

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
TALITA CRISTINA FURLAN

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO PERCENTUAL DE
ETANOL ANIDRO NA POTÊNCIA DESENVOLVIDA POR UM
MOTOR CICLO OTTO VHC 1.0**

CASCADEL
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

TALITA CRISTINA FURLAN

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO PERCENTUAL DE
ETANOL ANIDRO NA POTÊNCIA DESENVOLVIDA POR UM
MOTOR CICLO OTTO VHC 1.0**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me^o. Carlos Alberto Breda

CASCADEL
2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, pela força divina em minha vida.

À minha família, por me apoiar diariamente durante esta grande jornada, e pela ajuda recebida durante os testes efetuados em laboratório.

Ao professor mestre engenheiro mecânico, Carlos Alberto Breda, por me guiar e orientar durante a construção deste trabalho de conclusão de curso.

Ao professor mestre engenheiro agrícola, Bruno dos Santos, por me apoiar e conduzir os meus estudos.

Às amigadas construídas ao longo dos cinco anos durante o curso, pelas palavras acolhedoras e conselhos sempre que necessário.

Aos postos de combustíveis da cidade de Corbélia-Pr, que com muita dedicação, simpatia e bom atendimento, me ajudaram a obter os combustíveis necessários para os testes de laboratório.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares,
Pela motivação e carinho presente durante a construção deste trabalho.

RESUMO

A adição do etanol é uma obrigação legal dos distribuidores de combustíveis. A Lei N°8.723, de 1993, estipulou a mistura de álcool anidro na gasolina. Com o passar dos anos, novos decretos alteraram a porcentagem da mistura. Em 2015, o Ministério da agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina comum em 27%. Como vantagens, esse acréscimo de 27% representa um aumento no índice de octanagem da gasolina e a diminuição da emissão de monóxido de carbono para a atmosfera. Em contrapartida, ocorre o aumento do consumo do combustível e da produção de óxidos de nitrogênio. Entretanto, o projeto de lei PL 7863/2017 prevê uma adição de etanol anidro à gasolina de 30%. O objetivo desse estudo é analisar a influência do acréscimo percentual de 30% de etanol anidro na potência desenvolvida por um motor ciclo Otto VHC 1.0. As misturas de gasolina-etanol tiveram como base a formulação atualmente comercializada (27%) e projeções previstas pela PL 7863/2017 (30%). Na sequência, foram testadas misturas com 15% e 27% de etanol anidro, em triplicata. O método de medição para a potência do motor é baseado na norma brasileira NBR ISO 1585, na qual utiliza-se um dispositivo denominado dinamômetro com “célula de carga”. Esse aparelho é destinado a mensurar as curvas de desempenho, dos parâmetros de torque e potência. Com o estudo pôde-se validar a hipótese H_1 , aceitando-se que existe uma correlação direta e positiva entre as variáveis X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X_2 (Potência). O trabalho identifica maiores valores para a formulação atualmente comercializada de 27% de etanol anidro, com potência e torque, de 49,17Hp e 80,69Nm, respectivamente. Já a formulação da PL 7863/2017 de 30%, apresentou uma redução da potência e torque em 5,42% e 3,76%.

Palavras-chave: Projeto de lei PL 7863/2017; Combustíveis; Motor ciclo Otto; Potência do motor.

ABSTRACT

The addition of ethanol is a legal obligation of fuel distributors. Law No. 8,723 of 1993 stipulated the mixture of anhydrous alcohol in gasoline. Over the years, new decrees changed the percentage of the mix. In 2015, the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA) set the mandatory percentage of the addition of anhydrous ethanol to ordinary gasoline at 27%. As an advantage, this 27% increase represents a rise in gasoline octane rating and a decrease in carbon monoxide emissions into the atmosphere. On the other hand, there is an increase in fuel consumption and nitrogen oxide production. However, bill PL 7863/2017 provides for the addition of anhydrous ethanol to gasoline by 30%. The aim of this study is to analyze the influence of the 30% increase in anhydrous ethanol on the power developed by an Otto VHC 1.0 cycle engine. The gasoline-ethanol blends were based on the currently marketed formulation (27%) and projections provided by PL 7863/2017 (30%). In sequence, mixtures with 15% and 27% anhydrous ethanol were tested in triplicate. The measurement method for the engine power is based on the Brazilian standard NBR ISO 1585, where a device called a "load cell" dynamometer is used. This device is designed to measure performance curves, torque and power parameters. With the study it was possible to validate the hypothesis H₁, accepting that there is a direct and positive correlation between the variables X₁ (Percentage of anhydrous ethanol in the mixture) and X₂ (Power). The work identifies higher values for the currently marketed formulation of 27% anhydrous ethanol, with power and torque, of 49.17Hp and 80.69Nm, respectively. Already the formulation of PL 7863/2017 30%, presented a reduction of power and torque by 5.42% and 3.76% respectively.

Keywords: Bill PL 7863/2017; Fuels; Motor cycle Otto; Motor power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da força tangencial e distância	21
Figura 2 - Provetas de 1000 ml.....	32
Figura 3 - Motor acoplado ao freio do dinamômetro	33
Figura 4 - Boxplot e histograma para a variável X1 (Percentual de etanol anidro na mistura).	38
Figura 5 - Gráfico Boxplot e histograma para a variável X_2 (Potência).....	39
Figura 6 - - Gráfico Boxplot e histograma para a variável X_3 (Torque).	40
Figura 7 - Gráfico de dispersão e histogramas.	41
Figura 8 - Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X2 (Potência).....	42
Figura 9 - Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X3 (Torque).....	42
Figura 10 - Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X2 (Potência) e X3 (Torque):	43
Figura 11 - Gráfico QQ-plot para a variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura).....	44
Figura 12 - Gráfico QQ-plot para a variável X2 (Potência):.....	46
Figura 13 - Gráfico QQ-plot para a variável X2 (Potência).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PCI dos combustíveis para motor Otto.....	26
Tabela 2 - Informações do motor de teste	31
Tabela 3 - Proporção de combustível utilizada por teste.....	32
Tabela 4 - Dados empregados na análise estatística.....	35
Tabela 5 - Teste de hipóteses.....	37

SIMBOLOGIA

Letras maiúsculas

B	cm	Diâmetro do pistão
<i>F</i>	N	Força
N	rpm	Velocidade rotacional do virabrequim
Nr	rpm	Número de revoluções
P	Kw	Potência
T	N.m	Torque
Tc	adimensional	Taxa de compressão
V	cm ³	Volume cilindro
Vc	cm ³	Volume da câmara
Vd	cm ³	Volume deslocado

Letras minúsculas

<i>a</i>	cm	Raio da manivela
<i>d</i>	m	Distância
<i>l</i>	cm	Comprimento da manivela
<i>s</i>	cm	Distância entre pino e o eixo da manivela

Abreviaturas

ANFAVEA	Associação nacional dos fabricantes de veículos automotores
ANOVA	Análise de variância
ASTM	American society for testing and materials
CIMA	Conselho interministerial do açúcar e do álcool.
CNP	Cadastro nacional de produto
GDI	Injeção direta de gasolina
IAA	Instituto do açúcar e do álcool.
ISO	International Organization for Standardization
MAPA	Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento

MON	Motor octane number
NBR	Norma brasileira registrada
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PL	Projeto de lei
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
PRONCOVE	Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores
RON	Research octane number
SAE	Society of automotive engineers
VHC	Very high compression

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
SIMBOLOGIA	10
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 MOTORES CICLO OTTO.....	17
2.1.1 Ciclo de potência de combustão interna	19
2.1.2 Medida de torque do motor de combustão interna	20
2.2 PARÂMETROS DO MOTOR	21
2.2.1 Razão de compressão.....	21
2.2.2 Volume cilindro	22
2.2.3 Torque.....	22
2.2.4 Potência efetiva.....	22
2.2.5 Pressão média efetiva	23
2.3 COMBUSTÍVEIS	23
2.3.1 Gasolina.....	23
2.3.2 Etanol	24
2.3.3 Histórico das proporções de mistura	25
2.4 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS	26
2.4.1 Poder calorífico	26
2.4.2 Composição química	26
2.4.3 Octanagem	27
2.4.4 Dinamômetro	27
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
2.5.1 Regressão linear simples.....	28
2.5.2 Teste de hipóteses	28

2.5.3 ANOVA	29
2.5.4 HISTOGRAMA E BOXPLOT	29
2.5.5 SOFTWARE R	30
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	34
4 RESULTADOS NÚMERICOS	35
4.1 REGRESSÃO LINEAR	35
4.2 ANOVA	43
5 CONCLUSÃO.....	48
6 TRABALHOS FUTUROS	49
7 REFERÊNCIAS.....	50
8 APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

Conforme dados da secretaria de Produção e Agroenergia (2015), a primeira medida de regulamentação do etanol combustível no Brasil, ocorreu a partir do Decreto nº 22.789, de 1º de junho de 1933, que criou o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), estabelecendo o percentual máximo de adição de etanol anidro combustível à gasolina comum em 5%. Em 08 de setembro de 1966, o Decreto de nº 59.190, estabeleceu um aumento significativo de 25% para a adição de etanol anidro combustível à gasolina.

O ex-presidente da república Ernesto Geisel, usando das atribuições dispostas no artigo 81, item III, da Constituição brasileira, na data de 14 de novembro de 1975 instituiu o Programa Nacional do Alcool (Proálcool) pelo decreto nº 76.593, que incrementou a utilização do etanol como combustível e permitiu a construção em 1979 do primeiro carro movido apenas a etanol produzido no Brasil, o Fiat 147.

Em 1988, a nova Constituição Federal, por meio do artigo 1-IV e 170, determinou uma nova função para o Estado, atuando na fiscalização, incentivo e planejamento da atividade econômica, abrindo a livre iniciativa e concorrência. Na data de 13 de março de 1989, a portaria CNP número 19, decretou a redução da adição de etanol anidro em 18%. Em novembro do mesmo ano, a Portaria CNP nº 143, estabeleceu uma nova redução em 13%.

Em 1993, a lei nº 8.723, de 28 de outubro, dispôs sobre a emissão de poluentes em veículos automotores. Um importante ponto dessa lei em relação ao álcool foi o artigo 9º, que fixou em 22% o percentual obrigatório de etanol anidro misturado à gasolina em todo o país. Já em 2015, o Ministério da agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina comum de 27%. Entretanto, o projeto de lei PL 7863/2017 prevê uma adição de etanol anidro à gasolina de 30%.

Segundo ensaios realizados em 2015 pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), de dirigibilidade, durabilidade e partida a frio/quente executados até o momento com a gasolina C fornecida pela Petrobras não apresentaram alterações significativas. Quanto à emissão de poluentes, houve um aumento no nível de NOx dentro dos limites estabelecidos pelo PROCONVE para os veículos avaliados. E o consumo de combustível aumenta de 1% a 2% em relação à gasolina com 25%.

Em 2017, o deputado João Carlos Siqueira (deputado Padre João), do Partido dos trabalhadores, apresentou o projeto de lei PL 7863/2017, que dispõe sobre a política de incentivo à produção de etanol em microdestilarias e em cooperativas de pequenos produtores

e dá outras providências. Para tal, previu-se um acréscimo de etanol anidro à gasolina de 30% para o ano de 2022. Como o projeto está aguardando a Apreciação do Plenário, ainda não foram elaborados estudos acerca da influência desse novo acréscimo percentual de etanol.

O objetivo desse estudo é analisar a influência do acréscimo percentual de 30% de etanol anidro na potência desenvolvida por um motor ciclo Otto VHC 1.0. As misturas de gasolina-etanol tiveram como base a formulação atualmente comercializada (27%) e projeções previstas pela PL 7863/2017 (30%).

Na sequência, foram testadas misturas com 15% e 27% de etanol anidro. O método de medição para a potência do motor é fundamentado na norma brasileira NBR ISO 1585, na qual se utiliza um dispositivo denominado de dinamômetro com “célula de carga”. Esse aparelho é destinado a mensurar as curvas de desempenho, dos parâmetros de torque e potência.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do acréscimo percentual de etanol anidro na potência desenvolvida por um motor ciclo Otto VHC 1.0.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para concluir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram desenvolvidos:

- Coletar informações sobre características do motor VHC 1.0 das especificações do fabricante GENERAL MOTORS®;
- Testar a potência e torque do motor em quatro condições de porcentagem de álcool anidro inseridos na gasolina pura;
- Analisar a partir de método estatístico anova as amostras de todos os resultados obtidos durante os testes;
- Comparar os resultados dos cálculos realizados para verificação da melhor resposta obtida no motor.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme Artigo 1º da portaria do Ministério da agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA), número 75 de 05 de março de 2015, e Resolução do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA), número 01 de 04 de março de 2015, fixa-se o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina comum e Premium em 27% e 25%, respectivamente. Todavia, o projeto de lei (PL 7863/2017), referente à Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), prevê metas de redução de emissão de gases pelos combustíveis, o que inclui a adição de etanol anidro à gasolina em, no mínimo, 30% até o ano de 2022.

Esta pesquisa tem como motivação analisar os efeitos sobre o índice de octanagem da gasolina, considerando o aumento percentual de etanol anidro. A pesquisa procurou enfatizar qual será a influência desse acréscimo na potência final desenvolvida pelo motor de combustão interna. Oferecendo, assim, uma abordagem teórica comparativa entre o percentual atual da mistura e o prognóstico da lei PL 7863/2017.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Foi analisada a variação de potência gerada no motor alimentado por gasolina com álcool anidro em sua mistura, de forma a investigar como se comportaram os resultados.

O questionamento principal se baseou em analisar se o projeto de lei PL 7863/2017, que tem como objetivo aumentar o percentual de álcool anidro na gasolina em até 30%, irá causar uma diferença de potência e torque no motor.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho de conclusão de curso foi realizado na cidade de Cascavel-PR (Latitude: -24.9555, longitude: -53,4552 24° 57' 20" "Sul, 53° 27' 19" Oeste), assim como os experimentos, e os dados coletados no laboratório de motores de combustão interna, que se localizam no Centro Universitário FAG.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme Brunetti (2012), máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar energia em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica e energia atômica.

O motor de combustão interna é uma união de peças móveis e fixas que durante seu funcionamento realiza a troca de energia química do combustível queimado em energia térmica, que para finalizar o ciclo é remodelada em energia mecânica (ACIOLI; RIOS, 2010).

As mudanças de energia em um motor de combustão interna ocorrem segundo o ciclo representado por Beau de Rochas, no ano de 1862, através de uma continuidade de operações (OBERT, 1971).

Obert (1971), cita ainda que o ciclo feito por Beau de Rochas foi executado com sucesso pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto, em 1876, na elaboração de um motor de combustão interna. A partir deste momento, o motor de combustão interna com ignição por faísca passou a ser conhecido como motor ciclo Otto.

2.1 MOTORES CICLO OTTO

Os motores ciclo Otto são alimentados por combustível por meio de um carburador ou sistema de injeção de combustível. O carburador é utilizado ainda em aplicações de baixa potência, nas quais as limitações de emissão de poluentes são menos restritivas do que em aplicações automotivas. A injeção do combustível, além de mais específica, concede melhores respostas no controle de emissões, podendo ocorrer no coletor de admissão ou diretamente na câmara de combustão (GDI- gasoline direct injection) (BRUNETTI, 2012).

Nos motores ciclo Otto a mistura é introduzida, em geral, já homogeneizada e dosada. A exceção acontece nos motores de ignição por centelha de injeção direta de combustível (GDI), nos quais somente o ar é admitido e a injeção de combustível é realizada diretamente no interior do cilindro (BRUNETTI, 2012).

Nestes motores, a mistura ar combustível é permitida, previamente dosada ou formada no interior dos cilindros quando há injeção direta de combustível (GDI), e inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela (BRUNETTI, 2012).

O comportamento de um motor de combustão interna está fortemente associado à quantidade de ar admitido e retido no interior dos cilindros, pois, quanto mais ar é inserido na

câmara, maior será a quantidade de combustível a ser adicionado e posteriormente oxidado (BRUNETTI, 2012).

É importante apresentar alguns dos componentes principais que constituem um motor ciclo Otto:

- **Bloco do motor** – Onde ficam os mancais de fixação do virabrequim, os cilindros e também contam com galerias de refrigeração e lubrificação (SANTOS, 2009);
- **Cabeçote** – Uma espécie de tampa de fechamento da parte superior do bloco de cilindros e onde se localizam as velas de ignição e as válvulas de admissão e escape (FURLANI, 2006);
- **Carter** – O cárter fecha o bloco na sua parte inferior e serve de depósito para o óleo lubrificante do motor (FURLANI, 2006);
- **Conjunto Móvel** – Esta parte tem a responsabilidade pela conversão dos movimentos retilíneos dos pistões em movimentos rotativos do virabrequim. O conjunto é composto por pistões e bielas, o virabrequim e o volante do motor (FURLANI, 2006);
- **Sistema de arrefecimento** – Tem como função manter a temperatura do motor dentro dos limites estipulados através da circulação de um fluido refrigerante composto por água e aditivos (CÂMARA, 2006);
- **Sistema de lubrificação** – Responsável por refrigerar, limpar, lubrificar e auxiliar na vedação dos pistões, este sistema leva em sua composição uma bomba de óleo, que funciona bombeando lubrificante para os diversos pontos do motor (SANTOS, 2009);
- **Sistema de alimentação** – É alimentado por combustível, por meio de um carburador ou de um sistema de injeção de combustível (BRUNETTI, 2012);
- **Sistema de ignição** – Responsável pelas faíscas elétricas nos cilindros, gerando a queima no momento adequado da mistura comprimida pelos pistões (CÂMARA, 2006);
- **Sensor de Oxigênio (Sonda Lambda)** - A sonda lambda, sensor de oxigênio, fica mais precisamente localizada no escapamento do veículo. Na grande maioria dos modelos, podemos verificar a existência de apenas uma após o catalisador, e em outros modelos, há a existência de duas sondas, uma antes e uma depois, assim, indiretamente mede a eficiência do catalisador e permite uma leitura mais correta dos gases emitidos pelo veículo e uma melhor correção da mistura ar-combustível (PEIXOTO, 2000). Haddad (2012), define o sensor de oxigênio como um dispositivo que envia um sinal elétrico à injeção eletrônica do automóvel indicando a presença de

oxigênio nos gases de escape, possibilitando o controle da quantidade de combustível a enviar para o motor (HADDAD, 2012). Para Peixoto (2000), para iniciar o seu funcionamento é indispensável que esteja aquecido próximo de 300°C, pra que se chegue a determinada temperatura existe uma resistência de aquecimento que se localiza junto à cerâmica que permite o aquecimento em dez segundos, mesmo quando os gases de escape estão a uma temperatura baixa (PEIXOTO, 2000).

- **Válvulas** – A abertura e o fechamento das válvulas são usualmente realizados pelo eixo comando de válvulas, assim, acaba gerando uma classificação relativa deste no sistema. Além dessa classificação quanto à posição do eixo comando, os motores também podem apresentar mais que uma válvula na admissão e/ou escapamento (BRUNETTI, 2012).

2.1.1 Ciclo de potência de combustão interna

O ciclo apresentado por Rochas divide a função da máquina em quatro fases, também conhecidas como “tempos”, por esta razão, a expressão motor de quatro tempos (OBERT, 1971).

Nesse caso, o pistão percorre 4 cursos, referindo-se a duas voltas da manivela do motor, para que seja completado um ciclo (BRUNETTI, 2012).

- Tempo de admissão: o pistão desloca-se do ponto morto superior ao ponto morto inferior. Nesse movimento, o pistão dá origem a uma sucção (depressão) que causa um fluxo de gases através da válvula de admissão, que estará aberta. O cilindro é preenchido com mistura combustível-ar ou somente ar nos motores de injeção direta de combustível se for de ignição por centelha (BRUNETTI, 2012).
- Tempo de compressão: a válvula de admissão se fecha e o pistão se desloca do ponto morto superior ao ponto morto inferior, causando compressão na mistura (BRUNETTI, 2012).
- Tempo de expansão: nas proximidades do ponto morto superior, ocorre a faísca que provoca a ignição da mistura. A combustão provoca uma grande dilatação da pressão, o que permite repelir o pistão para o ponto morto inferior, de tal forma que o fluxo ativo sofre um processo de expansão. Este é o processo que realiza o processo produtivo do motor (BRUNETTI, 2012).

- Tempo escape: com a válvula de escapamento aberta, o pistão desloca-se do PMI ao PMS, “empurrando” os gases queimados para fora do cilindro, para reiniciar o ciclo pelo tempo de admissão (BRUNETTI, 2012).

2.1.2 Medida de torque do motor de combustão interna

Um motor alternativo de combustão interna opera utilizando o mecanismo pistão-biela-manivela, que é o responsável pela geração de uma força de torção no eixo de manivelas, comumente conhecido como virabrequim (BRUNETTI, 2012).

Segundo Luz (2013), o torque depende do tamanho e da quantidade de pistões, da relação de compressão e do tipo de combustível utilizado, variando muito pouco com a rotação do motor, devido à perda de eficiência nas rotações mais altas e muito baixas.

As forças exercidas neste esquema, são conhecidas como a força uniaxial F que é aplicada ao pistão e transmitida à biela pela força radial F_b e desta ao virabrequim, dando origem a um componente de força tangencial F_{tan} e, conseqüentemente, gerando um momento instantâneo no eixo do motor. O componente de força F_r depende diretamente do ângulo da biela, sendo, assim, a força tangente e variável. Apesar do braço r ter dimensão constante, o momento no eixo do motor se altera de acordo com a variação do ângulo α , medido a partir da posição em que a biela e a manivela estão alinhadas, no ponto morto superior (PMS). O torque pode ser então calculado pelo produto entre a força tangencial e a distância entre o ponto sujeito a esta carga e o eixo, conforme mostra a figura 1 (BRUNETTI, 2012).

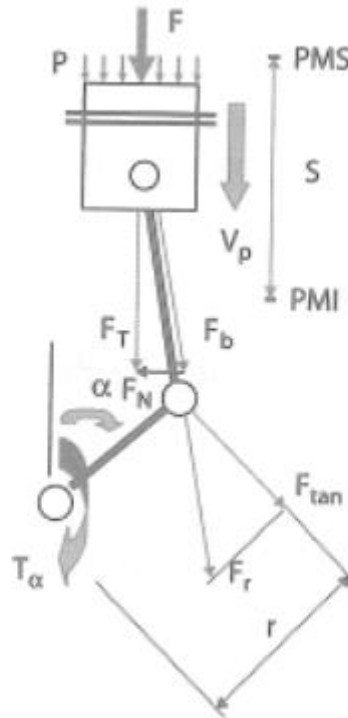


Figura 1 : Diagrama da força tangencial e distância
(Fonte: Brunetti, 2012)

2.2 PARÂMETROS DO MOTOR

Segundo Heywood (1988) existem parâmetros para caracterizar o modo de operação do motor, a seguir são descritos alguns deles.

2.2.1 Razão de compressão

Da perspectiva termodinâmica, a taxa de compressão, conforme equação (1), é diretamente encarregada pelo rendimento térmico do motor. Desta forma, quanto maior a taxa de compressão, melhor será o aproveitamento de energia liberada pela combustão que o motor estará fazendo do combustível consumido na câmara de combustão (MARTINELLI, 2010).

$$TC = \frac{V_D + V_C}{V_C} \quad (1)$$

Assim Martins (2011) define como sendo a razão entre o volume total do cilindro do motor (V_D), dado em centímetros cúbicos, quando o pistão está no PMS. E o volume da câmara de combustão (V_C), dado em centímetros cúbicos.

2.2.2 Volume cilindro

Heywood (1998) define o volume do cilindro em qualquer posição da manivela, através da equação (2).

$$V = V_C + \frac{\pi * B^2}{4} (l + a - s) \quad (2)$$

Onde B representa o diâmetro do pistão, a o raio da manivela, l o comprimento da manivela e s a distância entre o pino do pistão e o eixo da manivela. Todos os itens são dados em centímetros.

2.2.3 Torque

O Torque é uma grandeza vetorial definida através do componente perpendicular ao eixo de rotação da força aplicada sobre um objeto, que é efetivamente utilizada para fazê-lo girar. Nos motores, o torque é normalmente medido com auxílio de um dinamômetro conectado ao seu volante, e seu valor é dado pela equação (3):

$$T = F * d \quad (3)$$

Onde T representa o torque dado em Newton*metro, F é a força dada em Newton e d a distância entre o volante do motor e o eixo do rotor do dinamômetro, dado em metro.

2.2.4 Potência efetiva

Segundo Kirk e Othmer (1997), a potência efetiva de um motor é aquela que efetivamente é disponível para ser utilizada, ou seja, a potência depois de todas as perdas do motor. O valor de potência efetiva pode ser dado pela equação (4):

$$P = 2\pi NT \quad (4)$$

Onde a potência efetiva é dada em KW, N representa a rotação do motor dado em RPM e T representa o Torque dado em N*m.

2.2.5 Pressão média efetiva

A pressão média efetiva é a relação entre o trabalho gerado por um ciclo pelo volume deslocado. O valor do trabalho gerado por ciclo é dado pela fórmula (HEYWOOD, 1988):

$$Trab_{ciclo} = \frac{P * N_r}{N} \quad (5)$$

Assim Heywood (1988), define o trabalho por ciclo, como sendo a relação entre a potencia P dada em KW, o N_r é o número de revoluções da manivela que gera potência para cada ciclo completo e N representa a rotação do motor dado em RPM. Logo a pressão média efetiva é representada pelo quociente entre o Trabalho por ciclo e o volume deslocado, dado pela equação (6):

$$mep = \frac{P * N_r}{V_d N} \quad (6)$$

Onde V_d representa o volume deslocado pelo pistão. A pressão média efetiva é o parâmetro de comparação de desempenho de dois motores distintos, uma vez que, ao dividir o trabalho pelo volume deslocado, você tem o desempenho por unidade de volume, que ao contrário de antes, era um valor absoluto, onde os motores maiores tendiam a se caracterizar por melhor desempenho (HEYWOOD, 1988).

2.3 COMBUSTÍVEIS

Combustível é qualquer matéria, cuja, sua combinação química com outro seja exotérmica, ou seja, é qualquer substância que reage com o oxigênio produzindo calor. No caso dos motores à combustão interna, os combustíveis com maior utilização atualmente são o etanol, a gasolina e o óleo diesel (KIRK, 1997).

2.3.1 Gasolina

A gasolina é a mistura de várias naftas obtidas da manipulação do petróleo. Esta substância é composta por hidrocarbonetos de quatro a doze carbonos, correspondendo a maioria entre cinco e nove carbonos (BRUNETTI, 2012).

Para que ela possa ser comercializada são estabelecidos padrões de qualidade, desempenho e questões ambientais, e custo acessível que devem ser respeitados. Quanto maior as especificações mais caro e difícil a obtenção de uma mistura que atenda todas as exigências (BRUNETTI, 2012).

No Brasil existem dois tipos de classificação de gasolina:

- Gasolina A: isenta de álcool etílico anidro, a qual não só é permitida a comercialização para a relação refinadora e distribuidor;
- Gasolina C: contém o álcool etílico anidro em sua mistura, podendo apresentar teores de 18% a 27% (ANP, 2019).

As propriedades da gasolina variam em função das quantidades de naftas utilizadas na sua formulação. As propriedades que mais influenciam no desempenho do veículo são octanagem e volatilidade (BRUNETTI, 2012).

2.3.2 Etanol

O etanol (C_2H_5OH) é obtido por meio da fermentação natural de açúcares (álcool de 1º geração) ou pela hidrólise enzimática da celulose (álcool da 2º geração). É o único oxigenado permitido pela legislação brasileira (BRUNETTI, 2012).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, agricultura esta, desenvolvida desde meados do século XVI, quando o produto foi introduzido no país pelos portugueses. No Brasil, a cana-de-açúcar, além de ser fonte para combustíveis veiculares, também é utilizada na alimentação, como geradora de energia, podendo ainda ser matéria-prima para a produção de plásticos (MITSUTANI, 2010).

No final dos anos 70, o Proálcool (Programa de Incentivo ao Álcool), fez com que a produção de etanol crescesse substancialmente no país. Este programa visava o incentivo à produção de uma nova fonte de combustível, com o intuito de substituir a gasolina. Durante a década de 80, ações por parte do governo foram tomadas para que não houvesse queda no consumo de etanol, pois, neste período, o preço da gasolina encontrava-se em queda. A principal ação tomada foi a adição do Álcool anidro (etanol) na composição da gasolina. Houve um aumento na produção de etanol oriundo da cana-de-açúcar até a década de 90, quando o Proálcool terminou, estabilizando a produção do etanol, que apenas no início dos anos 2000, teve um novo crescimento motivado não só pela alta dos preços de petróleo, como também, pelas maiores exigências ambientais quanto às emissões de poluentes (MITSUTANI, 2010).

O álcool etílico é a substância que apresenta melhores respostas para substituição da gasolina, pode-se citar como exemplo, seu baixo custo, a não geração de gases poluentes, é renovável, de fácil transporte e no Brasil, pode ser produzido em grande escala (PENIDO FILHO, 1983).

Dependendo da quantidade de água presente no álcool ele é denominado por álcool etílico anidro, o qual está praticamente isento de água, e o álcool hidratado carburante que como o nome já diz, tem em sua substância uma mistura de água (PENIDO FILHO, 1983).

Apesar de seu baixo poder calorífico, o calor de mistura é alto, pois a pequena relação ar-combustível exige adição de maior volume de combustível para o mesmo volume de ar aspirado (BRUNETTI, 2012).

O teor de etanol pode variar sazonalmente de 18% a 27%, e sua relação ar combustível (em massa) fica em torno de 13,3 Kg ar para 1 Kg combustível (BRUNETTI, 2012).

Os oxigenados possuem uma banda de inflamabilidade muito maior; melhorando a dispersão cíclica da combustão nos motores (BRUNETTI, 2012).

O alto calor de vaporização permite um maior enchimento dos motores, isto é, durante a dinâmica de vaporização das gotículas no ciclo de admissão do motor, mais calor é retirado do ar. Este esfria mais aumenta sua massa específica (diminui de volume) e assim maior massa de ar e combustível entra na câmara de combustão, gerando mais energia (BRUNETTI, 2012).

2.3.3 Histórico das proporções de mistura

No Brasil, no ano de 1935 já era realizado a adição de etanol anidro na gasolina, porém, com um teor de etanol de 5% (BRUNETTI, 2012).

Segundo Nitsch (1991), a crise do petróleo que ocorreu em 1973 fez com que se desencadeasse a procura por fontes renováveis. No entanto, somente em 1975 foi lançado o programa de biocombustíveis.

O governo se aproveitou da alta demanda de cana-de-açúcar e geração de açúcar que gera o subproduto de álcool anidro para lançar o programa nacional do álcool – Proálcool, que liberava o uso do etanol com a gasolina, ou o uso somente de etanol como combustível (BERTELLI, 2005).

A partir de 1980 foi adicionada à gasolina a porcentagem de 20% a 22% e atualmente é utilizado de 22% a 27%, variando em função da oscilação de produção de álcool anidro (BRUNETTI, 2012).

2.4 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS

2.4.1 Poder calorífico

O poder calorífico do combustível está relacionado à quantidade de calor liberado durante sua combustão. Existem dois tipos de poder calorífico: o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o Poder Calorífico Superior (PCS). A diferença entre os dois tipos é que no PCI é quantificado somente a quantidade de calor liberada disponível para gerar trabalho, e no PCS é quantificado todo o calor liberado do combustível. Então, para combustíveis que não possuem hidrogênio em sua composição, o valor de (PCS) é igual ao valor de (PCI), já que sem hidrogênio não há formação de água. Como o propósito do combustível para os motores é gerar trabalho, o termo PCI é o mais utilizado.

Na Tabela 1 é possível visualizar o PCI de alguns dos principais combustíveis para motor Otto:

Tabela 1 : PCI dos combustíveis para motor Otto

PROPRIEDADE	ETANOL ANIDRO	ETANOL HIDRATADO	GASOLINA C (E25)
PCI EM MASSA (MJ/Kg)	28,2	26,5	40,2
PCI EM MASSA (MJ/l)	22,3	21,3	28,9

(Fonte: BAETA, 2013).

2.4.2 Composição química

Os combustíveis são compostos, principalmente, por hidrocarbonetos, que podem ser dos tipos aromáticos, olefinas e saturados. Para a obtenção desses compostos são utilizados diversos processos controlados como: a fermentação, destilação, entre outros. A composição química do combustível tem influência direta no seu processo de combustão, fator que influencia diretamente o desempenho de um motor à combustão interna (KIRK, 1997).

2.4.3 Octanagem

A octanagem é uma grandeza que demonstra a resistência da mistura do ar com o combustível à autoignição, responsável pela detonação (BRUNETTI, 2012).

A combustão é um processo de reações químicas nomeadas como radicalares e, por essa razão, a estrutura química dos hidrocarbonetos do combustível tem grande influência na detonação. Essas reações radicalares envolvem a transferência de um átomo de hidrogênio para as moléculas quentes do oxigênio (BRUNETTI, 2012).

A resistência à autoignição depende diretamente do tamanho e estrutura do hidrocarboneto, além das condições de operações do motor. A pressão atmosférica, para alcoóis, compostos aromáticos, e hidrocarboneto leve fica na faixa de 500°C e 600°C (BRUNETTI, 2012).

Atualmente, existem dois métodos para calcular a octanagem do combustível:

- Método Motor (MON – Motor Octane Number) – Regulamentado pela Norma ASTM D 2699, este método avalia a resistência do combustível à detonação em condições severas de operação do motor, ou seja, em alta rotação e plena carga (KIRK, 1997).
- Método Pesquisa (RON – Research Octane Number) – Regulamentado pela Norma ASTM D 2700, este método avalia a resistência do combustível à detonação em condições mais suaves de operação do motor, isto é, em baixa rotação e pouca carga. Para olefínicos e compostos parafínicos o valor reduz para 200°C a 250°C. Quando é aumentada a pressão, a temperatura de autoignição tende a reduzir-se (KIRK, 1997).

2.4.4 Dinamômetro

O dinamômetro é um equipamento capaz de medir potência - trabalho executado em uma unidade de tempo - de um motor em suas diversas condições de funcionamento (PEREIRA, 1999).

O surgimento dos dinamômetros acompanha o desenvolvimento das primeiras máquinas a vapor no século XVIII, quando houve a necessidade de avaliar o torque produzido por elas, a fim de permitir dimensionar adequadamente sua construção, eliminando, assim, gastos excessivos de recursos e materiais, e evitando sobrecarga de mecanismos e elementos ligados ao eixo motor (PEREIRA, 1999).

Brunetti (2012) relata que os dinamômetros de maior aplicação são os hidráulicos e os elétricos. A grande diferença é a forma como se realiza a frenagem, tendo em vista que, os

hidráulicos normalmente utilizam o atrito de cisalhamento do fluido contra a carcaça, enquanto os elétricos utilizam a força de resistência ao movimento de um núcleo dentro do campo eletromagnético para realizarem a frenagem do motor em teste.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística é uma ferramenta matemática que permite a análise e interpretação de dados procedentes de uma ou mais amostras, com o objetivo de inferir características de população (Gomes, 1990). Portanto neste trabalho de conclusão de curso é utilizado a técnica de Regressão linear buscando verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes.

2.5.1 Regressão linear simples

Barbin (2003), cita que a análise de regressão linear simples tem o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, ou seja, consiste na obtenção de uma equação que explica a variação da variável dependente pela variação dos níveis das variáveis independentes

Para representação da equação do fenômeno de estudo pode ser aplicado um gráfico de dispersão, em que o comportamento das variáveis pode ser linear, quadrático, cúbico, entre outros. Porém, pode-se verificar que, na maioria dos casos, os pontos ficarão dispersos e próximos do modelo matemático. Isto ocorre devido ao fato de o fenômeno ser sujeito às influências que ocorrem ao acaso. (STORCK, et al. 2000).

2.5.2 Teste de hipóteses

Dado uma hipótese de H_0 , define-se como erro tipo I aquele que consiste em rejeitar H_0 , sendo que H_0 é verdadeira. Define-se como erro tipo II aquele que consiste em não rejeitar H_0 , dado que H_0 é falsa. A hipótese da nulidade, quando dada em termos quantitativos, é, necessariamente, uma igualdade. Usa-se a letra grega α para indicar a probabilidade de cometer erro tipo I, que é o nível de significância do teste, e a letra grega β para indicar a probabilidade de cometer erro tipo II. Podemos definir ainda o poder do teste, que é a probabilidade de rejeitar H_0 , dado que H_0 é falsa. (VIEIRA, 1999).

2.5.3 ANOVA

Banzatto e Kronka (1989), consideram a Anova como sendo uma técnica de análise de dados experimentais, que considera um valor qualitativo. Seu objetivo é comparar a variação devido aos tratamentos com a variação ao acaso.

Para se utilizar a ANOVA as seguintes restrições devem ser avaliadas:

- Os resíduos (observação menos a média) devem ser normais ou próximos da normalidade;
- As variâncias de cada amostra devem ser iguais. Caso não seja, é possível padronizar dividindo pela variância amostral de forma a obter variância igual a um em todos os grupos;
- As amostras devem ser independentes.

Assim o objetivo da ANOVA é verificar o quão distante a média de cada grupo está da média global. Ou seja, em termos de variância, se os grupos possuem a mesma média, a variância entre os grupos deve ser pequena quando comparada com a variância amostral dentro de cada grupo.

2.5.4 HISTOGRAMA E BOXPLOT

O histograma é um gráfico utilizado para apresentar dados organizados em intervalos, que irá representar a distribuição de variáveis quantitativa.

Montgomery (2001), define o boxplot como um gráfico construído com base no resumo dos cinco fatores relacionados abaixo:

- Valor mínimo;
- Primeiro quartil (Q1);
- Mediana - segundo quartil (Q2);
- Terceiro quartil (Q3);
- Valor máximo.

O gráfico é formado por uma caixa construída paralelamente ao eixo da escala dos dados podendo ser na horizontal ou na vertical. Essa caixa vai desde o primeiro quartil até o terceiro e nela traça-se uma linha na posição da mediana. Essa caixa, que descreve os 50% centrais da distribuição, é comum à todas as variantes do boxplot. Pode-se acrescentar também uma linha, paralela à linha da mediana, para indicar a média (BUSSAB, MORETTIN; 2003).

2.5.5 SOFTWARE R

R é uma linguagem e um meio para a computação e os gráficos estatísticos. Foi desenvolvido nos Laboratórios Bell (Lucent Technologies) por John Chambers e colegas. De acordo com R Development Core Team (2016), o software R fornece uma ampla variedade de técnicas estatísticas (modelagens lineares e não lineares, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento, entre outros.) e técnicas gráficas e é altamente extensível.

Um dos pontos fortes de R é a facilidade com que gráficos de qualidade de publicação bem projetados podem ser produzidos, incluindo símbolos e fórmulas matemáticas quando necessário. Foi tomado muito cuidado com os padrões das pequenas opções de design em gráficos, mas o usuário mantém o controle total.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi feita de modo descritiva, na qual foram manipuladas as quantidades de álcool anidro presente na gasolina, de forma a analisar o comportamento da potência em variadas situações.

Os dados coletados durante os ensaios referiam-se à potência do motor e torque. Além desses elementos, foram coletados os dados necessários do fabricante GENERAL MOTORS®, conforme Tabela 2:

Tabela 2 : Informações do motor de teste

INFORMAÇÕES DO MOTOR DE ENSAIO	
Fabricante	GENERAL MOTORS®
Modelo	VHC 1.0
Diâmetro x curso	71,1 X 62,9 mm
Potência máxima	70 CV
Torque máximo	3.000 rpm
Cilindrada	999 cm ³
Filtro de ar	Esportivo
Combustível	Gasolina
Sistema de alimentação	Injeção multiponto semi-sequencial

(Fonte: Manual fabricante General Motors, 2017)

Inicialmente, foram separadas em quatro recipientes de 5 litros, cada uma das amostras de combustíveis com diferentes proporções de álcool anidro misturados à gasolina.

Para essa mistura de álcool anidro e gasolina pura foram utilizadas provetas de 1000 ml para medições mais precisas dos líquidos, conforme Figura 2.



Figura 2 : Provetas de 1000 ml
(Fonte: Elaborado pela autora 2019).

As proporções de mistura para cada ensaio estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3: Proporção de combustível utilizada por teste

TRATAMENTO	GASOLINA	ETANOL ETÍLICO ANIDRO
TRATAMENTO A	100%	0%
TRATAMENTO B	85%	15%
TRATAMENTO C	73%	27%
TRATAMENTO D	70%	30%

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Após a manipulação de todas as misturas necessárias para a realização dos ensaios, foram acopladas ao motor um scanner para verificação da temperatura da água de arrefecimento do motor, desta forma, todos os testes foram realizados a 80°C, por ser a temperatura considerada ideal de trabalho do motor.

O teste feito no dinamômetro SERVITEC® que utiliza o software *WinSSdino*, foi realizado pelo modo *step test*, onde o eixo do motor fica acoplado ao freio do dinamômetro, conforme Figura 03. Também foram alterados alguns parâmetros do software, como a rotação

mínima de 2.000 rpm e máxima de 4.000 rpm, a relação ar/combustível adequado para cada combustível, parâmetros de correção ajustados para a norma SAE J 1349, e 10% de atuação do freio do dinamômetro.



Figura 3 : Motor acoplado ao freio do dinamômetro
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Nos quatro tratamentos realizados (A, B, C e D), foi necessário esvaziar o tanque de combustível. Os testes foram realizados seguindo os passos listados abaixo:

- Passo 1: abastecer 5 litros de combustível no tanque que se encontra vazio;
- Passo 2: configurar os parâmetros do software WinSSdino, conforme descrito anteriormente;
- Passo 3: instalar o scanner na central elétrica do motor e programar o para o motor VHC 1.0 do fabricante General Motors®;
- Passo 4: ligar o motor;
- Passo 5: com base nas informações do scanner aguardar até que a temperatura de arrefecimento do motor atinja a 80°C em marcha lenta;
- Passo 6: acelerar o motor até 4000 rpm;
- Passo 7: salvar o gráfico de resultado atingido, fornecido ao fim do acionamento do acelerador em uma pasta no computador;
- Passo 8: refazer o passo (6) e (7) mais três vezes.

Para o teste (B, C e D), seguir estes mesmos passos, os quais foram utilizados nos testes. Para obter um resultado, usamos um método estatístico.

3.1 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Utilizando-se do software R desenvolveu-se o ambiente computacional, com uso de algoritmos e códigos matemáticos. Buscou-se implementar os métodos estatísticos de Regressão linear simples e Análise de Variância.

O resultado dessa iteração dentro do ambiente do software R resultou na implementação computacional. Resultando em um algoritmo que desempenha uma confrontação entre os resultados diretos dos ensaios e as medidas de como as duas variáveis (potência e acréscimo de etanol), se modificam conjuntamente, medindo assim, o grau de dependência linear entre duas variáveis. O algoritmo para a realização da análise estatística encontra-se descrito no apêndice deste trabalho.

4 RESULTADOS NÚMERICOS

Os resultados alcançados foram gerados por código matemáticos desenvolvidos no ambiente do software R (versão 3.6.1), e executados em um computador com processador Intel Celeron B830 (1,80 GHz) e memória RAM de 4,00 GB. Para avaliar a análise estatística, utilizou-se os dados mensurados nos testes com o aparelho de dinamômetro. Estes dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 : Dados empregados na análise estatística

PERCENTUAL DE ETANOL	POTÊNCIA (HP)	TORQUE (N.M)
X1	X2	X3
0	42.47	77.27
0	44.88	75.09
0	31.07	50.08
0	36.36	64.55
15	46.61	78.25
15	39.04	65.72
15	41.52	74.02
15	36.3	54.21
27	51.99	83.85
27	42.11	76.79
27	53.05	85.77
27	53.06	85.77
30	43.22	75.99
30	47.21	80.56
30	30.15	51.67
30	49.17	80.62

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

4.1 REGRESSÃO LINEAR

A análise estatística foi realizada a partir da regressão linear. Para tal, se constrói o vetor de médias amostrais apresentado em [3.1], a matriz de variâncias e covariâncias amostrais dado em [3.2] e a matriz de correlação amostral, representada em [3.3].

$$\text{vetor de média amostrais} = [18.00 \quad 43.01 \quad 72.52]$$

[3.1]

$$VAR = \begin{bmatrix} 148.80 & 37.49 & 55.33 \\ 37.49 & 51.38 & 80.55 \\ 55.33 & 80.55 & 139.23 \end{bmatrix}$$

[3.2]

$$COR = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.428 & 0.384 \\ 0.428 & 1.000 & 0.952 \\ 0.384 & 0.952 & 1.000 \end{bmatrix}$$

[3.3]

Interpretação dos dados:

Através da matriz [3.2], obteve-se os respectivos valores para as covariâncias, ressaltando que esta representa a medida de como duas variáveis se modificam conjuntamente, medindo, assim, o grau de dependência linear entre duas variáveis. Já a matriz [3.3], representa a matriz de correlação, esta medida verifica o grau de associação linear entre duas variáveis, indicando a força e a direção do relacionamento linear entre elas.

Para a relação entre as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X2 (Potência), observou-se um valor positivo para a covariância, representando uma relação direta entre as grandezas, ou seja, quanto maior o valor de adição do percentual de etanol anidro na mistura, maior será a potência desenvolvida. Já o valor do coeficiente linear da correlação ficou em torno de 0.428 indicando uma ligação média entre as variáveis.

Analisando as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X3 (Torque), notou-se um valor positivo para a covariância, caracterizando uma relação direta entre as grandezas, ainda seu coeficiente de correlação é igual a 0.384, representando uma média relação entre as variáveis.

Relacionado as variáveis X2 (Potência) e x3 (Torque), notou-se um valor positivo para a covariância, igual a 80.55 estabelecendo uma relação direta entre as grandezas, isto é, quanto maior o valor da potência, maior será o torque. Já o valor do coeficiente linear da correlação ficou em torno de 0.95 representando uma ligação direta e de forte intensidade.

Após a construção da matriz de correlação amostral, efetuou-se o teste de hipótese para identificar quais correlações são significativas (com 5% de significância). Os dados referentes aos testes de hipóteses gerados através do software R, são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Teste de hipóteses

Teste de hipóteses		
	X1	X2
X2	0.09746	
X3	0.1415	0,000013

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

A análise dos dados considerou duas hipóteses, a saber:

- H_0 : Não existe correlação linear entre as variáveis;
- H_1 : Existe correlação linear entre as variáveis.

Desta forma, utilizando um valor de alfa igual a 0.05, obtivemos as seguintes interpretações.

Para a relação entre as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X2 (Potência), observou-se um valor de $p = 0.09746$, dessa forma a hipótese nula H_0 foi rejeitada e aceitou-se a existência de uma correlação entre os grupos, aceitando assim a hipótese alternativa H_1 . Este fato foi comprovado através do coeficiente igual a 0.428 da matriz de correlação, o valor positivo representa uma ligação linear direta entre as variáveis Percentual de etanol anidro na mistura e Potência.

Já para a relação entre as variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e x3 (Torque), obteve-se um valor para $p = 0.1415$, rejeitando H_1 e aceitando H_0 , o que revelou a não existência de correlação linear entre as variáveis. O valor da tabela de correlação é igual a 0.38, valor este próximo de zero, representando uma baixa correlação linear entre as variáveis Percentual de etanol anidro na mistura e torque.

Observando as variáveis X2 (Potência) e x3 (Torque), o teste de hipóteses gerou um valor de $p = 0.000013$, desta forma rejeitou-se a hipótese nula H_0 e aceitou-se que existe uma correlação entre os grupos, admitindo, assim, a hipótese alternativa H_1 . Este fato foi comprovado por meio do coeficiente igual a 0.952 da matriz de correlação, esse valor positivo representa uma ligação linear diretamente proporcional e intensa entre a Potência e o Torque, quer dizer, quanto maior a potência desenvolvida pelo motor, maior será o torque gerado.

Buscando-se uma melhora na análise gráfica, é construído para cada variável o gráfico boxplot e histograma. Analisando os resultados, observando simetria e pontos discrepantes. O processo se inicia para a variável X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura), assim obteve-se os seguintes gráficos:

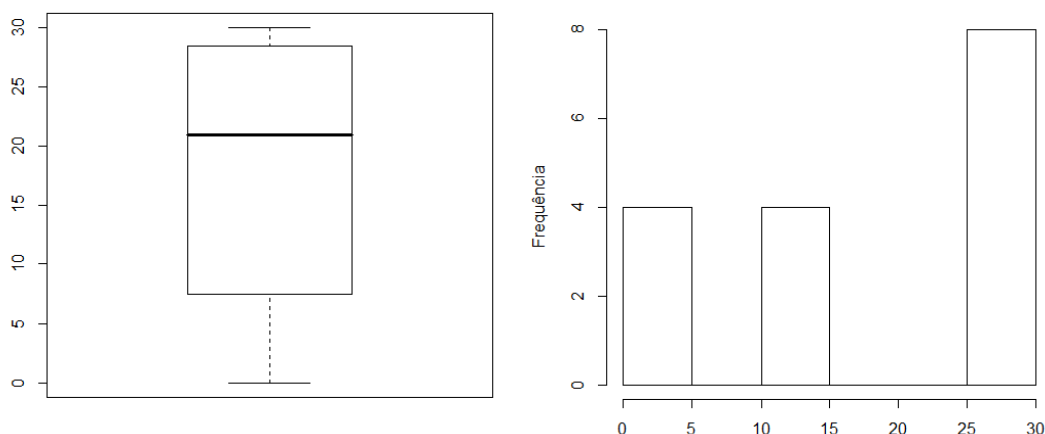


Figura 4 : Boxplot e histograma para a variável X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura).
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

O boxplot (gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados. Ele é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior.

Para o gráfico BoxPlot, percebeu-se que a mediana Percentual de etanol anidro na mistura foi em torno de 22%, o valor máximo de 30% e o valor mínimo de 0%, o primeiro quartil vai até o valor de 8% de etanol na mistura, representando também a mediana dos valores inferiores. A união do segundo e terceiro quartil representa 50% dos dados, esta inicia em 8% e vai até aproximadamente 27%. Notou-se uma assimetria superior nos dados, porém, não se obteve pontos discrepantes.

O histograma é um gráfico formado por um conjunto de retângulos justapostos, e é muito utilizado para representar a distribuição de frequências, cujos dados foram agrupados em classes ou intervalos de mesma amplitude. Assim, para o gráfico de histograma, notou-se que os dados têm aproximadamente a mesma frequência. Em sequência analisou-se a variável X_2 (Potência).

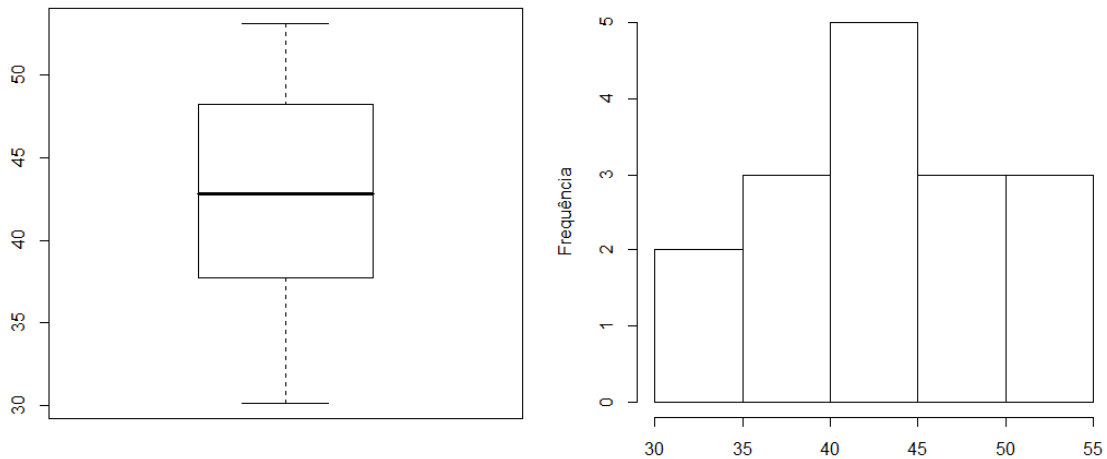


Figura 5 : Gráfico Boxplot e histograma para a variável X₂ (Potência).

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

No gráfico BoxPlot, observou-se que a mediana para a variável potência, foi em torno de aproximadamente 43.5 Hp, notou-se uma leve assimetria positiva, pois a linha da mediana está próxima do quartil 01 e para essa variável não existiu pontos outliers (valores extremamente altos ou baixos).

Por meio do gráfico é possível observar o comportamento da distribuição de potência e foram examinadas as seguintes características: simetria da distribuição (nesse caso distribuição assimétrica superior); região onde há maior concentração de valores (entre 37 e 50); o centro da distribuição (em torno de 40); e a dispersão dos valores ao redor de uma medida central (dados entre 35 e 47). Também é possível perceber que não existe nenhum outlier. Por fim, foi analisada a variável X₃ (Torque), ilustrada na Figura 6, na qual visualizam-se os gráficos de Boxplot e histograma.

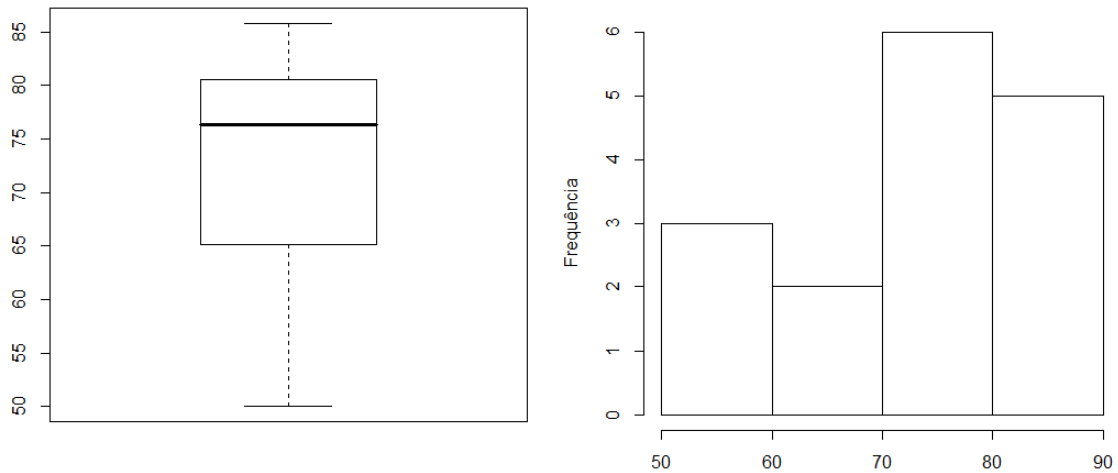


Figura 6 : Gráfico Boxplot e histograma para a variável X3 (Torque).
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

Para o gráfico BoxPlot, percebeu-se que a mediana para a variável torque, foi em torno de aproximadamente 77 N*m, notou-se uma leve assimetria positiva, pois a linha da mediana está próxima do quartil 01 e para essa variável não existiu pontos outliers (valores extremamente altos ou baixos).

Por meio do gráfico observou-se o comportamento da distribuição de torque e foram examinadas as seguintes características: simetria da distribuição (nesse caso distribuição assimétrica superior); região onde há maior concentração de valores (entre 60 e 85); o centro da distribuição (em torno de 70); e a dispersão dos valores ao redor de uma medida central (dados entre 60 e 80). Também é possível perceber que não existe nenhum outlier. Em seguida, foi elaborado o diagrama de dispersão, a fim de comparar as variáveis duas a duas. O diagrama de dispersão e histograma é ilustrado na Figura 7.

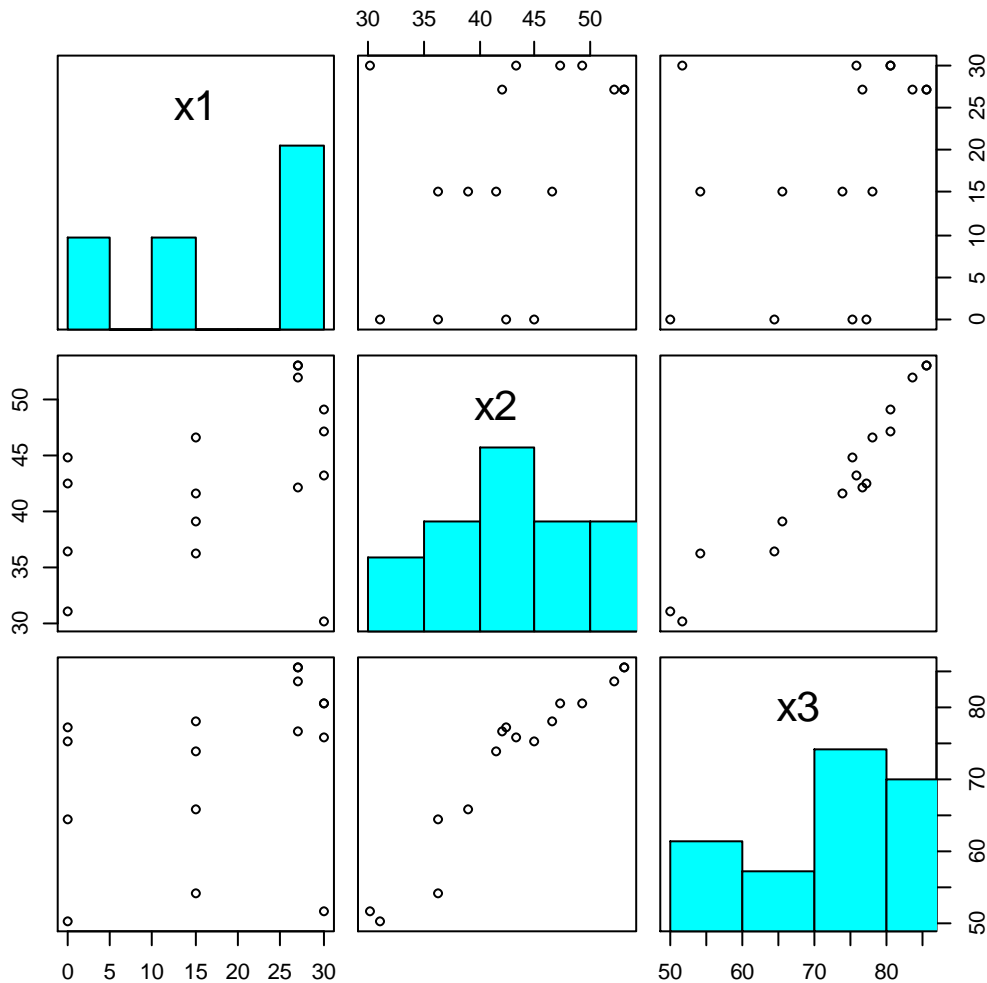


Figura 7 : Gráfico de dispersão e histogramas.
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação:

Os diagramas de dispersão são utilizados quando deseja-se estudar a relação entre duas variáveis numéricas, com o intuito de responder se existe uma influência da variável x_i em relação a variável x_j . Desta forma pode-se compreender essa relação e propor novos direcionamentos para o processamento de dados e posterior aplicação. A interpretação dos gráficos pode ser feita da seguinte forma:

- (i) Qual é a direção da relação dos pontos, esta é inversa (quando “ x ” aumenta e “ y ” diminui) ou direta (quando “ x ” aumenta e “ y ” também aumenta);

- (ii) A forma do gráfico é linear ou não-linear;
- (iii) Qual é a intensidade da força dos dados, esta é representada pela aproximação dos dados, quanto mais próximos maior será essa intensidade.

O processo de interpretação do gráfico de dispersão, se inicia para as variáveis X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X_2 (Potência). O gráfico é apresentado na Figura 3.5.

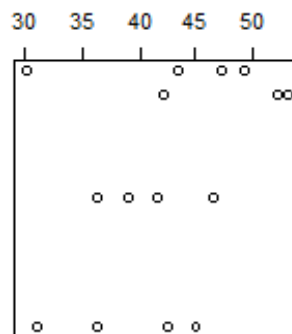


Figura 8 : Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X_2 (Potência)
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Analisando a matriz das variâncias e covariâncias obteve-se um valor positivo para a covariância de 37,49, representando uma relação direta entre as grandezas, ou seja, quanto maior o valor de adição do percentual de etanol anidro na mistura maior será a potência desenvolvida. Já o valor do coeficiente linear da correlação ficou em torno de 0.428 representando uma ligação média entre as variáveis. Notou-se que os pontos possuem um leve direcionamento linear, porém, como a amplitude entre os intervalos do percentual de etanol anidro é grande, não foi formado uma reta crescente próxima do linear. Para a segunda etapa, efetuou-se a análise do gráfico de dispersão para as variáveis x_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e x_3 (Torque), representado na Figura 9.

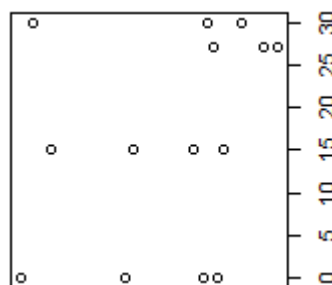


Figura 9 : Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X_3 (Torque)
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Para os dados relacionados a X1 e X3, verificou-se um coeficiente de covariância igual a 55.33 indicando, assim, uma relação direta, ou seja, quando X1 cresce X2 também irá crescer, no entanto, o coeficiente de correlação linear foi igual a 0.384, representando uma média ligação entre as variáveis. Percebeu-se que os pontos possuem um leve direcionamento linear, mas como a amplitude entre os intervalos do percentual de etanol anidro é grande, não foi formado uma reta crescente próxima do linear. Por fim, analisou-se o gráfico de dispersão para as variáveis X2 (Potência) e X3 (Torque), representado na Figura 10.

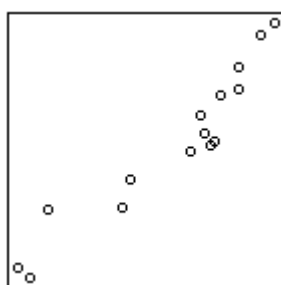


Figura 10 - Gráfico de dispersão e histogramas para as variáveis X2 (Potência) e X3(Torque).
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

A partir da análise da matriz das variâncias e covariâncias obteve-se um valor positivo para a covariância igual a 80,55, representando uma relação direta, o que indicou que quando X_2 cresce X_3 também irá crescer. O coeficiente de correlação foi igual a 0.95, desta forma demonstrando uma forte ligação, por isso, os pontos no gráfico de dispersão estão próximos e assim foi possível atingir uma relação linear quase perfeita.

Buscando-se uma comparação entre métodos de cálculos, foi aplicado uma análise de variância por intermédio da ANOVA.

4.2 ANOVA

A ANOVA é uma coleção de modelos estatísticos, no qual a variância amostral é particionada em diversos componentes devido a diferentes fatores (variáveis), que nas aplicações estão associados a um processo, produto ou serviço. Através desta partição, a ANOVA estuda a influência destes fatores na característica de interesse.

A ideia da ANOVA é justamente verificar o quão distante a média de cada grupo está da média global. Ou seja, em termos de variância, se os grupos possuem a mesma média, a variância entre eles deve ser pequena se comparada com a variância amostral dentro de cada

um. Todavia, para ser válido o estudo da Anova, é necessário que se atenda às seguintes restrições:

- (i) Os resíduos (observação menos a média) devem ser normais ou próximos da normalidade;
- (ii) As variâncias de cada amostra devem ser iguais. Caso não seja, é possível padronizar dividindo pela variância amostral de forma a obter variância igual a um em todos os grupos;
- (iii) As amostras devem ser independentes.

Portanto, inicia-se o processo determinando se cada variável possui distribuição normal de probabilidade, considerando 5% de significância. Para esta investigação utilizou-se a análise dos gráficos QQ-Plot e dos testes de normalidade Shapiro-wilk, Anderson-Darling e kolmogorov Smirnov.

Os gráficos QQ-Plot são obtidos da distribuição marginal das observações de cada variável. Consiste em plotar em um plano cartesiano os percentis amostrais versus os percentis esperados pelo ajuste de uma distribuição normal. Se os pontos pertencem a uma linha reta a pressuposição de normalidade deve ser aceita.

Já para os testes de normalidade deve-se considerar duas hipóteses:

- H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal;
- H_1 : Os dados não seguem uma distribuição normal.

A análise descrita foi efetuada para as três variáveis. O estudo começa com a determinação da normalidade da variável x_1 (Percentual de etanol anidro na mistura), se obtém o seguinte diagrama (Figura 11).

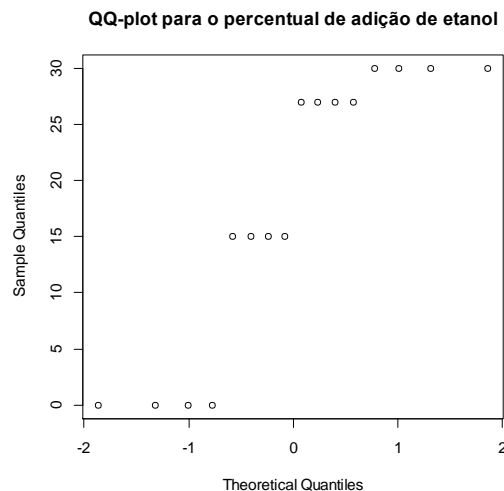


Figura 11 : Gráfico QQ-plot para a variáveis X1 (Percentual de etanol anidro na mistura)

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

Utilizando o teste de Shapiro-wilk foram encontrados os seguintes valores $W = 0.80187$, $p\text{-value} = 0.002884$. Já para o teste de Anderson-Darling destacou-se os valores $A = 1,2451$, $p\text{-value} = 0.002075$. E por fim com o teste de kolmogorov smirnov obteve-se $D = 0.26968$, $p\text{-value} = 0.00287$.

Observando o gráfico QQ-Plot, notou-se uma leve tendência de os pontos pertencerem a uma linha reta, porém, visualizou-se intervalos grandes sem pontos, fato este justificado pelo número pequeno de amostras. Para uma melhor interpretação dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro-wilk com um valor de $p = 0.002884$, sendo que $p < \alpha=0.05$. Assim, podemos afirmar com nível de significância de 5% que a amostra não provém de uma população normal.

A análise para a variável x_2 (Potência), é apresentada na Figura 12 a seguir:

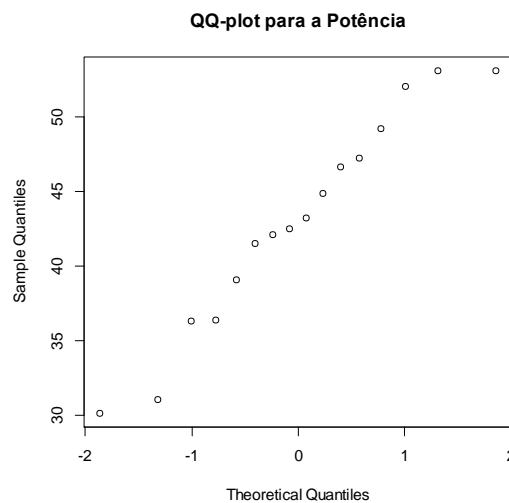


Figura 12 : Gráfico QQ-plot para a variável X2 (Potência).
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019).

Interpretação dos dados:

Utilizando o teste de Shapiro-wilk encontrou-se os seguintes valores $W = 0.95477$, $p\text{-value} = 0.5688$. Já para o teste de Anderson-Darling destacou-se os seguintes valores $A = 0.21478$, $p\text{-value} = 0.8166$. E por fim com o teste de kolmogorov smirnov obteve-se $D = 0.105$, $p\text{-value} = 0.9084$.

Observando o gráfico QQ-Plot, verificou-se uma leve tendência dos pontos pertencerem a uma linha reta, para melhor interpretação dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro-wilk com um valor de $p = 0.5688$, sendo que $p > \alpha=0.05$. Assim, podemos afirmar com nível de significância de 5% que a amostra provém de uma população normal.

A análise para a variável x_3 (Torque), é apresentada a seguir:

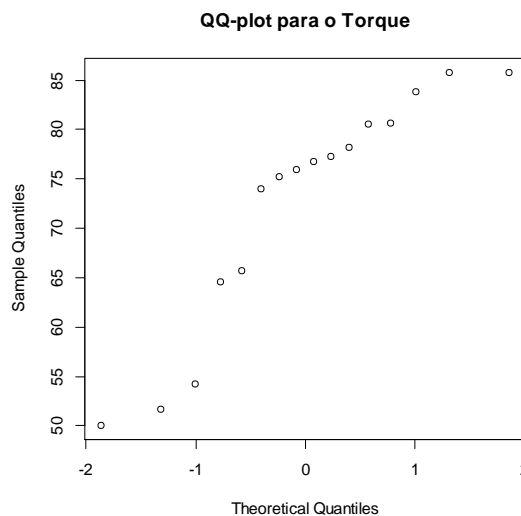


Figura 13 : Gráfico QQ-plot para a variável X2 (Potência).
(Fonte: Elaborado pelo autor, 2019)

Interpretação dos dados:

Utilizando o teste de Shapiro-wilk encontrou-se os seguintes valores $W = 0.86717$, $p\text{-value} = 0.02462$. Já para o teste de Anderson-Darling verificou-se os seguintes valores $A =$

0.85048, p-value = 0.02199. E por fim com o teste de kolmogorov smirnov obteve-se $D = 0.23793$, p-value = 0.01592.

Observando o gráfico QQ-Plot, nota-se uma leve tendência de os pontos pertencerem a uma linha reta, porém, visualiza-se também pontos de outlier, para melhor interpretação dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro-wilk com um valor de $p = 0.02462$, sendo que $p < \alpha=0.05$. Assim, podemos afirmar com nível de significância de 5% que a amostra não provém de uma população normal.

Como as amostras não provém de uma população normal, não é aconselhável aplicar a ANOVA.

5 CONCLUSÃO

Este documento consiste de um trabalho de conclusão de curso, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz. Teve como tema de pesquisa, a análise da influência do acréscimo percentual de etanol anidro na potência desenvolvida por um motor ciclo otto vhc 1.0, sob a orientação do Prof. Msc. Carlos Alberto Breda.

O trabalho teve como objetivo analisar a influência do acréscimo percentual de 30% de etanol anidro na potência desenvolvida por um motor ciclo Otto VHC 1.0. A modelagem estatística se fez por meio da medição de potência do motor baseado na norma NBR ISO 1585, em sequência efetuou-se uma regressão linear, buscando verificar como as variáveis se modificaram conjuntamente, medindo assim, o grau de dependência linear entre duas variáveis. Avaliou-se o desempenho da correlação linear entre as variáveis, a partir de testes de hipóteses com 5% de significância.

Com o estudo pôde-se validar a hipótese H_1 , aceitando-se que existe uma correlação entre as variáveis X_1 (Percentual de etanol anidro na mistura) e X_2 (Potência). Ainda se encontrou um valor de coeficiente de correlação igual a 0,428. Este valor positivo representa uma ligação linear direta entre as variáveis, ou seja, quanto maior o valor de adição do percentual de etanol anidro na mistura maior será a potência desenvolvida. Considerando o intervalo máximo de 30% de adição de etanol anidro na mistura.

O trabalho permite ainda a identificação de maiores valores para a formulação atualmente comercializada de 27% de etanol anidro, com potência e torque, de 49,17Hp e 80,69Nm, respectivamente. Já a formulação da PL 7863/2017 de 30%, apresentou uma redução da potência e torque em 5,42% e 3,76%, respectivamente.

6 TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos obtidos a partir do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso podem ser consideravelmente ampliados. Para essa ampliação podem ser consideradas as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- (i) Considerar um número maior de intervalos de adição percentual de etanol na mistura. Como sugestão uma janela de 5% por cento;
- (ii) Sugere-se aplicar diferentes técnicas estatísticas, como por exemplo a Manova;
- (iii) Recomenda-se aumentar significativamente o número de amostras, permitindo uma análise mais próxima do real;
- (iv) Avaliar quais são os resultados de emissões para as inúmeras composições de mistura;
- (v) Aplicar um estudo acerca da viabilidade econômica para as novas misturas, considerando custos de produção, logística e disponibilidade desses biocombustíveis. Como foco no etanol que tem oferta limitada devido às entressafras.

7 REFERÊNCIAS

ACIOLI, Valério da Silva; RIOS, Alex de Jesus. Análise da Emissão de Poluentes dos veículos Flexíveis no Período de Transição de Combustíveis. 2010. 57 p. Monografia (Tecnologia em Autotrônica) – Faculdade de Tecnologia de Santo André, 2010.

ANP. Petróleo e derivados. Gasolina, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>> Acesso em: 29 de Outubro 2019.

BARBIN, D. Planejamento e análise estatística de experimentos. Araçatuba, Ed. Midas, 2003.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação Agrícola. FUNESP, 1989.

BERTELLI, Luiz Gonzaga. A verdadeira história do proálcool. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/313629/noticia.htm?sequence=1>>. Acesso em: 19/de Outubro de 2019.

BRUNETTI, Franco. Motores de combustão interna, 1ª e 2ª edição, São Paulo: Edgar Blucher, 2012.

BUSSAB, W. O; MORETTIN, P. Estatística Básica. 5ª edição. Ed. Saraiva, 2003.

CÂMARA, Júlio César Chaves. Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto. 2006. 169 p. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Escola politécnica, universidade federal da Bahia, Salvador, 2006.

FURLANI, Carlos Eduardo. Apostila Didática N°2 – Motores de Combustão Interna – Joticabal, 2006.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 15 ed. Piracicaba: Nobel, 1990.

GREEVES, G .; KHAN, I. M .; CEBOLA G. Efeitos da Introdução da Água na Combustão e Emissões de Motores Diesel. 16º Simpósio Internacional de Combustão. Londres, 1976.

HADDAD, Adriana Bonito. A Influência do sensor de oxigênio no controle dos poluentes emitidos pelos gases de escape de um veículo automotor. 2012. 57 p. Monografia (Engenharia Automotiva) – Instituto Mauá de Tecnologia, 2012.

HEYWOOD, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. 1ª Ed, McGraw-Hill. New York, USA.

KIRK, R. E., OTHMER, D. F. (1997). Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.12. 4ª Ed, New Jersey, USA.

MONTGOMERY, D.C. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, Inc. New York. 5ª edição, 2001.

MARTINS, J. Motores de combustão interna. Porto: Publindústria Edições Técnicas, 2011.

MITSUTANI, Claudio. A Logística do Etanol de Cana-de-Açúcar no Brasil: Condicionantes e Perspectivas. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, 2010.

MARTINELLI, Luiz Carlos. Motores de Combustão Interna: Conceitos Básicos. Unijuí, 2010.

NITSCH, Manfred (1991). Revista de economia política – O programa de biocombustíveis Proalcool no contexto da estratégia energética brasileira. Disponível em: <<http://www.rep.org.br/pdf/42-10.pdf>> Acesso em: 20 de Outubro de 2019

OBERT, Edward F. Motores de Combustão Interna. Porto Alegre: Globo, 1971.

PEREIRA, José C. Dinamômetros Hidráulicos. (1999) Disponível em: <<https://www.joseclaudio.eng.br/energia/dinos.html>>. Acesso em 20 de Setembro de 2019.

PEIXOTO, Ângelo. Consultório Técnico – Sonda Lambda. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/ct/lambda.htm>> Acessado em: 05 de Abril de 2019.

PENIDO FILHO, Paulo. Os motores de combustão interna, 1ª edição. Rio de Janeiro: Lemi S.A, 1983.

R Development Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3- 900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

SANTOS, Antonio Moreira. Introdução aos motores de combustão interna. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/6697588/Apostila-de-Treinamento-Motores>> Acesso em: 01 de Abril de 2019.

STORCK, L., GARCIA, D.C., LOPES, S. J., ESTEFANEL, V. Experimentação vegetal. 3ª ed. Santa Maria: UFSM, 2000.

VIEIRA, S. Estatística Experimental. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

8 APÊNDICE

Algoritmo para a realização da análise estatística dentro do ambiente do software R.

```

## Analisar a influência do acréscimo
percentual de 30% de etanol anidro na
potência desenvolvida por um motor ciclo
Otto VHC 1.0 ##

## REGRESSÃO LINEAR ##

## Passo 01 - Construa o vetor de médias
amostrais ##

dados <-
read.table("Regressao_Dados.txt", header
= T)

dados

c <- as.matrix(dados)

c

colMeans(c)

## a matriz de variâncias e covariâncias
amostrais ##

var(c)

## e a matriz de correlação amostral. ##

cor(c)

## Passo 02 - Construa a matriz de
correlação amostral. ##

cor(c)

## Realize o teste de hipótese ##

## identificar quais correlações são
significativas##

attach(dados)

x1

x2

x3

cor.test(x1,x2)

cor.test(x1,x3)

cor.test(x2,x3)

## Passo 03 - Construa para cada variável
o gráfico boxplot##

boxplot(x1)

boxplot(x2)

boxplot(x3)

## Ainda no passo 03 - construa o
histograma para cada variável ##

hist(x1, main = "", xlab = "x1", ylab =
"Frequência")

hist(x2, main = "", xlab = "x2", ylab =
"Frequência")

hist(x3, main = "", xlab = "x3", ylab =
"Frequência")

```

```
## Passo 04 ##
## Construa diagramas de dispersão
## comparando as variáveis duas a duas ##
panel.hist <- function(x, ...)
{
  usr <- par("usr"); on.exit(par(usr))
  par(usr = c(usr[1:2], 0, 1.5) )
  h <- hist(x, plot = FALSE)
  breaks <- h$breaks; nB <-
length(breaks)
  y <- h$counts; y <- y/max(y)
  rect(breaks[-nB], 0, breaks[-1], y,
col="cyan", ...)
}
pairs(dados, c("x1", "x2", "x3"),
diag.panel=panel.hist )
```

```
## Passo 05 ##
## Avalie se os dados possuem
## distribuição normal de probabilidade ##
```

```
## TESTE DE SHAPIRO-WILKS
UNIVARIADO ##
```

```
shapiro.test(x1)
```

```
shapiro.test(x2)
```

```
shapiro.test(x3)
```

```
## GRÁFICO QQ-PLOT CASO
UNIVARIADO ##
```

```
qqnorm(x1, main = "QQ-plot para o
percentual de adição de etanol")
```

```
qqnorm(x2, main = "QQ-plot para a
potencia")
```

```
qqnorm(x3, main = "QQ-plot para o
torque")
```

```
## TESTE DE ANDERSON DARLING E
KOLMOGOROV SMIRNOV ##
```

```
## Neste etapa, devemos instalar o pacote
msvf ##
```

```
## Vá até a aba "Pacotes" -> "Instalar
Pacote(s)" -> Brasil ##
```

```
## -> msvf ##
```

```
require(msvf)
```

```
ad.test(x1) ## teste de Anderson-
Darling ##
```

```
ad.test(x2)
```

```
ad.test(x3)
```

```
lillie.test(x1) ## teste de Kolmogorov-
Smirnov ##
```

```
lillie.test(x2)
```

```
lillie.test(x3)
```

```
## ANOVA ##
```

```
tabela <-
read.table("Regressao_Dados.txt", header
= T)
```

```
tabela
```

```
grupo<-tabela[,2]
```

```
variavel<-tabela[,3]
```

```
anova<-aov(variavel~grupo)
```

```
summary(anova)
```