



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

THIAGO PACHECO HONORATO

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE UM MOTOR CICLO OTTO
RELACIONADO A SEGURANÇA VEICULAR NO TRÁFEGO URBANO**

Recife

2021

THIAGO PACHECO HONORATO

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE UM MOTOR CICLO OTTO
RELACIONADO A SEGURANÇA VEICULAR NO TRÁFEGO URBANO**

TCC apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito para a obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador(a): Prof. Dr. José Claudino de Lira Júnior.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

H774e Honorato, Thiago Pacheco.
Estudo dos parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano / Thiago Pacheco Honorato. – 2021.
56 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. José Claudino de Lira Junior.
TCC (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Mecânica, Recife, 2021.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia Mecânica. 2. Segurança veicular 3. Motores de combustão interna. 4. Ciclo Otto. 5. Parâmetros de desempenho. 6. Tráfego urbano. I. Lira Junior, José Claudino de (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.) BCTG/2022-113

THIAGO PACHECO HONORATO

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE UM MOTOR CICLO OTTO
RELACIONADO A SEGURANÇA VEICULAR NO TRÁFEGO URBANO**

TCC apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito para a obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: 01 / 09 / 2021 .

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. José Claudino de Lira Júnior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Flávio Augusto Bueno Figueiredo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Jacek Stanislaw Michalewicz (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me guiar em todos os momentos, me concedendo sabedoria e força para superar as dificuldades, e por ter me abençoado com as experiências que desfrutei durante essa trajetória.

Ao meu grande orientador Prof. Dr. José Claudino de Lira Júnior, por todo apoio, paciência, ensinamentos e conselhos, dos quais muitos levarei para o resto da vida.

A minha noiva, Maria Gírlânia, minha futura esposa e mãe do meu filho Luiz Gustavo (esperamos ansiosos por sua chegada). Agradeço o apoio durante todos esses anos, por estar ao meu lado me motivando nos momentos difíceis e compartilhando os momentos de felicidade.

Aos demais membros da minha família por terem acreditado em mim, durante essa trajetória.

A PROAES (Pró-reitora para Assuntos Estudantis) por toda assistência recebida, sem a qual não seria possível permanecer na universidade.

Não poderia deixar de agradecer aos membros da banca examinadora por ter aceitado o convite para avaliar esse trabalho.

Por fim, a todos amigos que tive o prazer de conviver durante essa trajetória.

RESUMO

O presente estudo tem como principal foco o entendimento da relação dos parâmetros de desempenho de motores ciclo Otto com a segurança veicular no tráfego urbano. Buscando identificar como contribuem os principais parâmetros para a segurança veicular, através da simulação numérica de tais motores. Abordar o estudo de tal tema justifica-se pela necessidade de desenvolver tecnologias que poderão possibilitar maior segurança veicular para atender as exigências da legislação de trânsito e dos consumidores que se torna cada vez mais exigentes com a segurança veicular. O presente estudo consiste em pesquisa de caráter descritivo, com resultados tratados de forma qualitativa e quantitativa, a partir da coleta de informações de fontes primárias, provinda dos dados de uma simulação numérica, e secundárias, provinda de uma revisão bibliográfica tendo como fontes para pesquisa livros, artigos e sites, que estão relacionados ao tema. Com o levantamento de informações ao longo da pesquisa e da análise dos resultados, foi possível concluir que os parâmetros de desempenho que contribuem de forma direta para o poder de reação dos veículos são principalmente potência e torque, e que a taxa de compressão tem grande influência em tais parâmetros, a medida que a taxa de compressão aumenta tem-se ganhos nos parâmetros citados.

Palavras-chave: Segurança veicular; motores de combustão interna; ciclo Otto; parâmetros de desempenho; tráfego urbano.

ABSTRACT

The main focus of the present study is the understanding of the relationship between the performance parameters of Otto cycle engines and vehicle safety in urban traffic. Seeking to identify how the main parameters contribute to vehicle safety, through the numerical simulation of such engines. Addressing the study of this topic is justified by the need to develop technologies that will enable greater vehicle safety to meet the requirements of traffic and consumer legislation, which is becoming increasingly demanding with regard to vehicle safety. The present study consists of a descriptive research, with results treated in a qualitative and quantitative way, from the collection of information from primary sources, coming from the data of a numerical simulation, and secondary ones, coming from a literature review having as sources for research books, articles and websites that are related to the topic. With the collection of information throughout the research and analysis of the results, it was possible to conclude that the performance parameters that directly contribute to the reaction power of vehicles are mainly power and torque, and that the compression ratio has a great influence in such parameters, as the compression rate increases, there are gains in the mentioned parameters.

Keywords: Vehicle safety; internal combustion engines; otto cycle; performance parameters; urban traffic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes básicas de um motor.....	20
Figura 2 – Ciclo de ignição por faísca a quatro tempos.....	21
Figura 3 – Ciclo Otto.....	23
Figura 4 – Comparativo de potência.....	39
Figura 5 – Comparativo de torque dos motores.....	40
Figura 6 – Comparativo da pressão média efetiva dos motores.....	41
Figura 7 – Comparativo do consumo específico dos motores.....	42
Figura 8 – Rendimento em função da taxa de compressão.....	42
Figura 9 – Potência em função da taxa de compressão.....	43
Figura 10 – Torque em função da taxa de compressão.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas de segurança veicular.....	25
Tabela 2 – Aumento em percentuais do uso dos motores de 1000 cc.....	31
Tabela 3 – Parâmetros construtivos de um motor de quatro cilindros.....	32
Tabela 4 – Parâmetros construtivos de um motor de três cilindros.....	32

LISTA DE ABREVIACÕES

ABS	<i>Antilock Braking System</i>
ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i>
AF	Fluido ativo
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
D	Diâmetro do pistão
ESP	<i>Electronic Stability Program</i>
M	Massa molar
m_{ar}	Massa de ar
MCE	Motor de combustão externa
MCI	Motor de combustão interna
m_{comb}	Massa de combustível
N	Rotação
N	Rendimento do ciclo
n_m	Eficiência mecânica
n_T	Eficiência térmica
P_1	Pressão no ponto 1
P_2	Pressão no ponto 2
P_3	Pressão no ponto 3
P_4	Pressão no ponto 4
PCI	Poder calorífico inferior do combustível
P_i	Potência indicada
PME	Pressão média efetiva
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
$Pot_{cilindro}$	Potência do cilindro
Pot_{motor}	Potência do motor
P_{sai}	Potência de saída
Q_f	Calor liberado na combustão
Q_{sai}	Calor rejeitado pelo ciclo
R	Constante universal dos gases

r_v	Taxa de compressão
S	Curso do pistão
SBC	<i>Sensotronic Brake Control</i>
SFC	<i>Specific Fuel Consumption</i>
T_1	Temperatura no ponto 1
T_2	Temperatura no ponto 2
T_3	Temperatura no ponto 3
T_4	Temperatura no ponto 4
TCS	<i>Traction Control System</i>
T_{motor}	Torque do motor
T_{sai}	Torque de saída
V_d	Volume deslocado
W_{liq}	Trabalho líquido
Z	Número de pistões

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE QUATRO TEMPO POR IGNIÇÃO A FAÍSCA	19
3.2	CICLO OTTO.....	22
3.3	SEGURANÇA VEICULAR E AS CARACTERISTICA DO TRÁFEGO URBANP.....	24
3.3.1	Segurança veicular passiva.....	25
3.3.2	Segurança veicular ativa.....	26
3.3.3	Característica do tráfego urbano.....	27
3.4	PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO MOTOR	28
3.4.1	Potência	28
3.4.2	Torque.....	28
3.4.3	Pressão média efetiva.....	28
3.4.4	Consumo específico de combustível.....	29
3.4.5	Eficiência térmica	29
4	METEDOLOGIA.....	30
4.1	EMBASAMENTO PARA A ESCOLHA DOS MOTORES.....	30
4.2	MODELO MATEMATICO.....	31
5	ANÁLISES E RESULTADOS.....	38
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

APÊNDICE A – MODELO PARA VARIAÇÃO DA ROTAÇÃO.....	49
APÊNDICE A – MODELO PARA VARIAÇÃO DA TAXA DE COMPRESSÃO.....	53

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como foco principal demonstrar a relação dos parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano. Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (2016) anualmente mais de 1,2 milhões de vítimas fatais decorrente de acidentes causados pelo trânsito, sendo uma das principais causas de morte entre jovens de 15 a 29 anos. Além dos óbitos mais de 50 milhões de pessoas sofre lesões não fatais decorrente dos traumatismos provindos do trânsito

A segurança no trânsito tornou-se uma questão mundial, onde o conceito de segurança no trânsito vai além da diminuição do número de acidentes. Tendo como objetivo disseminar planos educacionais para melhoria do comportamento dos condutores e pedestres, programas médicos e de engenharia e medidas preventivas e regulamentares. Tais ações tem como objetivo garantir a segurança humana, reduzindo a taxa de acidentes (SIDAWI *et al.*, 2016).

Considerando a fato que os motores de combustão interna serão usados por muitos anos, questões relacionadas a melhorias na segurança veicular devem ser desenvolvidas principalmente no ambiente urbano, onde o tráfego é de alta intensidade (KUCAL, 2018). A escolha de analisar os parâmetros de desempenho dos motores ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano justifica-se pela necessidade de desenvolver tecnologias que poderão possibilitar maior segurança veicular para atender as exigências da legislação de trânsito e dos consumidores que se torna cada vez mais exigentes com a segurança veicular.

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), de janeiro até novembro de 2020 o número de licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível eram de 53.377 (3,1%) veículos movidos a gasolina, 17.218 (1%) veículos elétricos, 1.463.567 (85%) veículos Total Flex e 187.680 (10,9%) veículos Diesel. Os motores que seguem o ciclo Otto, gasolina e Total Flex, totalizam 88,1% do número de licenciamento total de automóveis e comerciais leves até novembro de 2020.

Ainda segundo a ANFAVEA, de 2012 a novembro de 2020 a média de automóveis e comerciais leves licenciados que utilizam motores ciclo Otto é de 92,1%, nesse mesmo período os motores elétricos saíram de 0% de licenciamento ao ano para 1% e os motores Diesel, saíram de 5,4 para 10,9%. Enquanto nesse mesmo

período os motores a ciclo Otto, saíram de 94,5% para 88,1% de licenciamento ao ano. Ainda que exista uma tendência anual de diminuição do número de licenciamento dos veículos que utilizam motores ciclo Otto, a utilização de tais motores ainda representa a grande maioria hoje e nos próximos anos em nossa frota de automóveis e comerciais leves.

Assim, o presente trabalho partiu da necessidade de entender como os parâmetros de desempenhos dos motores ciclos Otto podem contribuir para a segurança veicular, especificamente no tráfego urbano.

Sendo assim, o presente trabalho estabeleceu como problema de pesquisa: quais são e como se comportam os parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano? Em conformidade com o problema de pesquisa, estabelece-se o seguinte objetivo geral: Analisar os parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano, através da simulação numérica de tais motores com o auxílio do de modelo numérico de utilização. Nesse contexto, para alcançar o objetivo geral de pesquisa, os objetivos específicos do presente trabalho são: conceituar motor de ciclo Otto, conceituar segurança veicular no tráfego urbano, apresentar os parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano e analisar o comportamento dos parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano.

O presente estudo consiste em uma pesquisa aplicada de caráter descritivo, que segundo Gil (1999) as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição dos aspectos de um determinado fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. A finalidade de tal estudo visa analisar os parâmetros de desempenho de um motor ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano, através da simulação numérica de tais motores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Gioria(2008) apresenta um estudo sobre a influência da utilização do *Antilock Braking System* (ABS) na segurança veicular baseado na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento das rodas. O estudo defini o ABS como um sistema suplementar ao sistema de freio, que impede o travamento das rodas em qualquer situação de frenagem, principalmente situações emergências, garantindo estabilidade e dirigibilidade ao veículo e redução da distância de parada em relações aos sistemas de freios normais.

O estudo de Gioria (2008) revela que no Brasil em 2008 a taxa de instalação do ABS era muito baixa comparado com países europeus e os Estados Unidos, onde o sistema ABS já era equipamento de série em todos veículos produzidos. Um dos fatores que tem impacto direto é o valor do veículo equipado com o sistema ABS, em contrapartida ao poder aquisitivo da população brasileira.

De acordo com Gioria (2008) os sistemas de segurança veicular podem ser classificados como passivos, os quais são projetados para atuar quando o acidente é inevitável protegendo os ocupantes do veículo e os demais envolvidos na colisão, e sistemas de segurança ativo que são projetados para atuar de forma preventiva a exemplo do sistema ABS.

A análise realizada no estudo de Giogia (2008) conclui que quanto maior a eficiência de frenagem menor a probabilidade de ocorrer travamentos dos pneus, demonstra também que o sistema ABS mostra-se eficiente para manter a dirigibilidade e estabilidade para o veículo em situações de frenagem, mesmo que em situações de emergência. Mas ressalta a eficiência do sistema ABS pode ser comprometida pela variação de comportamento dos condutores, visto que esses podem trafegar em maiores velocidades ou subestimar o risco, incitados pela sensação de segurança que o sistema ABS pode oferecer.

Seguindo a linha de pesquisa relacionada a segurança veicular Bicalho e Souza (2018) apresentam um estudo com o objetivo de analisar sistemas de segurança passiva com foco nos sistemas de cinto de segurança e *airbags*, tendo como objetivo verificar a eficiência de ambos sistemas na redução do risco de ferimentos e lesões em um acidente de trânsito. O estudo utilizou como base livros, artigos e periódicos, relatórios de órgão públicos, teses e dissertações caracterizando uma revisão da

literatura.

O estudo de Bicalho e Souza (2018) demonstra que atualmente o desenvolvimento dos automóveis buscam maximizar a segurança e o conforto dos ocupantes, e a evolução dos projetos estão diretamente relacionados aos desenvolvimentos de novas tecnologias disponíveis no campo da engenharia e da capacidade de processamento dos computadores atuais. Que auxiliam em simulações computacionais, barateando o processo de análise da segurança veicular.

São apresentados por Bicalho e Souza (2018) os conceitos de segurança veicular ativa, que possui o objetivo de evitar o acidente, e segurança veicular passiva, que objetiva proteger os ocupantes quando a colisão é inevitável atuando a remediar a fatalidade. Tais definições estão de acordo com as de Gioria (2008).

O principal objetivo do cinto de segurança destacado por Bicalho e Souza (2018) é proteger a vida de todos ocupantes do veículo, atuando na retenção do ocupante em caso de colisão ou parada brusca, evitando que o mesmo seja arremessado do assento, colidindo com as estruturas solidas interna do veículo. O estudo também descreve que os *airbags* possuem a função de amortecer o impacto entre os ocupantes com as estruturas internas em caso de colisão.

Bicalho e Souza (2018) concluem que o cinto de segurança e *airbags* são sistemas complementares, a combinação de ambos é capaz de reduzir 60% dos riscos de ferimentos em uma colisão. A utilização do cinto de segurança tem igual importância para os passageiros dos bancos traseiros, negligencia-lo pode aumentar o risco de lesões para os ocupantes dos bancos dianteiros, ao ocorrer uma colisão, devido ao fato que os ocupantes dos bancos traseiros podem ser projetados para frente podendo pressionar os passageiros dos bancos dianteiros, podendo agravar seus ferimentos.

Com o intuito de entender como os esforços legais vem impactando a segurança veicular Wilhelm e Garcia (2018) apresentam um estudo com a finalidade de destacar os esforços legais produzidos no Brasil em relação a obrigatoriedade dos sistemas de segurança veicular. O estudo menciona que é fundamental entender o trânsito e situa-lo como um problema que sensibilize e centralize a atenção da população.

O estudo de Wihelm e Garcia (2018) destaca que situar o trânsito no âmbito da cidadania é de grande importância para todos os cidadãos sejam eles condutores, pedestres, ciclistas, passageiros ou usuários de transporte público. Visto que é

possível afirmar que não há cidadão que nunca utilizaram os sistemas de transportes seja para se deslocar, fornecer e buscar serviços, acessar cultura, lazer, entre outras atividades cotidianas. As condições de trânsitos e os sistemas de transportem são diretamente ligados ao desenvolvimento dos países, onde o crescimento económico é acompanhado pela intensificação do tráfego e o crescimento em investimentos em veículos de todos os tipos.

Segundo Wilhelm e Garcia (2018) durante muito tempo as causas dos acidentes eram centradas em fatores humanos. Contudo ao longo dos anos houve uma mudança nessa visão passando a ser entendida que a responsabilidade deve ser dividida por todos envolvidos com as vias de trânsitos, tais como políticos que tratam de questões relacionadas ao trânsito, gestores, sejam de construção, manutenção e fiscalização das vias, fabricantes de veículos, e todos que fazem uso dos sistemas de trânsito.

Wilhelm e Garcia (2018) definem a segurança veicular em passiva e ativa, onde a segurança passiva tem como objetivo proteger os indivíduos quando o acidente é inevitável, e a segurança ativa tende a evitar o acidente agindo de forma preventiva. Definições são compatíveis com as apresentadas por Gioria (2008). O estudo também apresenta uma sequência cronológica das implementações de regimentos referente a obrigatoriedade dos componentes de segurança veicular, comprovando que as regulamentações nacionais são sempre tardias tendo como referência o Estados Unidos e os países europeus.

Segundo Wilhelm e Garcia (2018) a implementação de regulamentações legais que promovem a obrigatoriedade dos sistemas de segurança ativos e passivos demonstram uma preocupação dos órgãos dos sistemas nacional de trânsito, mesmo que de forma tardia quando o país despontava com alto índice de acidentes. Tomando como exemplo o sistema de *airbag*, que a obrigatoriedade em países como Estados Unidos datam de 1989, em contrapartida no Brasil a regulamentação de obrigatoriedade data de 2009, e o sistema ABS, que teve sua obrigatoriedade regulamentada no Brasil em 2011, décadas após a criação desse sistema.

O estudo de Wilhelm e Garcia (2018) levanta o questionamento da causa da implementação tardia no Brasil dos sistemas de segurança como itens obrigatórios, mesmo tratando-se de tecnologias consolidadas em vários países. O estudo apresenta como uma das razões o custo de produção que é elevado por unidade produzida ao implementar os sistemas de segurança, dificultando a penetração das montadoras no

mercado nacional frente a capacidade de compra da população brasileira.

Wilhelm e Garcia (2018) afirmam que é essencial que os incentivos a segurança veicular sejam exigidos através da legislação para que atinjam toda população. Apesar que para tais medidas serem implementadas dependam do reconhecimento da sua importância pelos agentes políticos, como também as implementações dos sistemas de segurança podem gerar entraves econômicos, pois elevam os custos de produção encarecendo os veículos causando queda nos mercados de vendas visto que as montadoras tendem a manter suas margens de lucro.

Seguindo uma linha de pesquisa que impacta na segurança veicular mais especificamente no nas aglomerações urbanas Waligórski e Kucal (2018) apresentam um estudo que analisa o efeito das características de desempenho de um motor de combustão interna e as características de tração do veículo que impactam na segurança veicular no tráfego urbano. O estudo ressalta que os motores de combustão interna serão utilizados por muitos anos, logo questões relacionadas ao seu impacto na segurança veicular devem ser desenvolvidas. Principalmente no âmbito da aglomeração urbana onde o tráfego é caracterizado pela sua alta intensidade que força mudanças frequente de velocidade exigindo mais da segurança veicular ativa dos veículos.

O estudo de Waligórski e Kucal (2018) as características operacionais de um motor de combustão interna que impactam na segurança veicular no tráfego urbano dependem principalmente da potência útil e do seu torque. Geralmente os veículos circulam em áreas urbanas trabalhando em faixa de potência parcial, logo é importante que os veículos atinjam valores próximos ou exato da potência máxima em baixas rotações refletindo em um aumento de força motriz, permitindo que o veículo reaja rapidamente aos comandos do condutor em situações de perigo.

Waligórski e Kucal (2018) conclui que a segurança veicular depende, entre outros fatores, da dinâmica de movimentação do veículo, onde uma boa resposta de aceleração encurta o tempo das ações executadas pelos condutores principalmente em situações de risco. Portanto os motores que atingem valores máximo de potência útil em baixas rotações, contribuir de forma mais efetiva para segurança veicular.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais para o presente trabalho. Serão exploradas as definições de segurança veicular passiva e ativa e demonstradas as características do tráfego urbano e os conceitos referentes aos motores de combustão interna serão abordados de uma maneira geral, com enfoque no princípio de funcionamento e os parâmetros de desempenho.

3.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE QUATRO TEMPO POR IGNIÇÃO A FAÍSCA

Devido a elevada razão potência/peso os motores de combustão interna são largamente utilizados nos meios de transporte seja em embarcações, aeronaves ou automóveis, além de ter utilizações em outros campos tais como a produção de eletricidade, bombeamento de água, produção de ar comprimido entre outras máquinas rotativas (MARTINS, 2006), onde o objetivo dos motores de combustão interna é a produção de energia mecânica a partir da energia química contida no combustível (HEYWOOD 1988).

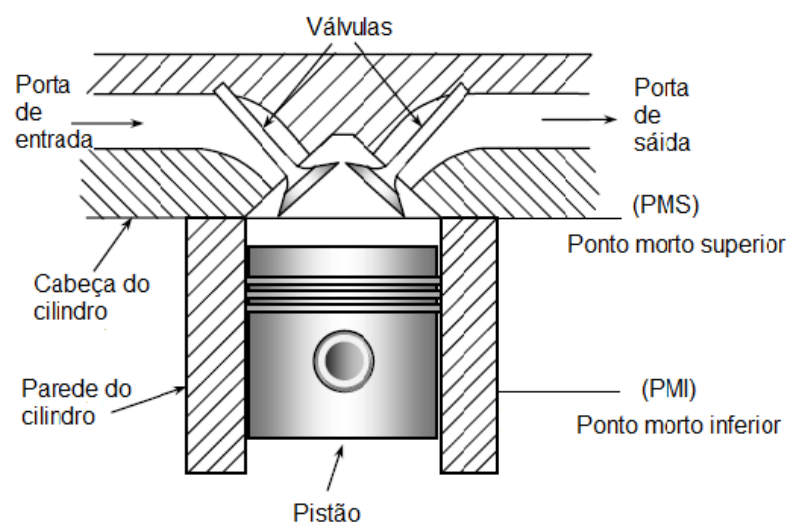
A definição de motores de combustão interna ou externa segundo Brunetti (2012) está relacionada a interação com o fluido ativo (AF), onde ele define o fluido ativo como uma substância que ao passar por uma sequência de processo desenvolve trabalho quando a combustão ocorre externo ao AF a máquina térmica é classificada como motor de combustão externa (MCE), e quando o AF participa da combustão a máquina térmica é classificada como motor de combustão interna (MCI). Tal definição está de acordo com a definição de Ferguson (2016) onde ele define MCI como um motor no qual a energia química do combustível é liberada internamente e usada diretamente para trabalho mecânico, ao contrário de um MCE no qual a queima do combustível é externa ao motor.

Uma classificação adicional para motores de combustão interna segundo Taylor (1971), são os motores de combustão interna de ignição por centelha. Um motor na qual a ignição é ordinariamente provocada por uma centelha elétrica. Classificação equivalente a dada por Ferguson (2016), onde ele afirma que os motores de ciclo Otto também é chamado de motor de ignição por centelha, pois uma faísca é necessária para iniciar o processo de combustão.

Os motores de ignição por centelha são os de interesse desse trabalho. Tais motores também são conhecidos como motores a gasolina ou motores Otto, em homenagem ao inventor (STONE, 1999). Os dois principais ciclos usados atualmente nos motores de combustão interna são denominados Otto e Diesel. O ciclo Otto também é conhecido como ciclo de ignição por centelha. Esse ciclo pode ser configurado como um ciclo de dois tempos, no qual o pistão produz força em cada movimento para baixo, ou um ciclo de quatro tempos, no qual o pistão produz força a cada dois movimentos para baixo (FERGUSON, 2016).

Os motores de quatro tempos são projetados para que o pistão tenha quatro cursos diferentes. Nesses tipos de motores o pistão tem que transitar por quatro cursos para completar um ciclo termodinâmico. O virabrequim deve realizar duas voltas completas para que o pistão complete os quatro movimentos (MASHADI e CROLLA, 2012). Na Figura 1, as partes básicas de um motor de quatro tempos são ilustradas.

Figura 1- Partes básicas de um motor



As quatro etapas que o motor executa segundo Mashadi e Crolla (2012) são:

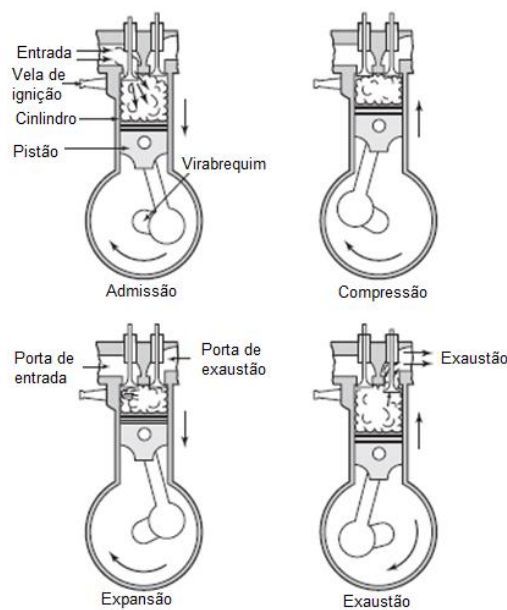
1ª etapa (admissão): o pistão partindo do PMS em direção ao PMI, a válvula de entrada abre e válvula de saída se fecha, e uma mistura de ar e combustível flui para o cilindro. Essa etapa tem seu fim quando o pistão atinge o PMI.

2º etapa (compressão): com ambas as válvulas fechadas, o pistão parte do PMI em direção ao PMS, comprimindo a mistura dentro do cilindro. A etapa de compressão termina no PMS.

3º etapa (expansão): com ambas as válvulas fechadas, iniciasse a combustão, onde ocorre a transferência de energia provida da queima do combustível, ocorrendo a expansão dos gases, empurrando o pistão para baixo em direção ao PMI. Quando o pistão atinge o PMI é fim dessa etapa.

4º etapa (exaustão): a válvula de exaustão abre, permitindo a saída dos gases produzidos na combustão. O movimento do pistão em direção ao PMS auxilia a exaustão dos gases empurrando-os para fora. A Figura 2 ilustra todo o processo.

Figura 2: Ciclo de ignição por faísca a quatro tempos.



Fonte: Ferguson e Kirkpatrick (2016) pag: 6, adaptada pelo autor

3.2 CICLO OTTO

O ciclo Otto possui o nome de Nikolaus Otto que desenvolveu um motor de quatro tempos em 1876. Otto é considerado o inventor do motor moderno de combustão interna (FERGUSON, 2016). O ciclo Otto é utilizado como referência para entendimento dos processos termodinâmicos que ocorrem nos motores de combustão interna por ignição por centelha.

Um motor de combustão interna não é um sistema fechado pois o fluido de trabalho não está confinado ao ciclo termodinâmico. Um motor é sistema aberto que troca calor e trabalha com a atmosfera, os reagentes (combustível e ar) fluem para o sistema e os gases de exaustão fluem para fora (HEYWOOD 1988). Mas uma vez que a eficiência de um motor real é menor que a eficiência de seu equivalente do ciclo combustível-ar Otto, o ciclo Otto é uma referência conveniente para comparação (FERGUSON, 2016). Martins (2006) afirma que a análise quantitativa de um sistema aberto é muito complexa então recorre-se algumas hipóteses simplificadoras que permite uma aplicação da Termodinâmica. As hipóteses segundo Brunetti (2012, p.96) são as seguintes:

- 1 – O fluido ativo é ar.
- 2 – O ar é um gás perfeito, ideal.
- 3 – Não há admissão nem escape (não há necessidade de se trocar os gases queimados por mistura nova). Essa hipótese permite a utilização da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas em lugar da Primeira Lei para Volume de Controle.
- 4 – Os processos de compressão e expansão são isentrópicos – ou seja, adiabáticos e reversíveis.
- 5 – A combustão é substituída por um fornecimento de calor ao FA a partir de uma fonte quente. Esse fornecimento de calor poderá ser num processo isocórico, ou em um processo isobárico, ou em uma combinação destes, dependendo do ciclo.
- 6 – Para voltar às condições iniciais, será retirado calor por uma fonte fria, num processo isocórico.
- 7 – Todos os processos são considerados reversíveis.

Então como apresentado antes e sustentado pela afirmação de Mashadi e Crolla (2012) que os processos que ocorrem nos motores de combustão interna por ignição a centelha geralmente são utilizados o ciclo teórico Otto. Será então apresentados os quatro processos segundo Stone (1999) que compõe o ciclo. Onde os processos de compressão e expansão são adiabáticos e reversíveis

consequentemente isentrópicos. Os quatros processos, que estão de acordo com a Figura 3, são:

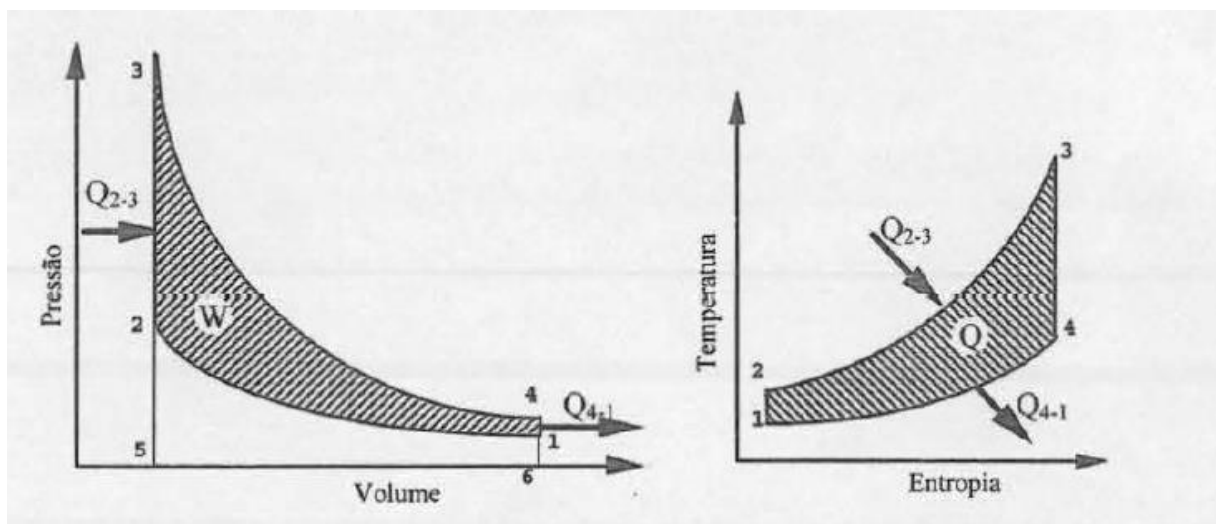
1-2 compressão isentrópica do ar de um V_1 para V_2 , determinado a taxa de compressão r_v igual a v_1/v_2 .

2-3 Adição de calor Q_{23} , a volume constante.

3-4 Expansão isentrópica do ar.

4-1 Rejeição de calor Q_{41} volume constante, finalizando o ciclo.

Figura 3: Ciclo Otto



Fonte: Martins (2006)

3.3 Segurança veicular e as características do tráfego urbano

Após a segunda guerra mundial o automóvel tornou-se um artigo de consumo e símbolo de status (MARIN; QUEIROZ, 2000). “O automóvel popularizou-se e passou a ser acessível a diversas camadas da sociedade, passando de um artigo de luxo para um bem material necessário” (WILHELM e GARCIA, 2018, p. 285). Mas para Romaro (2010), durante décadas do século XX os aspectos de segurança não eram prioridade na aquisição de um veículo, os fatores que mais influenciavam eram a beleza do automóvel, força do motor e status.

Segundo Wilhelm e Garcia (2018), com o aumento do número de veículos surgiram algumas consequências, como o crescimento da taxa de acidentes, aumento na frequência dos congestionamentos. Sendo assim Pereira e Souza (2013), cita que essas consequências mudaram a forma de idealizar os veículos, tornando a segurança veicular algo indispensável.

A segurança veicular pode ser afetada por diversos fatores, os quais podem ser classificados em três categorias: condições do ambiente (condições climáticas, da rodovia e do tráfego), condições veicular (condições dos pneus, desgaste e qualidades dos componentes) e fatores humanos (nível de qualificação, condições físicas e psicológicas do condutor) (BOSCH, 1999).

Para Bicalho e Souza (2018) a segurança veicular é tão importante quanto os requisitos de desempenho e conforto dos veículos. Essa relevância dos sistemas de segurança é dada pela sua finalidade, com afirmação Gioria (2008) ao citar que os sistemas de segurança buscam proteger os ocupantes dos veículos e pedestres e ciclistas que compartilham as mesmas vias públicas.

Como afirma Gioria (2008), com o avanço da engenharia automobilística e desenvolvimento de novas tecnologias vários dispositivos foram desenvolvidos a fim de melhorar a segurança veicular como listados, em ordem cronológica, na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Sistemas de segurança veicular

Ano de Introdução	Sistema
1899	Freio por cintas externas
1902	Freio a tambor com sapatas internas
1919	Freio hidráulico servo-assistido
1955	Freio a disco
1968	Cinto de segurança de três pontos
1978	ABS (<i>Antilock Braking System</i>)
1979	Tensionador do cinto de segurança pirotécnico
1979	<i>Airbag</i>
1987	TCS (<i>Traction Control System</i>)
1989	Barra de proteção de capotamento automática para conversíveis
1995	ESP (<i>Electronic Stability Program</i>)
1995	Limitador de força no cinto de segurança
1995	<i>Airbag lateral</i>
2001	ACC (<i>Adaptive Cruise Control</i>)
2001	SBC (<i>Sensotronic Brake Control</i>)

Fonte: (Gardinalli, 2005, adaptado pelo O Autor)

3.3.1 Segurança veicular passiva

Gioria (2008) define que os sistemas de segurança desenvolvidos para proteger os ocupantes do veículo e os demais envolvidos em uma colisão comumente inevitável são definidos como sistemas de segurança passiva. Segundo Bicalho e Souza (2018) tais sistemas funciona para evitar lesões eliminando ou amenizando maiores severidades causadas pelos efeitos de um acidente de trânsito. Wilhelm e Garcia (2018) complementam essa definição ao citar que tais sistemas tem o objetivo de diminuir ou até evitar a mobilidade interna, dos ocupantes do veículo, provocada por um acidente de trânsito, evitando que os ocupantes tenham seus corpos arremessados com o impacto da colisão. Esses sistemas têm atuação de caráter remediativo (BOSCH, 1999).

Segundo Gioria (2008), os sistemas de segurança passivo possuem dos aspectos: a segurança exterior e a segurança interior. Bosch (2000) cita que o sistema de segurança passiva externa abrange todas as medidas tomadas referente ao veículo para minimizar as consequências de uma colisão sobre os pedestres, ciclistas

e motociclistas, ou seja todos aqueles externos ao veículo. Os sistemas de segurança passivo interno têm o objetivo de evitar danos aos ocupantes dos veículos (WILHELME; GARCIA, 2018). Minimizando as acelerações e forças agindo sobre os ocupantes do veículo durante uma colisão (GIORIA, 2008).

Wilhelme e Garcia (2018), citam como componentes de segurança passiva interna os *airbag*, os encostos de cabeça, cinto de segurança retrátil e a carroceria deformável absorve a energia provinda do impacto dissipando na deformação evitando transferir para os ocupantes do veículo (GIORIA, 2008).

Bicalho e Souza (2018) definem como função principal do cinto de segurança a retenção dos ocupantes, evitando que os corpos dos ocupantes sejam projetos do assento, em uma colisão ou parada repentina. Segundo Ikeda (2012) os encostos de cabeça atuam diminuindo o ângulo de extensão da coluna cervical, nos casos de acidentes, evitando danos a coluna dos ocupantes do veículo. O sistema de *airbag* tem a função de amortecer o choque dos ocupantes, contra os componentes rígidos internos do veículo, em uma colisão (WILHERLM e GARCIA, 2018).

3.3.2 Segurança veicular ativa

Os sistemas de segurança ativa tendem a evitar acidentes, tendo como características as ações preventivas, anterior a ocorrência do acidente (WILHELM; GARCIA, 2018). Gioria (2008) cita que há quatro aspectos dos sistemas de segurança ativa. Os quatros aspectos segundo Bosch (2000) são:

Segurança de circulação: que é reflexo do comportamento dinâmico do veículo, resultante de um projeto harmônico do chassi com a suspensão, alinhamento das rodas e os sistemas de direção e freio.

Segurança condicional: é resultado da manutenção do estresse fisiológico dos ocupantes do veículo em níveis tão baixos quanto possível, reduzindo a possibilidade de distração no trânsito. O estresse fisiológico pode ser ocasionado por meio de vibrações, ruídos e condições climáticas.

Segurança perceptiva: é concebida pelos equipamentos de iluminação, dispositivos sonoros e componente que contribui com a visibilidade no trânsito, aumentando a percepção do condutor.

Segurança operacional: reflete na facilidade e otimização de acesso e operação dos elementos de controle do veículo.

Santos (2014) cita como exemplos de sistemas de segurança veicular ativa o ABS, o *Traction Control System* (TCS) e o *Eletronic Stability Program* (ESP).

3.3.3 Característica do tráfego urbano

A circulação urbana é caracterizada pelo tráfego intenso de veículos e comerciais leves, os quais são destinados para o transporte de passageiros e de cargas, respectivamente (WALIGÓRSKI; KUCAL, 2019).

Segundo Waligórski e Kucal (2019), o tráfego urbano é caracterizado por mudanças frequente de faixa e variação de velocidade. Essas mudanças ocorrem em função da infraestrutura das vias urbanas e pelo comportamento dos demais usuários. A infraestrutura urbana é caracterizada pela presença de semáforos, faixas de pedestre, lombadas físicas e eletrônicas e muitos cruzamentos.

Waligórski e Kucal (2018) cita que apesar dos veículos leves serem predominantes no tráfego urbano, bicicletas, motocicletas, ônibus e veículos de carga pesada compartilham das mesmas vias. Em virtude dessa variedade de meios de transporte a variação de velocidade e mudança de faixa são frequentes, principalmente entre os veículos leves que possuem uma movimentação mais dinâmica.

Kucal (2018) ressalta que para manter a segurança no tráfego urbano os veículos devem estarem adaptados as mudanças frequente de velocidade e mudanças de faixa. Caracterizados por alto poder de resposta, que permite evitar rapidamente situações de perigo. Como também os veículos com resposta efetiva não desaceleram o tráfego urbano, obrigando os demais usuários a mudarem o perfil de velocidade ou realizarem mudança de faixa.

3.4 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO MOTOR

Neste tópico serão conceituados os principais parâmetros de desempenho de um motor de combustão interna de ciclo Otto.

3.4.1 Potência

A potência é um parâmetro indispensável para avaliar o comportamento de um motor, Heywood (1988) define como sendo a taxa energia útil gerada pelo motor por uma unidade de tempo, onde a expressão para obter esse valor para um motor de combustão interna de 4 tempo em uma determinada rotação é:

$$P_i = \frac{n * W_{liq}}{120} \quad (1)$$

Onde P_i é a potência indicada, n é a rotação do motor em (rpm), W_{liq} é o trabalho líquido produzido pelo motor em ciclo. Quando a eficiência mecânica η_m é conhecida podemos definir a potência de saída como:

$$P_{sai} = \eta_m * P_i \quad (2)$$

3.4.2 Torque

Crolla e Mashadi (2011) definem o torque como a capacidade do motor de produzir força motriz, sendo importante para dinâmica de movimento do veículo nas retomadas de velocidades. A expressão para obter o torque de saída de um motor de 4 tempo é:

$$T_{sai} = \frac{30 * P_{sai}}{\pi * n} \quad (3)$$

3.4.3 Pressão média efetiva

A pressão média efetiva é definida por Santos Neto (2019) como sendo uma potência constante teórica, que se atuasse no cilindro no momento da expansão

resultaria no mesmo trabalho líquido, que realmente é produzido em ciclo do motor, a pressão média efetiva é dada por:

$$PME = \frac{W_{liq}}{V_d} \quad (4)$$

Onde W_{liq} é o trabalho líquido e V_d é o volume deslocado no ciclo. Santos Neto (2019) afirma que quanto maior a pressão média efetiva para um mesmo volume maior será o trabalho líquido produzido e consequentemente melhorar o desempenho do motor.

3.4.4 Consumo específico de combustível

Xavier (2018) afirma que consumo específico de combustível (SFC, do inglês specific fuel consumption) é um parâmetro que relaciona duas grandezas em uma determinada variação de tempo de um ciclo de potência: a vazão mássica de combustível e a potência fornecida pelo motor. Heywood (1988) cita que esse parâmetro mede a eficiência de um motor em consumir o combustível para geração de trabalho. A expressão que define o consumo específico de combustível é:

$$SFC = \frac{m_{comb}}{P_{sai}} \quad (5)$$

Onde m_{comb} é a vazão mássica de combustível consumida no processo. Então os motores que apresentam melhores desempenho para um mesmo consumo de combustível são os que apresentam menores consumo específico, consequentemente maior P_{sai} .

3.4.5 Eficiência térmica

Santos Neto (2019) afirma que a eficiência térmica é um parâmetro que indica quanto de energia fornecida pela combustão é convertida em potência útil. Sendo expressa por:

$$\eta_T = \frac{P_{sai}}{Q_f} \quad (6)$$

Onde Q_f é calor liberado na combustão.

4 METODOLOGIA

A principal proposta desse trabalho é compreender como se comportam os parâmetros de desempenho dos motores ciclo Otto relacionado a segurança veicular no tráfego urbano. Para realizar a análise será utilizada uma modelagem matemática de dois motores, utilizando o padrão ar frio que diferentemente do ciclo real, ele não descarta o ar ao término do ciclo, esse modelo permite obter gráficos facilitando a análise dos resultados.

4.1 EMBASAMENTO PARA A ESCOLHA DOS MOTORES

Atualmente existe um gama de opções de veículos no mercado brasileiro produzidos por diversos fabricantes disponibilizando vários modelos em diversas categorias de potência. Outro fator interessante é o crescimento do número de modelos que apresenta motores com três cilindros.

Através dos dados fornecidos pela ANFAVEA, é notado uma tendência no crescimento, aos longos dos últimos anos, dos automóveis na faixa de potência de 1000 cilindradas, como apresentado na tabela 3. Devido ao crescimento em tal faixa de potência essa mesma será referência para as escolhas dos motores a serem analisados.

Tabela 2 - Aumento em percentuais do uso dos motores de 1000 cc.

Ano	2016	2017	2018	2019	2020
Participação em % dos automóveis de 1000 cc no licenciamento total de veículos	33%	34,5%	38,8%	39,1%	47,9%

Fonte: ANFAVEA

No momento atual carros compactos que não possuem motores com três cilindros são visto como obsoletos, atualmente são praticamente 24 modelos de veículos com motor de três cilindros disponível no mercado nacional, incluindo veículos líderes de venda a exemplo o Chevrolet Onix que lidera as vendas nos últimos 6 anos (NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS, 2021).

Para o presente estudo será analisado dois modelos de motores, um modelo com 3 cilindros e outro modelo com 4 cilindros. A justificativa para análise do modelo de 3 cilindros é dada pela sua tendência de crescimento no mercado brasileiro. Para o modelo de 3 cilindros será tomado como referência o motor Chevrolet Onix, devido ao seu volume de venda apresentado nos últimos anos.

No último decênio o veículo mais vendido foi Volkswagen Gol, o hatch alemão emplacou cerca de 300.000 unidades por ano no período de 2011 a 2013 (MOBIAUTO, 2021). Nesse período tal modelo era equipado com motor de 4 cilindros, então devido a seu volume de venda nos últimos anos será escolhido como referência para o modelo de análise representando o modelo de 4 cilindro. Segundo carros na web (2021) o último modelo fabricado do Volkswagen Gol com 4 cilindros data de 2016, logo os parâmetros do modelo deste ano será adotado como referência do estudo.

4.2 MODELO MATEMÁTICO

O estudo terá como base um motor de 4 cilindros e outro com 3 cilindros, todos os cálculos apresentados aplica-se para ambos. Para o desenvolvimento do modelo matemático foi definido previamente os parâmetros geométricos dos motores, para o motor de 4 cilindros foi usado os parâmetros do motor do Volkswagen Gol Trendline 1.0 do ano de 2016 e para o motor de 3 cilindros foi utilizado os parâmetros do motor do Chevrolet Onix 1.0 do ano de 2021, os dados referentes aos motores segue nas tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 - Parâmetros construtivos de um motor de quatro cilindros

Cilindrada	999 cm ³
Razão de Compressão	12,7:1
Quantidade de Cilindros	4 em linha
Diâmetro dos Cilindros	67,1 mm
Curso dos Pistões	70,6 mm
Potência Máxima	76 cv (A) 72 cv (G) a 5250 rpm
Torque Máximo	10,6 kgfm (A) 9,7 kgfm (G) a 3850 rpm

Fonte: Carros na web

Tabela 4 - Parâmetros construtivos de um motor de três cilindros

Cilindrada	999 cm ³
Razão de Compressão	12,5:1
Quantidade de Cilindros	3 em linha
Diâmetro dos Cilindros	74 mm
Curso dos Pistões	77,49 mm
Potência Máxima	82 cv (A) 78 cv (G) a 6400 rpm
Torque Máximo	10,6 kgfm (A) 9,6 kgfm (G) a 4100 rpm

Fonte: Carros na web

No início da modelagem foi definido o volume deslocado, volume da câmara de combustão e a cilindrada para ambos motores, como será replicado essa abordagem para todos demais parâmetros, através das equações 8, 9 e 10 respectivamente.

$$V_d = \frac{\pi * D^2}{4} * S \quad (8)$$

Onde:

- D é o diâmetro do pistão;
- S é o curso que o pistão percorre.

$$V_{\text{câmara de combustão}} = \frac{V_d}{r_v - 1} \quad (9)$$

Onde:

- r_v é a taxa de compressão;
- V_d é o volume deslocado pelo pistão.

$$Cilindrada = V_d * Z \quad (10)$$

Onde:

- Z é o número de pistões;
- V_d é o volume deslocado pelo pistão.

Em seguida foi determinado os volumes pressões e temperaturas para cada ponto do ciclo. V_1 é igual ao volume deslocado mais o volume da câmara de combustão e V_2 é igual ao volume da câmara de combustão. A temperatura do ponto 1 (T_1) foi definida como 25 °C e a pressão do ponto 1 (P_1) foi definida como 100 Kpa, em seguida foi determinado a temperatura (T_2) e a pressão (P_2) no ponto 2 através das equações 11 e 12 respectivamente, a equação 11 pode ser utilizada devido o processo ser considerado isentrópico como detalhado no tópico 3.2.

$$T_2 = \frac{T_1}{\frac{1}{r_v^{(k-1)}}} \quad (11)$$

Onde:

- k é igual a razão entre os calores específico c_p e c_v , para processos adiabáticos.
- r_v é a taxa de compressão.

$$P_2 = P_1 * \frac{T_2}{T_1} * r_v \quad (12)$$

Para definimos a temperatura (T_3) do ponto 3 precisamos determinar a energia fornecida pelo combustível ao ciclo. A primeira etapa para determinar essa energia é calculando a massa de ar e combustível admitida na primeira etapa do ciclo, a massa de ar pode ser determinada pela equação 13.

$$m_{ar} = \frac{P_1 * Cilindrada * M}{R * T_1} \quad (13)$$

Onde:

- m_{ar} é massa de ar admitida no ciclo.
- M é a massa molar do ar.
- R é a constante universal dos gases.

Tomando como referência os valores apresentados por Brunetti (2012) para a relação de massa de ar e combustível (A/F) igual a 13,28 e o poder calorífico inferior (PCI) igual a 39205 kJ/kg, podemos determinar a massa de combustível admitida e o calor fornecido respectivamente. Pela equação 14, determinamos a massa de combustível.

$$m_{comb} = \frac{m_{ar}}{A/F} \quad (14)$$

Onde:

- m_{comb} é massa de combustível admitida no ciclo;
- m_{ar} é massa de ar admitida no ciclo;
- A/F é a relação entre a massa de ar e a massa de combustível.

Através da equação 15 é possível obter a massa de ar e de combustível em função do tempo.

$$\dot{m} = \frac{m * N}{120} \quad (15)$$

Onde:

- m pode ser a massa de ar ou de combustível;
- $\dot{m}$ é massa em função do tempo;
- N é a rotação do motor.

Conhecendo a massa de combustível e o calor específico inferior podemos determinar a energia fornecida pelo combustível pela equação 16.

$$Q_f = PCI * m_{comb} \quad (16)$$

Onde:

- Q_f é a energia fornecida pelo combustível;
- m_{comb} é massa de combustível;
- PCI é o poder calorífico inferior do combustível.

Para determinar a taxa de calor fornecida pelo combustível em função do tempo podemos utilizar a equação 17.

$$\dot{Q}_f = \frac{PCI * m_{comb} * N}{120} \quad (17)$$

Onde:

- $\dot{Q}_f$ é a taxa energia fornecida pelo combustível em função do tempo.
- m_{comb} é massa de combustível;
- PCI é o poder calorífico inferior do combustível;
- N é a rotação do motor em rpm.

A temperatura (T3) e pressão (P3) no ponto 3 podem ser determinadas pelas equações 18 e 19 respectivamente. , a expressão 19 pode ser utilizada devido o processo ser considerado isobárico como detalhado no tópico 3.2.

$$T_3 = \frac{Q_{comb}}{(m_{ar} + m_{comb})} + T_2 \quad (18)$$

$$P_3 = \frac{T_3}{T_2} * P_2 \quad (19)$$

A determinação da temperatura (T4) e pressão (P4) no ponto 4 do ciclo pode ser obtida pelas equações 20 e 21 respectivamente.

$$T_4 = \frac{T_1}{T_2} * T_3 \quad (20)$$

$$P_4 = \frac{T_4}{T_3} * \frac{V_3}{V_4} * P_3 \quad (21)$$

O rendimento do ciclo pode ser determinado pela equação 22.

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_v^{(k-1)}} \quad (22)$$

Conhecendo o calor fornecido pelo combustível e o rendimento pode-se determinar o calor de saída ou taxa de calor rejeitado pelo ciclo através da equação 23.

$$Q_{saída} = (1 - \eta) * Q_f \quad (23)$$

A energia que entrada no ciclo é igual a energia fornecida pelo combustível, conhecendo também a energia de saída pode-se determinar o trabalho líquido realizado pelo ciclo através da equação 24.

$$W_{liq} = Q_f - Q_{saída} \quad (24)$$

Onde:

- W_{liq} é o trabalho líquido;
- Q_f é a energia fornecida pelo combustível;
- $Q_{saída}$ é a energia de saída do ciclo.

Para determinar a potência do ciclo é necessário determinar a potência fornecida por cada pistão através da equação 25, sendo a potência total do ciclo igual a potência do pistão vezes a quantidade de pistões vezes a eficiência como na equação 26.

$$Pot_{cilindro} = \frac{W_{liq} * N}{120} \quad (25)$$

$$Pot_{motor} = \eta * Pot_{cilindro} * Z \quad (26)$$

Onde:

- $Pot_{cilindro}$ é a potência de um cilindro;
- Pot_{motor} é a potência do motor;
- W_{liq} é o trabalho líquido;
- N é a rotação do motor em rpm;
- η é o rendimento do ciclo;
- Z é quantidade de cilindros.

Outro parâmetro importante para o estudo dos motores é o torque, tal parâmetro pode ser determinado através da equação 27.

$$T_{motor} = \frac{30 * Pot_{motor}}{\pi * N} \quad (27)$$

Onde:

- Pot_{motor} é a potência do motor;
- N é a rotação do motor em rpm.

A pressão média efetiva pode ser obtida através da equação 28.

$$PME = \frac{W_{liq}}{V_d} \quad (28)$$

Onde:

- PME é a pressão média efetiva;
- W_{liq} é o trabalho líquido;
- V_d é o volume deslocado pelo pistão.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

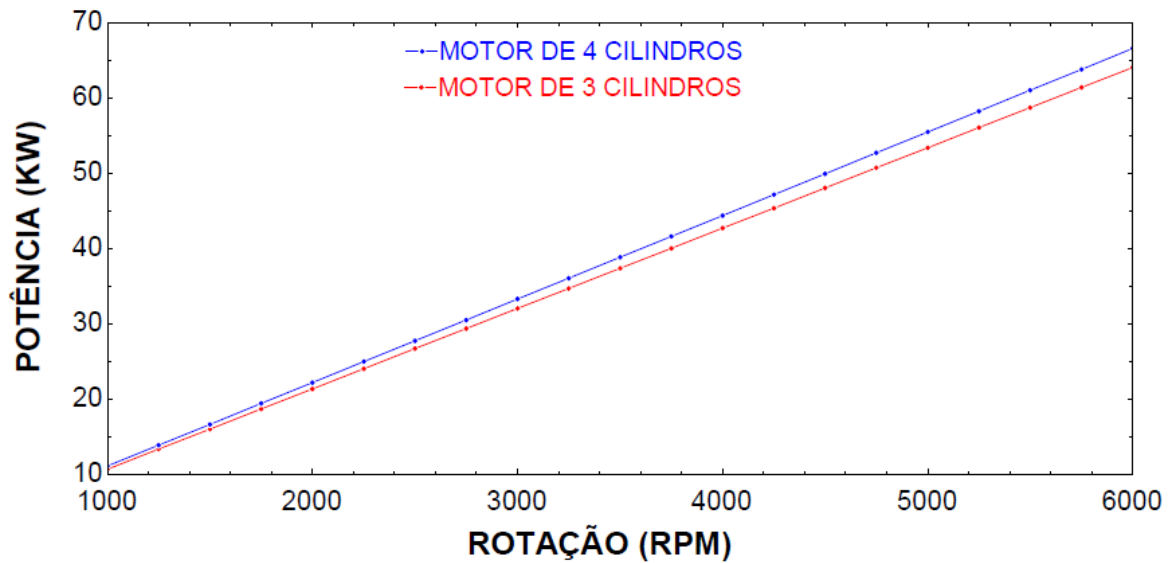
Nesta seção serão apresentados as análises e os resultados obtidos através de simulações numéricas para dois modelos de motores, um modelo com 4 cilindros e outro modelo com 3 cilindros. O primeiro se trata de um motor com 4 cilindros que utiliza os parâmetros geométricos do Volkswagen Gol Trendline 1.0 do ano de 2016, o segundo modelo trata-se de um motor de 3 cilindros que utiliza os parâmetros geométricos do Chevrolet Onix 1.0 do ano de 2021.

Inicialmente, foi realizado a modelagem matemática e simulações para ambos os motores para estudar os principais parâmetros de desempenho dos motores em função da rotação, exceto o rendimento do ciclo, esse parâmetro será avaliado com a variação da taxa de compressão. Os parâmetros estudados são potência, torque, a pressão média efetiva (PME), o consumo específico de combustível (SFC) e a eficiência de cada modelo. esses parâmetros foram obtidos para uma faixa de rotação do motor entre 1000 e 6000 RPM.

Os parâmetros gerados de cada modelo serão confrontados afim de verificar qual motor apresenta um melhor desempenho para o requisito avaliado, a análise partirá da premissa apresentada por Waligórski e Kucal (2018), onde é afirmado que as características operacionais de um motor de combustão interna que impactam na segurança veicular dependem principalmente da potência útil e do seu torque, logo é importante que os veículos consiga atingi valores próximos a potência máxima em baixas rotações refletindo em um aumento do poder de resposta do veículo, permitindo que reaja rapidamente em situações de perigo.

O primeiro parâmetro de desempenho analisado será a potência, o resultado da simulação será apresentado na figura 4. Essa figura representa uma comparação da potência entre o motor de 4 cilindros com o motor de 3 cilindros. A partir da figura 4, percebe-se que a potência de ambos os motores comporta-se praticamente da mesma forma para toda faixa de rotação, mas o motor de 4 cilindros apresenta valores de potência sempre maiores que o modelo de 3 cilindros, consequentemente contribui de forma mais eficiente na segurança veicular, proporcionando maior poder de resposta para os veículos equipados com tal modelo, vale resaltar que o modelo matemático não leva em consideração as perdas mecânicas.

Figura 4: Comparativo de potência.

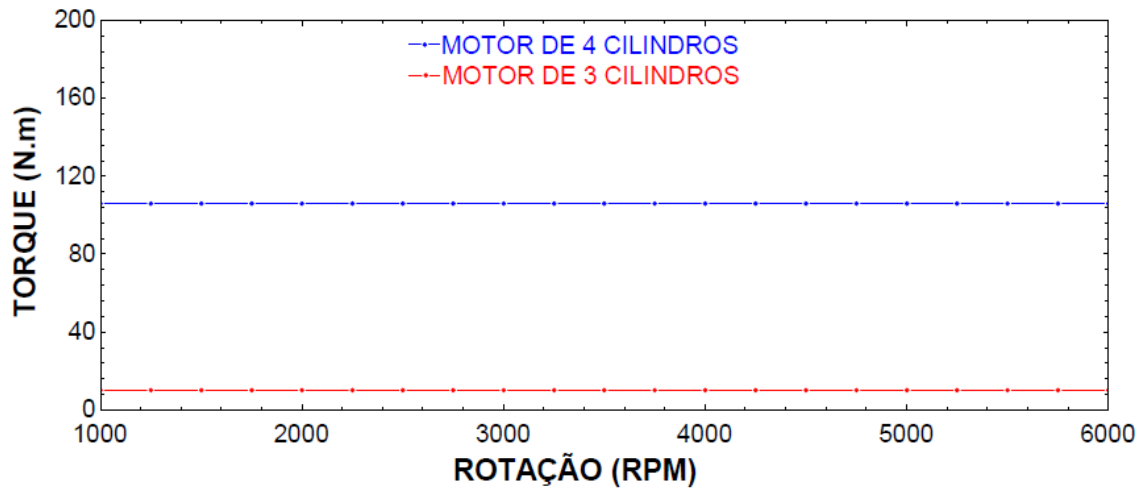


Fonte: O Autor (2021)

Outro parâmetro importante para segurança veicular é o torque, que representa o poder de resposta de um motor de combustão interna. Os resultados obtidos para esse parâmetro são apresentados na figura 5, onde percebe-se que a resposta da curva de desenvolvimento do torque, para ambos os motores, em função da rotação comporta-se de forma semelhante em toda faixa de análise.

Pode-se observar que o motor de 4 cilindros apresenta valores sempre maiores que o modelo de 3 cilindros para o intervalo de estudo, como esperado pois o torque é função da potência e o modelo de 4 cilindro apresentou valores maiores de potência para toda faixa de análise em comparação ao modelo de 3 cilindros, logo o motor com 4 cilindros apresenta um maior poder de reação sendo mais efetivo na contribuição da segurança veicular que o modelo com 3 cilindros.

Figura 5: Comparativo de torque dos motores.

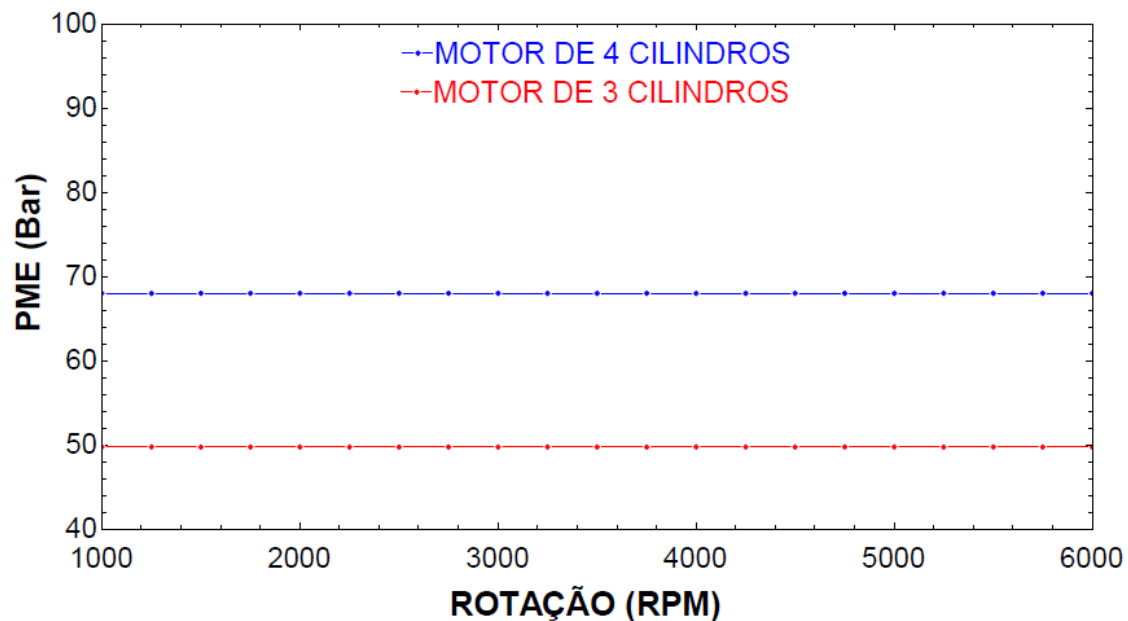


Fonte: O Autor (2021)

Outro parâmetro importante na análise de desempenho dos motores a combustão interna é a pressão média efetiva (PME), que trata-se de uma pressão constante teórica que se atuasse no pistão durante a etapa de expansão produziria o mesmo trabalho líquido que o ciclo. Portanto o motor com melhor desempenho será o de maior valor da PME, que consequentemente apresentara maior trabalho realizado, considerando que ambos os modelos possuem o mesmo volume deslocado.

Através da figura 6 pode-se observar que para toda faixa de análise o motor de 4 cilindros apresenta valores sempre maiores que o motor com 3 cilindros ou seja o trabalho líquido realizado pelo motor de 4 cilindros é sempre maior que o trabalho do modelo de 3 cilindros. Consequentemente o motor de 4 cilindros apresenta-se mais eficiente para contribuição da segurança veicular pois apresenta poder de reação sempre maior no intervalo analisado que o motor de 3 cilindros. Pode -se observar que o comportamento da PME é análogo ao comportamento do torque isso acontece porque PME e o torque são praticamente reflexo um do outro, sendo a PME analisada em termos de pressão e o torque em termos de força.

Figura 6: Comparativo da pressão média efetiva dos motores.

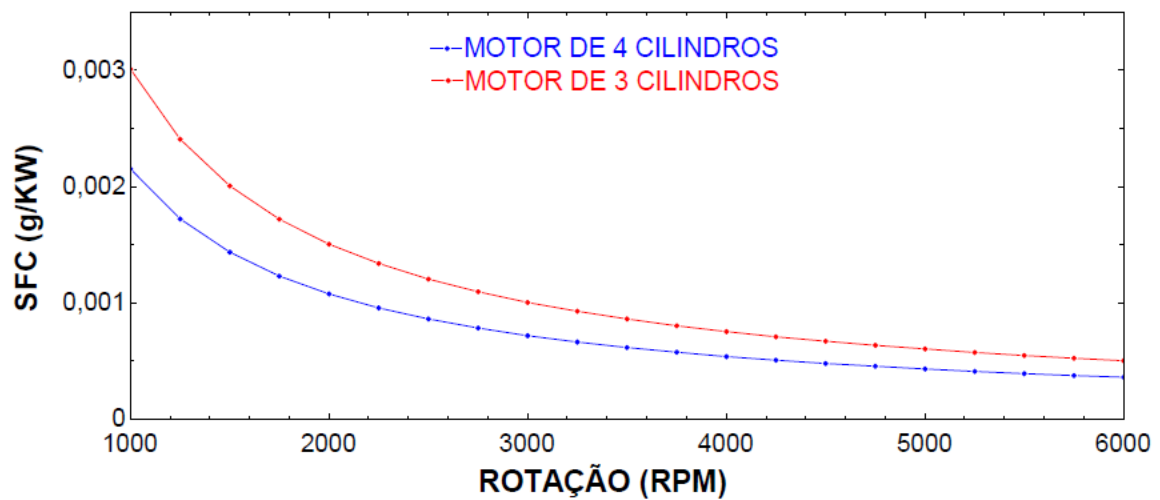


Fonte: O Autor (2021)

A figura 7 representa os resultados referentes ao consumo específico de combustível (SFC). Da mesma forma que o torque, potência e a PME, o SFC é um parâmetro particularmente importante pois contribui para o entendimento do desempenho de um motor a combustão interna. Pode-se observar que o motor de 4 cilindros apresenta um menor consumo que o motor de 3 cilindros para toda faixa de estudo. Portanto o motor de 4 cilindros mostra-se mais eficiente pois com um menor consumo consegue entregar torque e potência sempre maiores que o modelo com 3 cilindros.

Outro parâmetro analisado será o rendimento do ciclo em função da variação da taxa de compressão, a figura 8 demonstra o comportamento do rendimento com o aumento da taxa de compressão, para essa análise ambos os motores apresentaram resultados idênticos. Pode-se observar que com o aumento da taxa de compressão gera aumento no rendimento do ciclo.

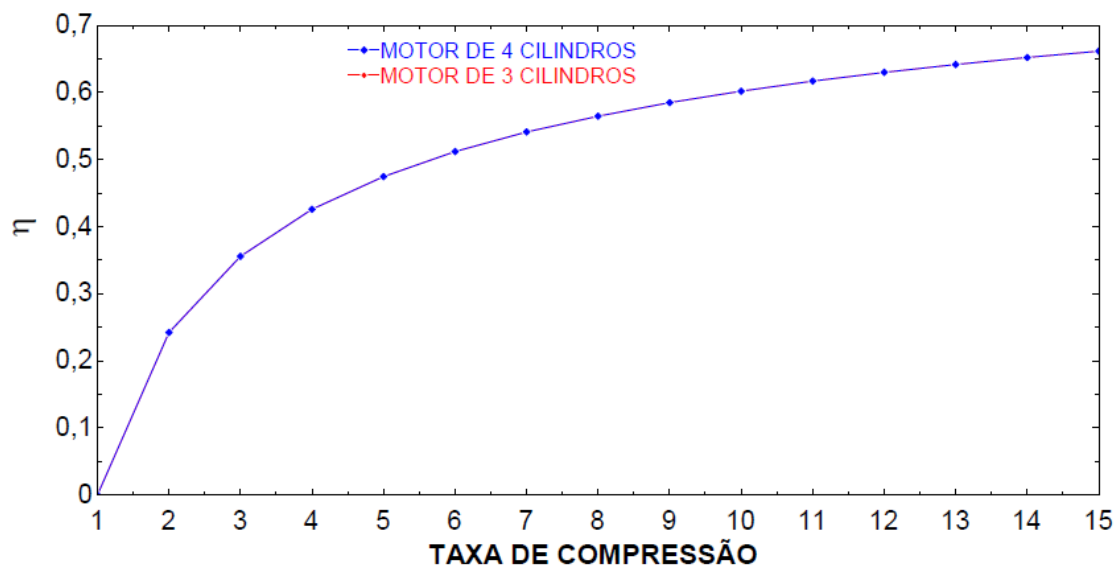
Figura 7: Comparativo do consumo específico dos motores.



Fonte: O Autor (2021)

Isso explica o melhor desempenho do motor com 4 cilindros comparado com o motor de 3 cilindros, pois o modelo com 4 cilindros apresenta taxa de compressão maior que o modelo com 3 cilindros, levando em consideração que as perdas mecânicas foram desprezadas. Mas vale ressaltar que a taxa de compressão tem limites imposto pelo limite de detonação/pré-ignição do combustível.

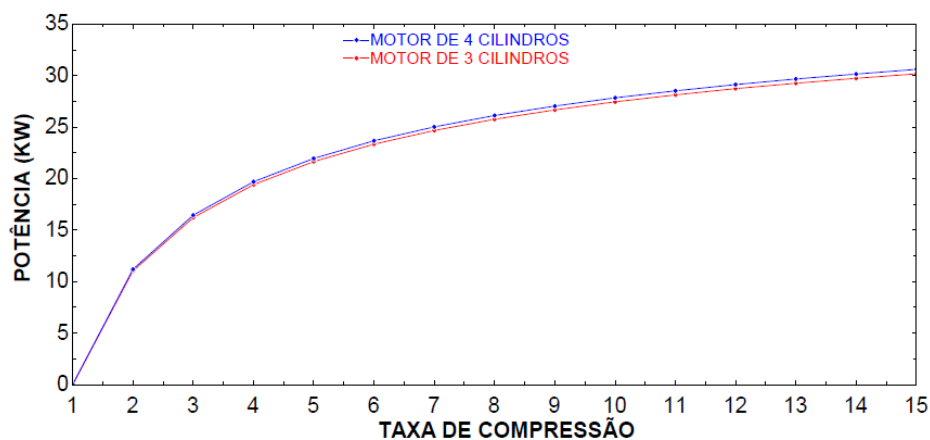
Figura 8: Rendimento em função da taxa de compressão.



Fonte: O Autor (2021)

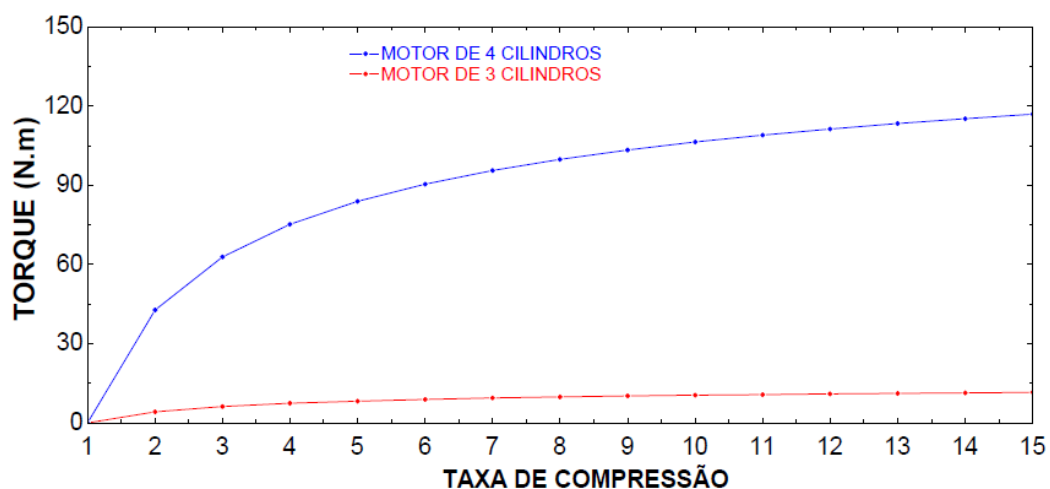
Pode-se verificar que com o aumento da taxa de compressão temos ganho no rendimento do ciclo que consequentemente apresentará ganhos na potência e torque dos motores, como demonstra as figuras 9 e 10 respectivamente, que refere-se a potência e torque em função da variação da taxa de compressão com a rotação fixada em 2500 rpm. Pode-se observar que o aumento da taxa de compressão tem relação direta no aumento do poder de resposta dos motores, consequentemente quanto maior a taxa maior a contribuição para segurança veicular.

Figura 9: Potência em função da taxa de compressão.



Fonte: O Autor (2021)

Figura 10: Torque em função da taxa de compressão.



Fonte: O Autor (2021)

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a importância de se realizar estudos nesta área. Levando em consideração a magnitude do impacto no entendimento da contribuição dos parâmetros de desempenhos dos motores ciclo Otto na segurança do usuário inserido no tráfego urbano.

Com o intuito de analisar o impacto dos parâmetros de desempenhos dos motores Otto sobre a segurança no trânsito, foi desenvolvido um modelo matemático utilizando os dados geométricos de dois motores, o motor do Volkswagen Gol Trendline 1.0 do ano de 2016, equipado com 4 cilindros e o motor Chevrolet Onix 1.0 do ano de 2021 equipado com 3 cilindros. Os principais parâmetros de desempenho dos dois modelos de motores foram obtidos para rotações entre 1000 RPM e 6000 RPM e, posteriormente, comparados.

As informações e dados apresentados neste trabalho contribuem de forma significativa para entender que o aumento da taxa de compressão contribui com o aumento do rendimento do ciclo, aumentando o poder de reação e contribuindo com a segurança veicular. Através dos resultados obtidos nos modelos gerados para os tipos de motores analisados pode-se afirmar que o motor com maior taxa de compressão, o modelo com 4 cilindros, apresentou melhor desempenho em todos os parâmetros.

O modelo de 3 cilindros era esperado um melhor desempenho em relação ao modelo de 4 cilindros devido a ser uma tecnologia mais recente, mas o resultado foi oposto ao esperado, isso justifica-se devido ao fato do modelo matemático desprezar as perdas mecânicas, visto que normalmente os modelos de 4 cilindros possuem uma unidade a mais para dissipar energia, então através dessa modelagem matemática o motor que possui maior taxa de compressão, obterá sempre melhores resultados em todos os parâmetros analisados.

Os conteúdos aqui apresentados demonstram que muitas pesquisas ainda podem ser realizadas sobre segurança veicular, devido à importância do tema para a segurança no trânsito. Para futuras pesquisas acerca do tema, sugerem-se abordagens que considerem adicionar as perdas mecânicas ao modelo utilizado, e melhorar a modelagem da admissão da mistura ar/combustível, e por fim um estudo experimental para validação dos dados apresentados.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. **Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BICALHO, Ana Julia Cozac; SOUZA, Jorge Henrique Gonçalves. **A ENGENHARIA MECÂNICA COMO FERRAMENTA DE SEGURANÇA AUTOMOTIVA: UM REVIEW SOBRE SEGURANÇA PASSIVA**. 2018.

BOSCH. **driving - safety systems**. 2 ed. [S.l.]: SAE International, 1999.

BOSCH. **Automotive Handbook**. 5 ed. [S.l.]: SAE International, 2000.

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

CARROS NA WEB. **Chevrolet Onix 1.0**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=16206>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CARROS NA WEB. **Volkswagen Gol Trendline 1.0**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=2769>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CROLLA, David; MASHADI, Behrooz. **Vehicle Powertrain Systems**. [s.l.]. [s.n.], 2011.

FERGUSON, C. R.; KIRKPATRICK, A. T. **Internal Combustion Engines: applied thermosciences**. 3ª. ed. [S.l.]: Wiley, 2016.

GARDINALLI, G. J. Oitava geração do ABS/ESP: **uma alternativa para o aumento da segurança veicular**. In: *7º Colloquium Internacional de Freios & mostra de engenharia*. Gramado: [s.n.], 2005.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GLORIA, Gustavo dos Santos. **Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1988.

IKEDA, T. **Descrição de itens de segurança veicular passiva e recomendações de seu uso adequado, na condição de ocupante de um veículo automotivo**. 2012. Monografia. (Pós-Graduação em Engenharia Automotiva). Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul. São Paulo, 2012.

Kucal K.: **Impact of operating characteristics of the LDV vehicle's combustion engine on the safety level in urban traffic**. Master Thesis, Poznań, 2018.

MARÍN, L.; QUEIROZ, M. S. **A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade: uma visão geral**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 7-21, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/csp/v16n1/1560.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Porto: Publindústria, 2006.

Mashadi, B.; Crolla, D. **Vehicle powertrain systems**: 1.ed. Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.

MOBIAUTO, Bandeira. **Aqui não tem SUV: os carros mais vendidos no Brasil nos últimos 10 anos**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/aqui-nao-tem-suv-os-carros-mais-vendidos-no-brasil-nos-ultimos-10-anos/560/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS, Andrade. **Motor com 3 cilindros: carros que já usam esse motor (no Brasil)**. [S. l.], [S. d.]. Disponível <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/motor-com-3-cilindros-carros-que-ja-usam-esse-motor-no-brasil/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

Organização Pan-Americana da Saúde Segurança no trânsito nas Américas. Washington, DC: OPAS, 2016. Disponível em: <https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/Road_Safety_PAHO_Portuguese.pdf> Acesso em: 27 jan. 2021.

PEREIRA, F. O. G.; SOUZA, R. F. L. L. **Segurança Veicular Ativa Sistemas de Monitoramento do Motorista**. 2013. Monografia. (Graduação) Curso de Tecnologia Autotrônica da Faculdade de Tecnologia – FATEC. Santo André, 2013.

PULKRABEK, W. W. **Engineering Fundamentals of the internal combustion engines**. Plateville: Prentice Hall, 1997.

SANTOS, A. C. 100% mais seguros. **Revista CESVI Brasil**, São Paulo, v. 17, n. 89, p. 12-16, jan./fev. 2014.

SANTOS NETO, Antônio Rodrigues dos. **Análise termodinâmica do uso de armazenamento de energia mecânica (CAE) para gerenciamento da turboalimentação em MCI**. Monografia (Monografia em Engenharia Mecânica) – UFPE. Recife, p. 67. 2019.

SIDAWI, Bhazad; AL MAJIL, Abd. **Editorial on Impacts on Traffic Safety**. 2012.

Stone, R. **Introduction to Internal Combustion Engines**: 3.ed. Londres: Macmillan Press Ltd, 1999.

ROMARO, M. Abraçado pela segurança. **Revista CESVI Brasil**, São Paulo, v. 13, n. 68, p. 26-28, abr./mai. 2010.

TAYLOR, C. **Análise dos motores de combustão interna**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1971.

WALIGÓRSKI, Marek; KUCAL, Karolina. **The impact of the full power characteristics of the internal combustion engine and the traction characteristics of the vehicle on its safety in urban traffic**. Transportation Research Procedia, v. 40, p. 594-601, 2019.

WILHELM, Fernanda; GARCIA, Ricardo Letizia. **Equipamentos de segurança veicular: uma análise da legislação brasileira**. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v. 4, n. 2, p. 283-298, 2018.

XAVIER, Luiz Henrique Ferraz. **Estudo para identificação da faixa de tempo de ignição ótima de um motor de combustão interna turboalimentado, com auxílio de ferramenta unidimensional.** Monografia (Monografia em Engenharia Mecânica) – UFPE. Recife, p. 60. 2018.

APÊNDICE A – MODELO PARA VARIAÇÃO DA ROTAÇÃO

"MODELO PARA VARIAÇÃO DA ROTAÇÃO"

"i *250 = Rotação "

DUPLICATE i=4;24

"Parâmetros geométricos do motor de 4 cilindro"

$r_{v_4}[i]=12,7$
 $d_4[i]=67,1*10^{(-3)}$
 $s_4[i]=70,6*10^{(-3)}$
 $Ap_4[i]=(\pi*d_4[i]^2)/4$
 $V_d_4[i]=Ap_4[i]*s_4[i]$
 $V_2_4[i]=(V_d_4[i])/(r_{v_4}[i]-1)$
 $Cilindrada4[i]=Ap_4[i]*s_4[i]*4$

"Parâmetros geométricos do motor de 3 cilindro"

$r_{v_3}[i]=11,5$
 $d_3[i]=74,5*10^{(-3)}$
 $s_3[i]=76,4*10^{(-3)}$
 $Ap_3[i]=(\pi*d_3[i]^2)/4$
 $V_d_3[i]=Ap_3[i]*s_3[i]$
 $V_2_3[i]=(V_d_3[i])/(r_{v_3}[i]-1)$
 $Cilindrada3[i]=Ap_3[i]*s_3[i]*3$

"Propriedade do Combustível"

$PCI[i] = 39205$
 $AF[i]=13,28$

"Parâmetros termonidâmicos do motor"

"Capacidade calorífica à pressão e volume constante"

"Ponto 1"

$T1[i]=298$
 $P1[i]=100$

$cp[i]=Cp(Air;T=T1[i])$
 $cv[i]=Cv(Air;T=T1[i])$
 $k[i]=cp[i]/cv[i]$

"para o motor de 4 cilindros"

$V1_4[i]=V_d_4[i]+V_2_4[i]$

"para o motor de 3 cilindros"

$V1_3[i]=V_d_3[i]+V_2_3[i]$

"Ponto 2"

"Ponto 2 para o motor de 4 cilindros"

$$T2_4[i] = T1[i] * ((r_v_4[i])^{(k[i]-1)})$$

$$P2_4[i] = P1[i] * (T2_4[i]/T1[i]) * (r_v_4[i])$$

"Ponto 2 para o motor de 3 cilindros"

$$T2_3[i] = T1[i] * ((r_v_3[i])^{(k[i]-1)})$$

$$P2_3[i] = P1[i] * (T2_3[i]/T1[i]) * (r_v_3[i])$$

"para o motor de 4 cilindros"

$$V2_4[i] = V_2_4[i]$$

"para o motor de 3 cilindros"

$$V2_3[i] = V_2_3[i]$$

"Calculo da massa de ar"

"motor de 4 cilindro"

$$m_ar_4[i] = (P1[i] * (V_d_4[i] + V_2_4[i]) * 28,9645) / (8,314 * T1[i])$$

"28,9645 é a massa molar do ar, 8,314 valor da constante universal dos gases para kpa"

"motor de 3 cilindro"

$$m_ar_3[i] = (P1[i] * (V_d_3[i] + V_2_3[i]) * 28,9645) / (8,314 * T1[i])$$

"28,9645 é a massa molar do ar, 8,314 valor da constante universal dos gases para kpa"

"Calculo da massa de combustivel"

"motor de 4 cilindro"

$$m_comb_4[i] = m_ar_4[i] / AF[i]$$

"motor de 3 cilindro"

$$m_comb_3[i] = m_ar_3[i] / AF[i]$$

"Calculo da energia fornecido pelo combustível para o motor"

"motor de 4 cilindro"

$$Q_comb4[i] = PCI[i] * m_comb_4[i]$$

"motor de 3 cilindro"

$$Q_comb3[i] = PCI[i] * m_comb_3[i]$$

"Ponto 3"

"Ponto 3 para o motor de 4 cilindros"

$$T3_4[i] = (Q_comb4[i] / ((m_ar_4[i] + m_comb_4[i]) * cv[i])) + T2_4[i]$$

"Ponto 3 para o motor de 3 cilindros"

$$T3_3[i] = (Q_comb3[i] / ((m_ar_3[i] + m_comb_3[i]) * cv[i])) + T2_3[i]$$

"Ponto 4"

"Ponto 4 para o motor de 4 cilindros"

$$T4_4[i] = (T3_4[i] / (r_v_4[i]^{(k[i]-1)}))$$

"Ponto 4 para o motor de 3 cilindros"

$$T4_3[i] = (T3_3[i] / (r_v_3[i]^{(k[i]-1)}))$$

"Calculo do trabalho para o motor de 4 cilindro"

$$W_4[i] = (cv[i] * (T3_4[i] - T2_4[i])) - (cv[i] * (T4_4[i] - T1[i]))$$

"Calculo do trabalho para o motor de 3 cilindro"

$$W_3[i] = (cv[i] * (T3_3[i] - T2_3[i])) - (cv[i] * (T4_3[i] - T1[i]))$$

"Calculo do rendimento do motor de 4 cilindros"

$$N4[i] = 1 - (T1[i] / T2_4[i])$$

"Calculo do rendimento do motor de 3 cilindros"

$$N3[i] = 1 - (T1[i] / T2_3[i])$$

"POTÊNCIA"

"Motor de 4 cilindros"

$$ROTAÇÃO[i] = i * 250$$

$$Pot_motor_4[i] = (N4[i] * 4 * m_ar_4[i] * W_4[i] * 250 * i) / 120 \quad \text{"potência do motor"}$$

"Motor de 3 cilindros"

$$Pot_motor_3[i] = (N3[i] * 3 * m_ar_3[i] * W_3[i] * 250 * i) / 120 \quad \text{"potência do motor"}$$

"TORQUE"

"Motor de 4 cilindros"

$$Tor_4[i] = (Pot_motor_4[i] * 30 * 1000) / (\pi * 250 * i) \quad \text{"Torque do motor "}$$

"Motor de 3 cilindros"

$$Tor_3[i] = (Pot_motor_3[i] * 30 * 100) / (\pi * 250 * i) \quad \text{"Torque do motor "}$$

"CALCULO DE CONSUMO SFC"

$SFC_4[i] = m_comb_4[i] * 1000 / Pot_motor_4[i]$

$SFC_3[i] = m_comb_3[i] * 1000 / Pot_motor_3[i]$

"PME"

"motor de 4 cilindro"

$PME_4[i] = W_4[i] / (V_d_4[i] * 100000)$

"motor de 3 cilindro"

$PME_3[i] = W_3[i] / (V_d_3[i] * 100000)$

END

APÊNDICE B – MODELO PARA VARIAÇÃO DA TAXA DE COMPRESSÃO

"MODELO PARA VARIAÇÃO DA TAXA DE COMPRESSÃO"

"Parâmetros geométricos do motor de 4 cilindro"

$$r_{v_4}=12,7$$

$$d_4=67,1 \cdot 10^{-3}$$

$$s_4=70,6 \cdot 10^{-3}$$

$$A_{p_4}=(\pi \cdot d_4^2)/4$$

$$V_{d_4}=A_{p_4} \cdot s_4$$

$$V_{2_4}=(V_{d_4})/(r_{v_4}-1)$$

$$\text{Cilindrada}_4=A_{p_4} \cdot s_4 \cdot 4$$

"Parâmetros geométricos do motor de 3 cilindro"

$$r_{v_3}=11,5$$

$$d_3=74,5 \cdot 10^{-3}$$

$$s_3=76,4 \cdot 10^{-3}$$

$$A_{p_3}=(\pi \cdot d_3^2)/4$$

$$V_{d_3}=A_{p_3} \cdot s_3$$

$$V_{2_3}=(V_{d_3})/(r_{v_3}-1)$$

$$\text{Cilindrada}_3=A_{p_3} \cdot s_3 \cdot 3$$

"Propriedade do Combustível"

$$\text{PCI} = 39205$$

$$\text{AF}=13,28$$

"Taxa de compressão para variação"

$$r_v=12,7$$

"Parâmetros termodinâmicos do motor"

"Capacidade calorífica à pressão e volume constante"

$$c_p=C_p(\text{Air}; T=T_1)$$

$$c_v=C_v(\text{Air}; T=T_1)$$

$$k=c_p/c_v$$

"Ponto 1"

$$T_1=298$$

$$P_1=100$$

"para o motor de 4 cilindros"

$$V1_4 = V_d_4 + V_2_4$$

"para o motor de 3 cilindros"

$$V1_3 = V_d_3 + V_2_3$$

"Ponto 2"

"Ponto 2 para o motor de 4 cilindros"

$$T2_4 = T1 * ((r_v_4)^{(k-1)})$$

$$P2_4 = P1 * (T2_4 / T1) * (r_v_4)$$

"Ponto 2 para o motor de 3 cilindros"

$$T2_3 = T1 * ((r_v_3)^{(k-1)})$$

$$P2_3 = P1 * (T2_3 / T1) * (r_v_3)$$

"para o motor de 4 cilindros"

$$V2_4 = V_2_4$$

"para o motor de 3 cilindros"

$$V2_3 = V_2_3$$

"Rotação para variação"

$$\text{rotação} = 2500$$

"Calculo da massa de ar"

"motor de 4 cilindro"

$$m_ar_4 = (P1 * (V_d_4 + V_2_4) * 28,9645) / (8,314 * (T1))$$

"28,9645 é a massa molar do ar, 8,314 valor da constante universal dos gases para kpa"

"motor de 3 cilindro"

$$m_ar_3 = (P1 * (V_d_3 + V_2_3) * 28,9645) / (8,314 * (T1))$$

"28,9645 é a massa molar do ar, 8,314 valor da constante universal dos gases para kpa"

"Calculo da massa de combustivel"

"motor de 4 cilindro"

$$m_comb_4 = m_ar_4 / 13,28$$

"motor de 3 cilindro"

$$m_comb_3 = m_ar_3 / 13,28$$

"Calor fornecido pelo combustível para o motor"

"motor de 4 cilindro"

$$Q_{\text{comb4}} = PCI * m_{\text{comb_4}}$$

"motor de 3 cilindro"

$$Q_{\text{comb3}} = PCI * m_{\text{comb_3}}$$

"Ponto 3"

"Ponto 3 para o motor de 4 cilindros"

" $V_2 = V_3$ e $V_4 = V_1$ "

$$V_{3_4} = V_{2_4}$$

$$T_{3_4} = (Q_{\text{comb4}} / ((m_{\text{ar_4}} + m_{\text{comb_4}}) * cv)) + T_{2_4}$$

$$P_{3_4} = (T_{3_4} / T_{2_4}) * P_{2_4}$$

"Ponto 3 para o motor de 3 cilindros"

$$V_{3_3} = V_{2_3}$$

$$T_{3_3} = (Q_{\text{comb3}} / ((m_{\text{ar_3}} + m_{\text{comb_3}}) * cv)) + T_{2_3}$$

$$P_{3_3} = (T_{3_3} / T_{2_3}) * P_{2_3}$$

"Ponto 4"

"Ponto 4 para o motor de 4 cilindros"

" $V_2 = V_3$ e $V_4 = V_1$ "

$$V_{4_4} = V_{1_4}$$

$$T_{4_4} = (T_{1_4} / T_{2_4}) * T_{3_4}$$

"Ponto 4 para o motor de 3 cilindros"

$$V_{4_3} = V_{1_3}$$

$$T_{4_3} = (T_{1_3} / T_{2_3}) * T_{3_3}$$

$$P_{4_3} = (T_{4_3} / T_{3_3}) * (V_{3_3} / V_{4_3}) * P_{3_3}$$

"Calculo do rendimento do motor de 4 cilindros"

$$\eta_{4_4} = 1 - (1 / ((r_v)^{(k-1)}))$$

"Calculo do rendimento do motor de 3 cilindros"

$$\eta_{4_3} = 1 - (1 / ((r_v)^{(k-1)}))$$

"Calculo do trabalho Liquido para o motor de 4 cilindro"

$$W_{liq4} = (cv \cdot (T3_4 - T2_4)) - (cv \cdot (T4_4 - 298))$$

"Calculo do trabalho Liquido para o motor de 3 cilindro"

$$W_{liq3} = (cv \cdot (T3_3 - T2_3)) - (cv \cdot (T4_3 - 298))$$

"POTÊNCIA"

"Motor de 4 cilindros"

$$Pot_{cilindro4} = (W_{liq4} \cdot rota\c{c}{a}{o} \cdot m_{ar_4}) / 120[s] \quad \text{"potência de cada cilindro"}$$

$$Pot_{motor_4} = (\eta_4)^4 \cdot Pot_{cilindro4} \quad \text{"potência do motor"}$$

"Motor de 3 cilindros"

$$Pot_{cilindro3} = (W_{liq3} \cdot rota\c{c}{a}{o} \cdot m_{ar_3}) / 120[s] \quad \text{"potência de cada cilindro"}$$

$$Pot_{motor_3} = (\eta_4)^3 \cdot Pot_{cilindro3} \quad \text{"potência do motor"}$$

"TORQUE"

"Motor de 4 cilindros"

$$Tor_4 = (Pot_{motor_4} \cdot 30 \cdot 1000) / (\pi \cdot rota\c{c}{a}{o}) \quad \text{"Torque do motor "}$$

"Motor de 3 cilindros"

$$Tor_3 = (Pot_{motor_3} \cdot 30 \cdot 100) / (\pi \cdot rota\c{c}{a}{o}) \quad \text{"Torque do motor "}$$