campo ou de laboratório. (LAKATOS e MARCONI, 2003).

5.2 MÉTODO DE ABORDAGEM

O método de abordagem utilizado neste trabalho é de caráter dedutivo, ou seja, esse método parte do pressuposto de que todas as proposições feitas sejam verdadeiras e com isso, as conclusões também sejam verdadeiras, e que toda a informação ou o conteúdo dos fatos já esteja contido em uma proposição inicial ou em alguma teoria (LAKATOS e MARCONI, 2003). As técnicas de análise utilizada nesta pesquisa são de cunho quantitativo.

5.3 ANÁLISE QUANTITATIVA

Segundo Gil (2002) nas pesquisas quantitativas as categorias são frequentemente estabelecidas *a priori*, o que simplifica o trabalho analítico, ou seja, os dados levantados costumam ser organizados em tabela, diferentemente das pesquisas qualitativas que se necessita valer de textos narrativos, esquemas, matrizes entre outros. De acordo com Lakatos e Marconi (2003) em estudos quantitativos, o método comparativo é empregado em largo alcance.

5.4 MÉTODO DE PROCEDIMENTO

O presente trabalho tem como método de procedimento, o caráter comparativo que segundo Lakatos e Marconi (2003), parte do pressuposto de que o mesmo permite analisar o dado concreto, deduzindo os elementos constantes, abstratos e gerais, ou seja, constitui uma verdadeira “experimentação indireta”.

5.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa é classificado como explicativa, que de acordo com Gil (2002), tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, e nas ciências naturais, valem-se quase exclusivamente do método experimental, ou seja, a maioria das pesquisas desse grupo podem ser classificadas como experimentais.

5.6 MODELO NÃO PARAMÉTRICO

Souza (2003) afirma que os métodos não paramétricos se aproximam mais do ideal de comparar o produtor com o grupo que se insere, e não propõem uma função com parâmetros que são estimados, mas implicitamente gera uma função de produção, via programação linear.

5.6.1 Análise Envoltória de Dados (DEA)

De acordo com Farrel (1957), os autores Charnes *et al.* (1978) deram ênfase a abordagem não paramétrica para múltiplos insumos e produtos e denominaram o termo *Data Envelopment Analysis* (DEA). Este modelo é muito sensível a observações destoantes, erros de medida e ruídos estatísticos em geral, ou seja, pode comprometer o cálculo de uma fronteira. Segundo Souza (2003) o (DEA) não impõe formas funcionais para representar as tecnologias.

O objetivo é gerar o conjunto de referência que é convexo e fechado, a partir dos próprios dados da firma e, por conseguinte classificá-las em eficientes ou ineficientes. A referência é a própria fronteira do conjunto, esta última é a envoltória, e os pontos observados estão sobre ela ou abaixo dela (SOUZA, 2003).

Ainda de acordo com a ideia do autor, o uso da especificação de retornos constantes, quando nem todas *Decision Making Units* (DMUS) estão operando em escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica que podem ser confundidas com eficiência de escala, já a utilização da especificação de retornos variáveis permite o cálculo das eficiências técnicas, livres desses efeitos de escala.

Observando a representação da eficiência técnica e de escala para um insumo e um produto na figura 5, temos que:

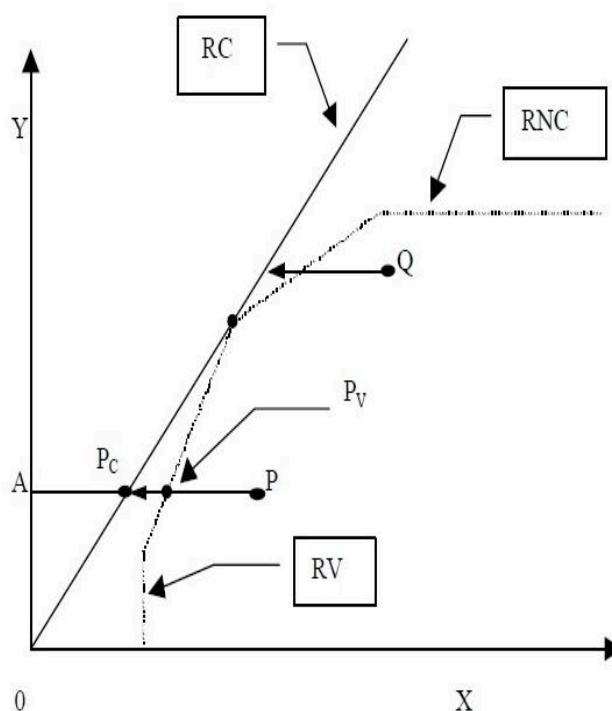


Figura 4: Eficiência técnica e eficiência de escala

Fonte: Coelli, 1996.

RC é a fronteira obtida pela técnica DEA para retornos constantes a escala, RV representa a fronteira para retornos variáveis. A distância PP_C indica a ineficiência técnica, já PP_V refere-se a mesma medida para retornos variáveis. A diferença entre as duas representa a ineficiência de escala. Logo, as medidas do ponto P em termos de razão são:

$$ET_{I,RC} = AP_C / AP \quad (21)$$

$$ET_{I,RV} = AP_V / AP \quad (22)$$

$$EE_{SC_I} = AP_C / AP_V \quad (23)$$

Onde:

I= Orientação Insumo

RC = Retornos Constantes

RV= Retornos Variáveis

Desta forma a medida da eficiência (EE_{SC_I}) técnica com retornos constantes a escala é composta pelo o produto da eficiência técnica com recursos variáveis. Quando ($EE_{SC_I}=1$) a DMU está operando com retornos constantes, e ($EE_{SC_I} \neq 1$) a DMU está operando com retornos variáveis.

A fronteira obtida para modelo com Retornos Não Crescentes (RNC) na figura 6, é composta inicialmente por uma faixa de fronteira com retornos constantes, com origem em zero, posteriormente é formada por uma faixa da fronteira de retornos variáveis. Comparando-se o coeficiente de eficiência técnica no modelo (RNC), com coeficiente de eficiência técnica, no modelo com Retornos Variáveis (RV), determina-se a natureza de escala de uma DMU, ou seja:

Se $ET_{RNC} = ET_{RV}$ os retornos são decrescentes

Se $ET_{RNC} \neq ET_{RV}$ os retornos são crescentes

Onde:

ET_{RNC} = Coeficiente de eficiência técnica no modelo com retornos não crescentes

ET_{RV} = Coeficiente de eficiência técnica no modelo com retornos variáveis

Desta forma, em uma organização, se o coeficiente de eficiência técnica no modelo com Retornos Não Decrescentes (RND) for comparado com o coeficiente de eficiência técnica no modelo com (RV), tem-se que:

Se $ET_{RND} = ET_{RV}$ os retornos são crescentes

Se $ET_{RND} \neq ET_{RV}$ os retornos são decrescentes

Onde:

ET_{RND} = Coeficiente de eficiência técnica no modelo com retornos não decrescentes

Na situação em que a DMU está operando com manutenção ou até diminuição de produção e aumento de insumos, há a possibilidade de utilização excessiva de insumos. Coelli (1996) afirma que a eficiência alocativa de cada DMU mediante um modelo de minimização de custos, após a determinação da eficiência técnica. Logo, em um modelo de orientação insumo com retornos variáveis obtêm-se, primeiramente, os coeficientes da eficiência técnica

para cada DMU, e posteriormente resolve-se o problema de minimização de custos para retornos variáveis a escala, ou seja:

$$MIN_{\tilde{e}, x_i^*} w_i x_i^* \quad (24)$$

Sujeito a:

$$-y_i + Y\lambda \geq 0$$

$$x_i^* - X\lambda \geq 0$$

$$N_1\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

Onde:

MIN = Minimização as matrizes dos insumos

w_i = Vetor de preço dos insumos para a i -ésima DMU

x_i^* = Vetor que minimiza os custos das quantidades de insumos para i -ésima DMU, dados os preços dos insumos w_i e as quantidades de produtos y_i

Y e o X = as matrizes de entrada e saída, ou seja, os *inputs* e os *outputs*

λ = os pesos de cada entrada e saída

N = Quantidade de DMUS utilizados que podem ser no máximo = 1, porque a eficiência varia de 0 a 1, em que 1 é eficiência e quanto mais distante de 1, mais ineficiente é a DMU.

O DEA tem por objetivo através da expressão (24), minimizar o preço dos insumos e os custos das quantidades. Logo a medida de Eficiência Econômica total (EE), para a i -ésima DMU é dada pela razão entre o custo mínimo e o custo observado, ou seja:

$$EE = \frac{W_i' X_i^*}{W_i' X_i} \quad (25)$$

Onde:

$W_i' X_i^*$ = os custos mínimos para a i -ésima DMU;

$W_i' X_i$ = os custos observados para a i -ésima DMU.

5.7 VEÍCULO FIAT GRAND SIENA FIRE EVO 1.4 TETRAFUEL

De acordo com o site da Fiat a versão Grand Siena Tetrafuel aumenta a flexibilidade do motor Fire Evo 1.4, desta forma pode-se ser abastecido por diferentes combustíveis

(álcool, gasolina, gasolina pura e GNV). O funcionamento do sistema GNV da Fiat tem o diferencial com relação a veículos adaptados a rodar com gás natural, pois o motorista tem a possibilidade de escolha, ou seja, usar apenas GNV, apenas combustível líquido ou então deixar a escolha, a cargo da central eletrônica, esta última é capaz de variar a alimentação de combustível, de acordo com a necessidade, independentemente da ação do usuário.

5.7.1 Ficha técnica do carro Fiat Grand Siena Fire Evo 1.4 Tetrafuel

As informações sobre um motor, contidas na ficha técnica são de grande importância para os consumidores, visto que representam o potencial e a segurança do veículo. Segue NO quadro 3 a ficha técnica do carro Fiat Grand Siena Fire Evo 1.4 Tetrafuel, retirada do site da Fiat.

Quadro 3: Especificações do motor Fire Evo 1.4.

MOTOR FIRE EVO 1.4	
POSIÇÃO	TRANSVERSAL, DIANTEIRO
NÚMERO DE CILINDROS	4 EM LINHA
DIÂMETRO X CURSO	72,0 x 84,0 mm
CILINDRADA TOTAL	1.368,3 cm ³
TAXA DE COMPRESSÃO	12,35: 1
POTÊNCIA MÁXIMA (ABNT)/REGIME	85 cv/ 5.750 rpm (GASOLINA) 88cv/5.750 rpm (ETANOL) 75 cv/5.750 rpm (GNV)
TORQUE MÁXIMO (ABNT)/REGIME	12,4 kgfm (GASOLINA) / 3.500 rpm 12,5 kgfm (ETANOL) / 3.500 rpm 10,7kgfm (GNV)/ 3.500 rpm
Nº DE VÁLVULAS POR CILINDRO	2
EIXO DE COMANDO DE VÁLVULAS	UM NO CABEÇOTE
IGNIÇÃO	
TIPO	MAGNETI MARELLI, ELETRÔNICA DIGITAL INCORPORADA AO SISTEMA DE INJEÇÃO
ALIMENTAÇÃO	
COMBUSTÍVEL	GASOLINA /ETANOL/ GNV
INJEÇÃO ELETRÔNICA	MAGNETI MARELLI, MULTIPONTO, SEQUENCIAL
CÂMBIO	
NÚMERO DE MARCHAS	5 À FRENTE E UMA À RÉ
RELAÇÕES DE TRANSMISSÃO	4,100

	2,158
	1,345
	0,974
	0,766
	3,818
RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DO DIFERENCIAL	4,923
TRAÇÃO	DIANTEIRA COM JUNTAS HOMO CINÉTICAS
EMBREAGEM	
TIPO	MONODISCO A SECO COM MOLA A DISCO E COMANDO HIDRÁULICO
SISTEMA DE FREIOS	
DE SERVIÇO	HIDRÁULICO COM COMANDO A PEDAL (ABS SÉRIE)
DIANTEIRO	A DISCO VENTILADO (Ø DE 257 mm) COM PINÇA FLUTUANTE
TRASEIRO	A TAMBOR (Ø DE 203 mm) COM SAPATA AUTOCENTRANTE E REGULAGEM AUTOMÁTICA DE JOGO.
SUSPENSÃO DIANTEIRA	
TIPO	MACPHERSON COM RODAS INDEPENDENTES, BRAÇOS OSCILANTES INFERIORES TRANSVERSAIS E BARRA ESTABILIZADORA
AMORTECEDORES	HIDRÁULICOS, PRESSURIZADOS A GÁS, TELESCÓPICOS DE DUPLO EFEITO
ELEMENTO ELÁSTICO	MOLA HELICOIDAL
SUSPENSÃO TRASEIRA	
TIPO	EIXO DE TORÇÃO COM RODAS SEMI-INDEPENDENTES COM BARRA ESTABILIZADORA
AMORTECEDORES	HIDRÁULICOS, PRESSURIZADOS A GÁS, TELESCÓPICOS DE DUPLO EFEITO
ELEMENTO ELÁSTICO	MOLA HELICOIDAL
DIREÇÃO	
TIPO	HIDRÁULICA COM PINHÃO E CREMALHEIRA
DIÂMETRO MÍNIMO DE CURVA	10,2 m
RODAS	
ARO	5,5X14"
PNEUS	185/65 R14
PESO DO VEÍCULO	

EM ORDEM DE MARCHA (Std A)	1207 kg
CAPACIDADE DE CARGA	400 kg
CARGA MÁXIMA REBOCÁVEL (SEM FREIO)	400 kg
DIMENSÕES EXTERNAS	
COMPRIMENTO DO VEÍCULO	4.290 mm
LARGURA DO VEÍCULO	1.700 mm
ALTURA DO VEÍCULO (VAZIO)	1.506 mm
DISTÂNCIA ENTRE EIXOS	2.511 mm
BITOLA DIANTEIRA	1.442 mm
BITOLA TRASEIRA	1.464 mm
ALTURA MÍNIMA DO SOLO	159 mm
VOLUME DO PORTA-MALAS	390 litros
TANQUE DE COMBUSTÍVEL	48 litros
DESEMPENHO	
VELOCIDADE MÁXIMA	173 km/h GASOLINA / 175 km/h (ETANOL) / 168 km/h (GNV)
0 A 100 km/h	13,8 s (GASOLINA) / 12,9 s (ETANOL) / 15,1 s (GNV)
CONSUMO	
CICLO URBANO (NBR 6601)	13,0 km/l (GASOLINA) / 9,0 km/l (ETANOL) / 14,3 km /m³ (GNV)
CICLO ESTRADA (NBR 7024)	17,8 km/l (GASOLINA) / 12,2 km/l (ETANOL) / 22,4 km /m³ (GNV)

Fonte: Site da Fiat.

5.8 PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS

Os preços dos combustíveis foram coletados através de uma pesquisa de campo sucedida em diversos postos de combustíveis instalados em cidades inseridas nas 4 (quatro) mesorregiões do estado do Rio Grande do Norte, ao longo do período de 01 de maio à 29 de setembro de 2015. É importante esclarecer que em algumas cidades populosas a variação entre o maior e o menor preço do produto (combustível) impossibilitou a coleta do mesmo por pesquisa de campo, desta maneira optando por uso de outras fontes para obter o preço dos combustíveis e possivelmente realizar uma média do preço de cada combustível por região, como sites, Órgão de Proteção e Defesa do Consumidor (PROCON) e ANP. Segue em anexo os preços dos combustíveis.

5.8 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA- ECONÔMICA

Para realizar a análise da eficiência técnica-econômica foi utilizado um programa com modelos de DEA. Foi preferível utilizar a média do preço real dos combustíveis como objetivo de saber o verdadeiro poder de compra do consumidor, para isto foi empregado no cálculo valores da inflação dos combustíveis dados pelo o Índice Geral de Preços no Mercado - Fundação Getúlio Vargas (IGP-M/FGV), durante o período de maio a setembro, no qual segue na tabela 3.

Tabela 3: Valores da inflação dos combustíveis por período.

PERÍODO	INFLAÇÃO (%)
MAIO	0,41
JUNHO	0,67
JULHO	0,69
AGOSTO	0,28
SETEMBRO	0,95

Fonte: IPEADATA, 2015.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TESTE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA-ECONÔMICA

Relacionando a média do preço real de cada combustível por município com o consumo do combustível equivalente em ciclo estrada e urbano, de acordo com dados do quadro 3, obteve-se o resultado de eficiência para cada combustível através do uso do software SIAD. Este resultado se deu pela equação (24), onde foi utilizado como o mínimo valor o preço em análise para cada combustível e o indicador de maior consumo para um dado combustível como preço referência. Segue na tabela 4 os valores do teste em modelo de DEA, junto de seus respectivos gráficos de dispersão.

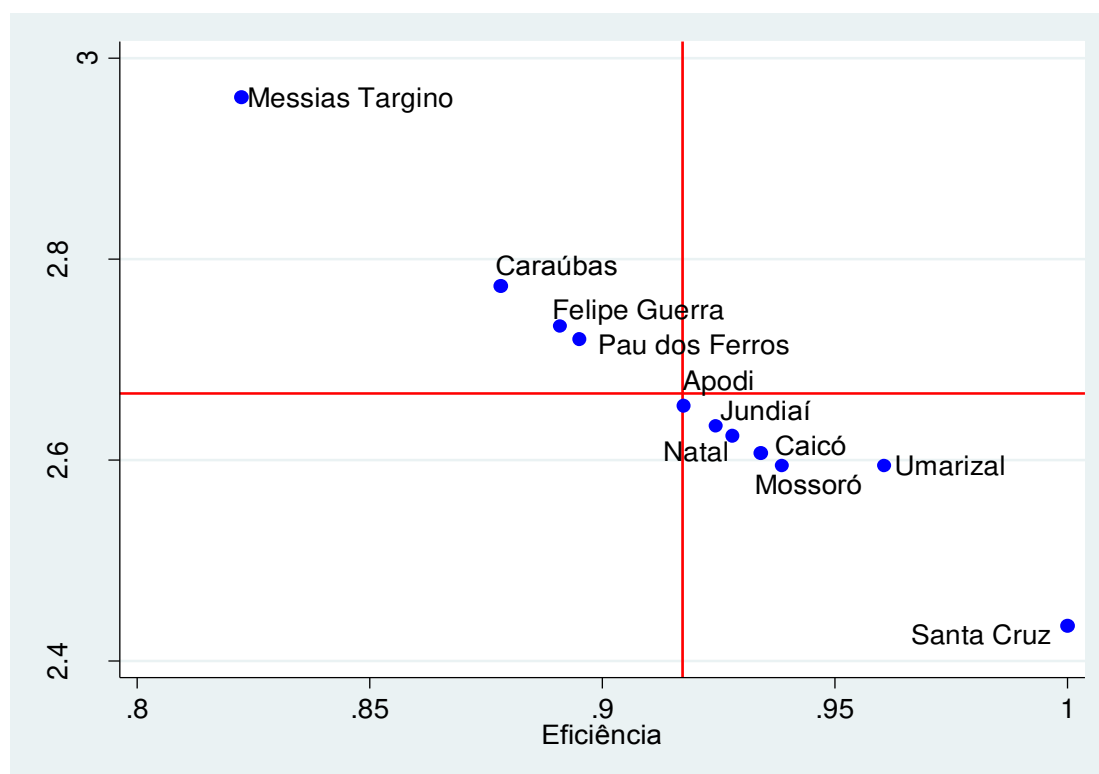
Tabela 4: Análise da eficiência do álcool com as variáveis preço-consumo.

ÁLCOOL	
MUNICÍPIO	EFICIÊNCIA
APODI	0,917603
CAICÓ	0,934045
CARAÚBAS	0,878136
FELIPE GUERRA	0,890909
JUNDIAÍ	0,924528
MESSIAS TARGINO	0,822424
MOSSORÓ	0,938697
NATAL	0,928030
PAU DOS FERROS	0,895141
SANTA CRUZ	1,000000
UMARIZAL	0,960693

Fonte: Teste no programa SIAD, 2015.

De acordo com os resultados expostos na Tabela 4, o município que atingiu a eficiência no uso do álcool como combustível foi Santa Cruz, seguido pelos municípios de Umarizal, Mossoró e Caicó, respectivamente. Entre os municípios analisados, o que resultou em menor eficiência no uso do álcool foi Messias Targino.

Gráfico 1: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços do Álcool.



Fonte: Teste no programa SIAD, 2015.

O gráfico 1 demonstra a relação entre o preço do álcool e a eficiência estimada pelo uso do combustível em cada município estudado. Assim, observa-se que o comportamento da eficiência em relação ao preço do álcool segue um padrão linear e negativamente inclinado, em que, quanto menor o preço do álcool adotado no município maior será a eficiência do uso do mesmo.

Desta forma, os municípios que estão inseridos no 4º quadrante são os mais eficientes, enquanto, os que estão inseridos no 1º quadrante, os menos eficientes. O município de Apodi foi o que se apresentou mais próximo da média do preço do álcool e da média de eficiência estimada para cada município estudado.

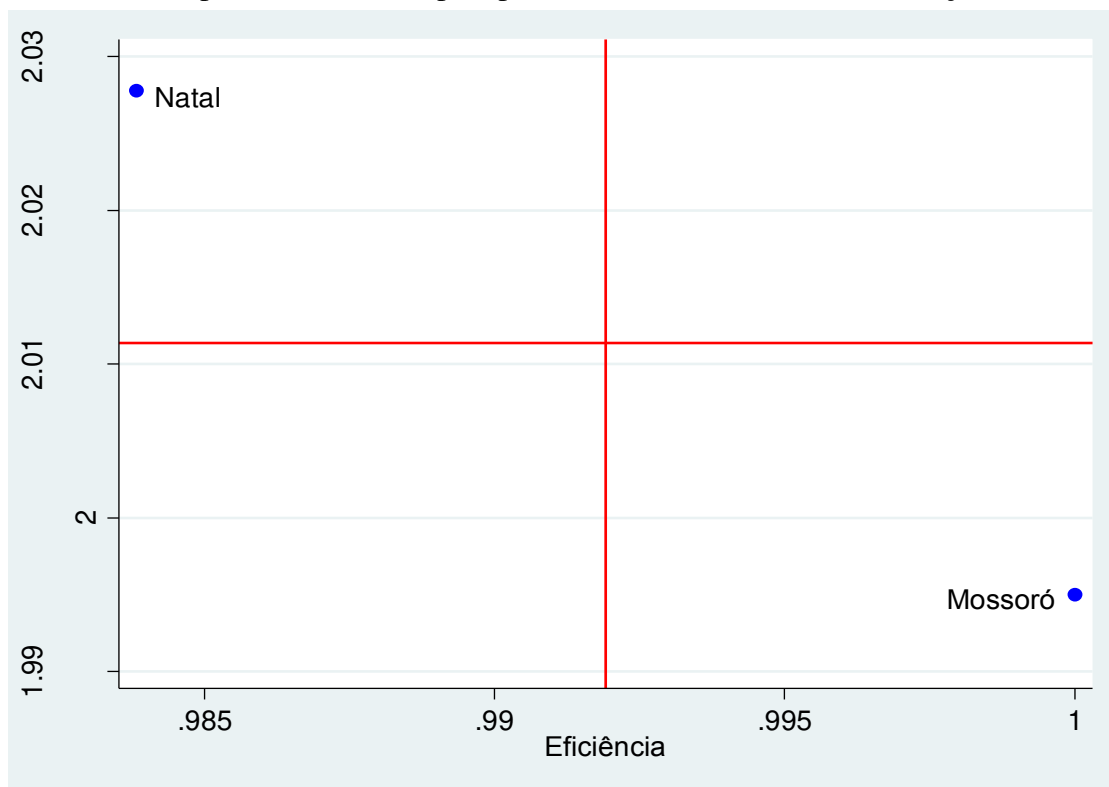
Tabela 5: Análise da eficiência do GNV com as variáveis preço-consumo.

GNV	
MUNICÍPIO	EFICIÊNCIA
MOSSORÓ	1,00000
NATAL	0,983824

Fonte: Teste no programa SIAD, 2015.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 5, o município que atingiu a maior eficiência no uso do GNV como combustível foi Mossoró, o que obteve menor eficiência no uso do GNV foi Natal. Mas este resultado limitou-se a esses dois municípios, ou seja, devido à falta de dados houve uma restrição mais precisa na avaliação do uso deste combustível.

Gráfico 2: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços do GNV.



Fonte: Teste no programa SIAD ,2015.

Semelhantemente ao que ocorreu no gráfico 1, o gráfico 2 apresenta o comportamento da eficiência em relação ao preço do GNV como um padrão linear e negativamente inclinado, em que, quanto menor o preço do GNV adotado no município maior será a eficiência do uso do mesmo. O município de Mossoró ficou inserido no 4º quadrante, ou seja, ele atingiu a eficiência máxima no uso do GNV, diferentemente do município de Natal que ficou no 1º quadrante.

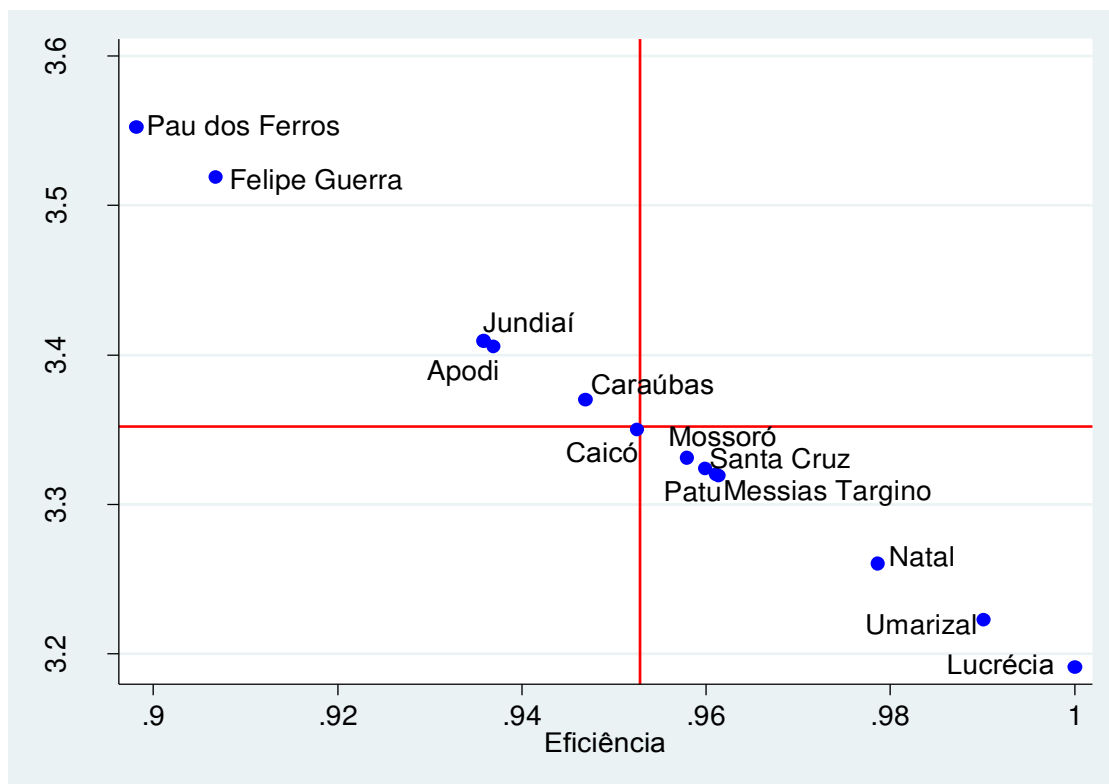
Tabela 6: Análise da eficiência da gasolina com as variáveis preço-consumo.

GASOLINA	
MUNICÍPIO	EFICIÊNCIA
APODI	0,936953
CAICÓ	0,952522
CARAÚBAS	0,946903
FELIPE GUERRA	0,906780
JUNDIAÍ	0,935860
LUCRÉCIA	1,000000
MESSIAS TARGINO	0,961366
MOSSORÓ	0,957923
NATAL	0,978659
PATU	0,961078
PAU DOS FERROS	0,898153
SANTA CRUZ	0,959928
UMARIZAL	0,990130

Fonte: Teste no programa SIAD, 2015.

Analisando a Tabela 6, o município que atingiu a eficiência no uso da gasolina foi Lucrécia, seguido pelos municípios de Umarizal, Natal, Messias Targino, Patu, Santa Cruz e Mossoró respectivamente. De acordo com os municípios estudados o que resultou em menor eficiência no uso da gasolina foi Pau dos Ferros.

Gráfico 3: Dispersão dos Municípios pelos Scores de Eficiência e os Preços da Gasolina.



Fonte: Teste no programa SIAD ,2015.

O gráfico 3 é conforme aos gráficos 1 e 2 pois apresenta o mesmo comportamento e relação entre o preço e a eficiência pelo uso do combustível em cada município. O município de Caicó foi o que se apresentou mais próximo da média do preço da gasolina e da média de eficiência estimada nos municípios analisados. Os municípios de Patu e Santa Cruz se classificaram com uma eficiência análoga no uso da gasolina.

Com os dados de consumo equivalente para cada combustível em ciclo estrada e ciclo urbano apresentados no quadro 3 e os preços dos combustíveis para cada município foi possível obter uma análise de preço por quilômetro de cada combustível nos dois ciclos de consumo, no qual segue na tabela abaixo os dados referentes a este estudo.

Tabela 7 : Eficiência do uso dos combustíveis por município com as variáveis preço-

MUNICÍPIO	PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS POR QUILOMETRO RODADO					
	CICLO ESTRADA			CICLO URBANO		
	ÁLCOOL (R\$/km)	GASOLINA (R\$/km)	GNV (R\$/km)	ÁLCOOL (R\$/km)	GASOLINA (R\$/km)	GNV (R\$/km)
APODI	0,2189	0,1925	_____	0,2967	0,2635	NÃO POSSUI
CAICÓ	0,2150	0,1893	_____	0,2914	0,2592	_____
CARAÚBAS	0,2287	0,1904	_____	0,3100	0,2608	_____
FELIPE GUERRA	0,2254	0,1989	_____	0,3056	0,2723	_____
JUNDIAÍ	0,2172	0,1927	_____	0,2944	0,2638	_____
LUCRÉCIA	_____	0,1803	_____		0,2469	_____

quilômetro.

MESSIAS TARGINO	0,2442	0,1876	—	0,3310	0,2568	—
MOSSORÓ	0,2139	0,1883	0,0896	0,2900	0,2578	0,1403
NATAL	0,2164	0,1843	0,0912	0,2933	0,2523	0,1427
PATU	—	0,1876	—	—	0,2569	—
PAU DOS FERROS	0,2243	0,2008	—	0,3041	0,2749	—
SANTA CRUZ	0,2008	0,1879	—	0,2722	0,2572	—
UMARIZAL	0,2139	0,1821	—	0,2900	0,2494	—

Fonte: Autora, 2015.

De acordo com a tabela 7, para os dois ciclos de consumo, o álcool obteve menor preço por quilômetro rodado no município de Santa Cruz e maior no município de Messias Targino. A gasolina apresentou maior preço de combustível por quilômetro rodado em Pau dos Ferros e o menor no município de Lucrécia. O GNV resultou em maior preço por quilômetro rodado no município de Natal e em contrapartida teve menor índice no município de Mossoró.

No município de Pau dos Ferros, o preço referente do combustível gasolina por quilômetro rodado é equivalente ao preço do álcool por quilômetro rodado no município de Santa Cruz, ou seja, a eficiência de custo é a mesma para ambos os combustíveis nesses municípios, isto para o ciclo estrada. No ciclo urbano o preço do álcool por quilômetro rodado no município de Mossoró é o mesmo identificado no município de Umarizal. No ciclo estrada, o preço por quilômetro rodado da gasolina no município de Messias Targino equivale ao preço do combustível em Patu.

Realizando uma análise em conjunto, o combustível que apresentou menor preço por quilômetro rodado é o GNV. O álcool em quase todos os resultados mostrou seu preço por quilômetro rodado superior ao da gasolina, mas ainda se encontrou uma equiparação de valores como foi mencionado no parágrafo acima.

Comparando os valores obtidos de eficiência no uso dos combustíveis com os valores do preço por quilometro rodado dos combustíveis, tem-se que a eficiência no uso do combustível é indiretamente proporcional a relação preço/quilometro, ou seja, para o

combustível quanto menor o valor dessa relação, maior será a eficiência do uso do combustível.

7. CONCLUSÕES

O álcool devido ao seu maior poder Anti-Detonante e maior velocidade de queima, proporciona a finalidade de maior desempenho aos motores de ciclo Otto, no entanto detém um maior consumo de combustível em relação a gasolina e o GNV.

Para o público alvo que visa a finalidade de economia no uso do combustível, o GNV é o mais indicado, visto que o mesmo apresenta maior poder calorífico o que nos dá maior autonomia como combustível.

Entretanto o GNV não proporciona bom desempenho ao motor devido a características como menor eficiência volumétrica do motor com esse combustível, maior relação ar/combustível e menor velocidade de chama.

A gasolina é o combustível que melhor satisfaz a condição técnica-econômica pois sob influência da mesma o motor obtém um bom desempenho, porém menor que com álcool e maior que com GNV.

Economicamente a gasolina é mais viável que o álcool, apesar de maior preço de combustível a gasolina tem a velocidade de queima menor, logo se tem maior autonomia, isso com relação ao combustível álcool.

Com relação a eficiência térmica, sabe-se que quanto mais eficiente é o motor menor será o gasto com combustível já que a energia de entrada utilizada para realizar o trabalho do motor irá ser menor.

O combustível que influencia para que a eficiência de combustão seja menor é o GNV, pois o seu poder calorífico sendo maior consequentemente a quantidade de calor liberado durante o processo de combustão será menor. O álcool proporciona maior eficiência de combustão o que justifica a sua função de maior desempenho ao motor.

Com relação a análise da eficiência do uso dos combustíveis tem-se que o município Santa Cruz apresentou maior eficiência no uso do álcool, e Lucrécia maior eficiência no uso da gasolina. O município Mossoró obteve maior eficiência no uso do GNV.

A eficiência do uso do combustível nos municípios estudados demonstrou que o consumidor tem a opção de abastecer o veículo por um menor preço de um determinado combustível em municípios circunvizinhos.

Apesar do preço do álcool ser menor que o da gasolina ainda se encontrou um mesmo custo de combustível por quilômetro rodado para o álcool e gasolina nos municípios de Santa Cruz e Pau dos Ferros, isso se dá pelo o fato do etanol está cada vez mais valorizado, ou seja, o seu preço está se elevando e o deixando cada vez menos viável economicamente.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Christian Mendez. Os princípios constitucionais da eficiência e eficácia da administração pública: Estudo comparativo Brasil e Espanha, constituição, economia e desenvolvimento: *Revista da academia brasileira de direito constitucional*. Curitiba - PR, 2009, n, 1, Ago-Dez, p, 24-49.

ALVARES JUNIOR, Olimpio Melo. *A tecnologia veicular e o controle das emissões de gases do efeito estufa*, 25 de agosto de 2012, 7 f, 2012.

AMORIM, Jorge R. *Análise do aumento da razão volumétrica de compressão de um motor flexível multicomcombustível visando melhoria de desempenho*, 2005, 189 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2005.

ANDRADE, Souza G. *Avaliação experimental da duração de combustão para diferentes combustíveis, em um motor padrão ciclo Otto ASTM-CFR*, 2007, 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2007.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores*, valores médios para o ano de 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>, acesso em: 23 set, 2015.

_____, *Sistema de levantamento de preços*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preço/>>. Acesso em: 24 set, 2015.

_____, *Boletim anual de preços 2013: Preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional*, Rio de Janeiro, 2013.

BOSCH, R. *Manual de tecnologia automotiva*, 25, ed, São Paulo: Edgard Blücher, 2005, 1232 f.

BRUNETTI, Franco. *Motores de combustão interna*, São Paulo: Blucher, 2012.

CARVALHO, Márcio Augusto S. *Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis*, 2011, 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Instituto de Engenharia, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2011.

ÇENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinâmica*, 5 ed, São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

CERAGIOLI, Sousa N. *Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos*, 2013, 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo - UESP, Botucatu, 2013.

COELLI, T. J. *A guide to DEAP version 2,1: A data envelopment analysis (computer) program*, CEPA Working Paper 96/08, 1996.

COPERGÁS, Companhia pernambucana de gás, *Produtos*. Disponível em: <<http://www.copergas.com.br/produtos/#,VgIY25c5nIU>>. Acesso em: 23 set, 2015.

DELBEN, Imbrunito L. *Indicador digital para carros movidos a GNV corrigido de acordo com a temperatura*, 2008, 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux, *Revue bois et forêts des tropiques*, n, 172, Mars-Avril, 1977, 55 f.

FARELL, M. J. The measurement of productive efficiency, *Journal of the royal statistical society*, Series A (General), V, 120, N °3, p, 253-290, March 1957.

FERGUSON, C, R. *Internal combustion engines: Applied thermosciences*, New York: J, Wiley & Sons, 1986.

FIAT, Fabbbrica italiana automobili torino. *Ficha técnica do carro FIAT Grand Siena Fire Evo 1,4 Tetrafuel*. Disponível em: <<http://www.fiat.com.br/carros/grand-siena.html>>, Acesso em :24 set, 2015.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4 ed, São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, A. P; BAPTISTA, A. J. M. S. *Análise envoltória de dados: Conceitos e modelos básicos*, In: SANTOS, M. L; VIEIRA, W. C, (Editores). Métodos quantitativos em economia, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG, p, 121-160, 2004.

HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw- Hill International ed, 1988, 930 f.

IGP-M, Índice geral de preços no mercado, Fundação Getúlio Vargas, Conjuntura Econômica. Disponível em :<<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 30 out, 2015.

LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos da metodologia científica*, 5 ed, São Paulo: Atlas, 2003.

LARANJA, Colona G. *Desempenho de um veículo flex em bancada dinamométrica de chassi*, 2010, 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2010.

LOSEKANN, L; CASTRO, G, R. *Automóveis flex- fuel: Entendendo a escolha de combustível*, Infopetro, Etanol, 21 de março, 2011. Disponível em:<<http://infopetro.wordpress.com/2011/03/21/automoveis-flexfuel-entendendo-a-escolha-de-combustivel/>>. Acesso em: 22 set, 2015.

LOVELL, C. A. K. Production frontiers and productive efficiency, In: *The measurement of productive efficiency: Techniques and applications*, New York: Oxford University Press, 1993, p, 3-67.

MARIANO, E. B; ALMEIDA M. R; REBELATTO D. A. N. Princípios básicos para uma proposta de ensino sobre análise por envoltória de dados, In: XXXIV Congresso brasileiro de ensino de engenharia (COBENGE). *Anais...* 2006, Universidade de Passo Fundo, 2006.

MARIANO, Enzo Barberio. *Conceitos básicos de análise de eficiência produtiva*, In: Simpósio de engenharia de produção (SIMPEP) [online], 14, Bauru, 2007, Bauru: UNESP, 2007. Disponível em : <http://www,simpep,feb,unesp,br/anais_simpep,php?e=1>. Acesso em: 22 set, 2015.

MARQUES, Xavier Argolo C; TEIXEIRA, Gomes Sena L; PONTES, Magalhães Antônio L, et al. Avaliação da adição de aditivos do tipo “BOOSTER” de octanagem no poder antidetonante na gasolina automotiva brasileira, In: 2º Congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás 2003, Rio de Janeiro, *Anais... Rio de Janeiro*, 2003.

MELO, Cordeiro Cavalcante T. *Modelagem termodinâmica de um motor do ciclo Otto tipo flexfuel, funcionando com gasolina, álcool e gás natural*, 2007, 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

NASCIMENTO, Silva Henrique J. *Estudo dos processos físicos envolvidos nos motores que utilizam como combustível álcool e gasolina (ciclo Otto)*, 2008, 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2008.

NIED, Paulo Sergio. *O conceito de eficiência econômica e a ruptura do contrato de sociedade*, 2012. Disponível em: <<http://www,publicadireito,com,br/artigos/?cod=21be9a4bd4f81549>>. Acesso em: 22 set, 2015.

PELLIZA, G. *Análise de veículos convertidos para o uso do combustível gás natural*, 2003, 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

PINTO, Costa Gonçalves Mozart P. *Análise das emissões veiculares em regiões urbanas e metodologia para quantificação de poluentes*, 2005, 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

PROCON MUNICIPAL DE NATAL, Instituto municipal de proteção e defesa do consumidor. *Preço de combustíveis em Natal, maio de 2015*. Disponível em: < http://portal.natal.rn.gov.br/_anexos/publicacao/documento/2015_Pesquisa_de_Precos_Combustiveis_PESQUISA_DE_COMBUSTIVEL___MAIO___2015_1380.pdf >. Acesso em: 20 jun, 2015.

RIBEIRO, Carvalho Ayslan F. *Por dentro do ciclo Otto*, 2009, 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2009.

SANTANA, Claudio M. *Análise de vibrações em um motor de combustão interna*, 2010, 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, Nerivaldo R. *Metodologia para determinação da potência indicada em motores de combustão interna*, 2006, 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, São Paulo, 2006.

SILVA, Nogueira S. *Uso do GNV em ônibus urbano para operar em linha comercial-projeto piloto Gasbus*, 2006, 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2006.

SILVA, P, R. Eficiência técnica vs eficiência econômica, *Revista Ciência Agronômica*, Ceará, v, 7, p, 157–163, dez, 1977.

SOUZA, Homem Pacífico D. *Avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos na análise da eficiência da produção de leite*, 2003, 136 f. Dissertação (Doutorado em Ciências, área de concentração: Economia aplicada) – Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2003.

STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*, 3 ed, Warrendale, Pa. Editora Society of automotive engineers, Inc,1999.

TUPI, O; YAMAGUCHI, L, C, T. *Eficiência e produtividade: Conceitos e medição*, Agricultura em São Paulo, São Paulo, p, 39-53, 1998.

VIEGAS, T. *A solução para a crise do etanol: incentivos, subsídios, regulação ou defesa da concorrência?* Infopetro, Etanol, 20 jun, 2011. Disponível em:<<http://infopetro.wordpress.com/2011/06/20/a-solucao-para-a-crise-do-etanol-incentivos-subsidios-regulacao-ou-defesa-da-concorrenca/>>. Acesso em: set, 2015.

ANEXO

Lista de tabelas de preços dos combustíveis dos diversos municípios do estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 8: Média do preço dos combustíveis por região no município Natal.

REGIÕES					
COMBUSTÍVEIS	LESTE (R\$)	OESTE (R\$)	NORTE (R\$)	SUL (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,640	2,580	2,650	2,690	2,640
GASOLINA (l)	3,300	3,220	3,280	3,340	3,280
GNV (m³)	2,050	2,030	2,050	2,020	2,040

Fonte: PROCON, 2015.

Tabela 9: Média do preço dos combustíveis por região no município Mossoró.

REGIÕES							
COMBUSTÍVEIS	LESTE (R\$)	OESTE (R\$)	NORTE (R\$)	SUL (R\$)	CENTRAL (R\$)	ZONA RURAL (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,606	2,595	2,590	2,624	2,630	–	2,610
GASOLINA (l)	3,350	3,346	3,340	3,352	3,367	3,350	3,351
GNV (m³)	–	2,007	–	2,007	2,006	–	2,007

Fonte: ANP, 2015.

Tabela 10: Média do preço dos combustíveis no município Apodi.

ESTABELECIMENTOS				
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,749	–	2,590	2,670
GASOLINA (l)	3,449	3,440	3,390	3,426
GNV (m³)	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 11: Média do preço dos combustíveis no município Caicó.

COMBUSTÍVEIS	ESTABELECIMENTOS					MÉDIA GERAL (R\$)
	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	Z (R\$)	W (R\$)	
ÁLCOOL (l)	–	2,660	2,630	2,590	2,610	2,623
GASOLINA (l)	3,380	3,370	3,370	3,350	3,380	3,370
GNV (m³)	–	–	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 12: Média do preço dos combustíveis no município Caraúbas.

COMBUSTÍVEIS	ESTABELECIMENTOS		MÉDIA GERAL (R\$)
	X (R\$)	Y (R\$)	
ÁLCOOL (l)	2,690	2,890	2,790
GASOLINA (l)	3,390	3,390	3,390
GNV (m³)	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 13: Média do preço dos combustíveis no município Umarizal.

COMBUSTÍVEIS	ESTABELECIMENTOS			MÉDIA GERAL (R\$)
	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	
ÁLCOOL (l)	–	2,630	2,590	2,610
GASOLINA (l)	3,280	3,218	3,229	3,242
GNV (m³)	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 14: Média do preço dos combustíveis no município Lucrécia.

COMBUSTÍVEIS	ESTABELECIMENTOS		MÉDIA GERAL (R\$)
	K (R\$)	X (R\$)	
ÁLCOOL (l)	–	–	–
GASOLINA (l)	3,210	3,210	3,210
GNV (m³)	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 15: Média do preço dos combustíveis no município Jundiáí.

ESTABELECIMENTOS		
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,65	2,650
GASOLINA (l)	3,43	3,430
GNV (m³)	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 16: Média do preço dos combustíveis no município Messias Targino.

ESTABELECIMENTOS				
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,979	2,979	2,979	2,979
GASOLINA (l)	3,339	3,339	3,339	3,339
GNV (m³)	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 17: Média do preço dos combustíveis no município Pau dos Ferros.

ESTABELECIMENTOS						
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	Z (R\$)	W (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,790	2,730	–	–	2,690	2,737
GASOLINA (l)	3,570	3,560	3,580	3,570	3,590	3,574
GNV (m³)	–	–	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 18: Média do preço dos combustíveis no município Patu.

ESTABELECIMENTOS				
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	–	–	–	–
GASOLINA (l)	3,340	3,340	3,340	3,340
GNV (m³)	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 19: Média do preço dos combustíveis no município Santa Cruz.

ESTABELECIMENTOS						
COMBUSTÍVEIS	K (R\$)	X (R\$)	Y (R\$)	Z (R\$)	W (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,450	–	–	2,450	2,450	2,450
GASOLINA (l)	3,260	3,450	3,290	3,450	3,270	3,344
GNV (m³)	–	–	–	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Tabela 20: Média do preço dos combustíveis no município Felipe Guerra.

COMBUSTÍVEIS	ESTABELECIMENTOS		
	K (R\$)	X (R\$)	MÉDIA GERAL (R\$)
ÁLCOOL (l)	2,750	–	2,750
GASOLINA (l)	3,550	3,530	3,540
GNV (m³)	–	–	–

Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar possíveis ensaios experimentais em um motor com diferentes combustíveis no dinamômetro de bancada.

Estudar a eficiência técnica e econômica de outros combustíveis como o diesel e biodiesel.

Mostrar a desvantagem de um motor Tetrafuel ao analisar a taxa de compressão deste motor sob a influência de diferentes combustíveis

Estudar possíveis formas de aumentar o rendimento de um motor sob a atuação de um determinado combustível.