

UTILIZAÇÃO DE MOTORES 3 CILINDROS EM SUBSTITUIÇÃO AOS DE 4 CILINDROS EM CARROS POPULARES NO BRASIL.

Vinícius Florencio de França

Márcio Furukava

Resumo: A crescente demanda por soluções sustentáveis na indústria automotiva, aliada às rigorosas regulamentações ambientais, tem incentivado a substituição de motores de 4 cilindros por motores de 3 cilindros em veículos populares. O presente estudo realiza uma avaliação dos benefícios desta transição, com ênfase na eficiência energética e nas emissões de poluentes. Para tal, foi empregada uma revisão da literatura, selecionando trabalhos relacionados com o tema para realizar análise da literatura sobre esses motores. Os resultados indicam que os motores de 3 cilindros apresentam um consumo médio de combustível e emissões de poluentes inferiores em comparação aos motores de 4 cilindros, evidenciando sua superioridade em termos de eficiência e impacto ambiental. Entretanto, desafios relacionados à durabilidade e manutenção ainda requerem atenção. Esta análise oferece uma visão sobre o nível de emissão de poluentes na indústria automotiva e contribui para o entendimento e desenvolvimento de novas tecnologias que visem aumentar a sustentabilidade dos automóveis.

Palavras Chaves: “Motores de combustão interna”; “3 cilindros”; “4 cilindros”; “Ciclo Otto”.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de mitigar os impactos ambientais têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes. Nesse cenário, a indústria automotiva tem se empenhado em aprimorar a eficiência dos veículos em relação ao consumo de combustível e à emissão de poluentes. Essa eficiência é exigida pelo CONAMA, que estabelece normas rigorosas para as emissões de motores de combustão interna. Como resultado, os fabricantes de automóveis têm adotado técnicas que favorecem a melhoria da eficiência energética e a redução das emissões. A substituição de motores de 4 cilindros por motores de 3 cilindros em veículos de passeio surge como uma alternativa promissora para otimizar o consumo de combustível e minimizar as emissões de gases poluentes, contribuindo assim para a diminuição do impacto ambiental dos automóveis.

A recente popularização dos motores de 3 cilindros despertou o interesse em investigar os benefícios e desafios associados a essa tecnologia. O presente estudo busca analisar as inovações na construção e nas tecnologias empregadas para aprimorar a eficiência desses motores, fornecendo uma compreensão aprofundada sobre sua eficiência, desempenho e sustentabilidade.

Este artigo fará uma revisão da literatura para realizar uma análise detalhada da literatura disponível sobre motores de 3 cilindros. Os motores de 3 cilindros são realmente mais sustentáveis do que os motores de 4 cilindros? Esta pesquisa irá investigar essa substituição de motores e avaliar se realmente os motores de 3 cilindros, em comparação aos de 4 cilindros, oferecem vantagens significativas em termos de eficiência energética que justifiquem a sua substituição. Além disso, almeja-se que os resultados deste trabalho corroborem com a pesquisa de novos pesquisadores, servindo como referência e contribuindo para a coleta de dados e informações relevantes sobre o tema.

2 METODOLOGIA

Neste artigo foi feita uma revisão da literatura a respeito da substituição dos motores com 4 cilindros em linha por motores com 3 cilindros em linha. A revisão da literatura é a descrição da literatura que seja relevante para um campo específico, consiste em apresentar o “estado da arte” sobre uma questão científica, foi realizado o mapeamento das produções acadêmicas já existentes sobre o tema deste artigo e foram reunidas as principais conclusões sobre ele através desses estudos, é um processo contínuo e formal com base em bibliografias científicas.

Esta metodologia foi realizada fazendo um levantamento de trabalhos em banco de dados de dissertações e produções acadêmicas, foi usado o Google Acadêmico para realizar esse levantamento de trabalhos. Usando determinadas palavras chaves, que serão apresentadas a seguir, que possuem relação com o tema deste artigo. Inicialmente, devido ao grande número de artigos encontrados, foi-se necessário fazer uma triagem nos resultados da pesquisa usando critérios sobre relevância e atualidade, foram selecionados os trabalhos que fossem mais pertinentes ao assunto deste artigo e que também se enquadrassem no período dos últimos 10 anos.

Quadro 1. Resultados de Busca. Fonte: Autoria Própria.

Palavra-Chave	Operador Booleano	Banco de dados	Artigos Encontrados
“Motores de combustão interna”	-	Google Acadêmico	11100
“Ciclo Otto”	-	Google Acadêmico	8630
“3 Cilindros”	-	Google Acadêmico	3160
“Motores” “3 Cilindros”	And	Google Acadêmico	1040
“Motores” “3 Cilindros” “Ciclo Otto”	And	Google Acadêmico	170
“Motores de combustão interna” “3 Cilindros”	Or	Google Acadêmico	133
“Motores de combustão interna” “3 Cilindros” “Ciclo Otto” “4 Cilindros”	And	Google Acadêmico	25

Essa seleção se deu de forma a usar diversas palavras chaves diferentes e em diferentes combinações, que estão apresentadas no Quadro 1, todas com o objetivo de realizar uma análise quantitativa de trabalhos com maior relevância ao tema. Diante deste processo, foi possível chegar a um número reduzido de trabalhos que foram julgados como sendo mais relevantes.

Posteriormente foi feito um refino dos trabalhos encontrados no Google Acadêmico, resultado da busca mostrada no Quadro 1, realizando uma leitura completa de todos os trabalhos exibidos no Quadro 2, selecionando os trabalhos que seriam usados para o referencial teórico deste presente artigo. Com base nesses trabalhos selecionados depois do processo de leitura, foi possível extrair informações e dados que foram utilizadas para construir o desenvolvimento deste artigo.

Ao longo do desenvolvimento surgiu a necessidade de fazer um levantamento de dados comerciais a respeito da quantidade de vendas de determinados modelos de carros relevantes sobre o tema, da frota atual desses modelos, assim como também dados técnicos dos modelos estudados. Assim foi realizada uma pesquisa para adquirir dados técnicos fornecidos pelos fabricantes de cada modelo estudado. De posse desses dados, foi realizada uma síntese para destacar e comparar parâmetros relevantes ao tema como: desempenho, consumo, potência e torque de cada modelo.

Quadro 2: Fichamento de trabalhos encontrados no Google Acadêmico. Fonte: Autoria própria.

Autor	Ano	Título
Bruno César Pasini	2022	Análise computacional de desempenho de um motor de Combustão interna com a utilização de gasolina, metano e Hidrogênio
Eduardo Henrique Nunes Garcia	2023	Análise de desempenho de motor turbo utilizando o software hotflx
João Pedro Querino da Silva	2022	Análise de performance de um motor do ciclo otto com instalação de um turbocompressor
Sara Silva dos Santos	2021	Análise do desempenho de motores a combustão interna flex (bicombustível)
Giovani Dambros Telli	2018	Análise do desempenho de um motor a combustão de ignição por compressão monocilíndrico no funcionamento bicombustível diesel-etanol

Leomi de Souza Silva	2019	ANÁLISE DO EFEITO DA TURBOALIMENTAÇÃO E ESTRATÉGIA DOWNSIZING EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: aspectos operacionais e ambientais
Paulo César Corredori	2015	Aplicação de Polipropileno com 35% de Fibra de Vidro (PPGF35) Em substituição à Poliamida com 35% de Fibra de Vidro (PA6 GF35) Na fabricação de Coletores de Admissão em Motores de 03 Cilindros Bicombustível
Josimar Souza Rosa	2019	Avaliação do uso de etanol hidratado e altamente hidratado pelo método da fumigação como combustível em motores de ignição por compressão monocilíndricos
Lucas Costa Mendes	2017	Desempenho de motores de ignição por centelha com sobrealimentação mecânica e turboalimentação
Jorge Manuel Pereira Gregório	2017	Desenvolvimento de um Motor Alternativo de Combustão Interna de Pistões Opostos
Ana Paula Mattos	2018	Estudo do desempenho de um motor turbo alimentado a etanol empregando EGR para redução de emissões de nox e controle de detonação
Thiago Pacheco Honorato	2021	Estudo dos parâmetros de desempenho de um motor ciclo otto Relacionado a segurança veicular no tráfego urbano
Fábio de Castro Radicchi	2018	Estudo numérico da influência do Enquadramento de válvulas e da recirculação dos gases de exaustão no escoamento de ar, na formação da mistura e na combustão de um motor de ignição por centelha
Caio Filippo ramalho leite	2019	Estudo Numérico do Motor de Ignição por Compressão Controlada por Centelha
Denner de almeida Miranda; Gustavo da silva ribeiro	2018	Evolução metalúrgica e tecnológica dos motores a combustão interna de quatro tempos
Deisson Alexander Zuleta Durango	2018	Influência da temperatura, velocidade e força no desgaste e no coeficiente de atrito de materiais para válvulas e sedes de válvulas de motores flex-fuel
Waldério dos anjos Vasconcelos	2018	Metodologia de análise termo-estrutural de bloco de motores após adição do sistema de sobrealimentação
Marcelo Adriano Fogiatto	2017	Modelagem de um sistema de potência operado com gaseificador de leito fluidizado circulante e motor de ciclo otto
Miguel Bento Amorim Neto; Sergio Ricardo dos santos Junior	2018	MOTOR TRÊS CILINDROS: o impacto na Performance dos motores 1.0
Gabriel Tavares; Luis Gustavo dias Fermiano; Marlon Alves Fonseca	2022	Motores downsizing
Leandro Costa Rodrigues da Matta; Mateus Henrique Cardoso	2018	Motores Lean & Green de alto desempenho – um estudo Sobre a nova geração de motores e os benefícios que Acompanham as novas tecnologias
Luiz Otávio Ferrão Teixeira Alves	2018	SIMULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR CONJUGADO E ESTUDO PARAMÉTRICO NO CABEÇOTE DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA etorq 1.6
Paulo Henrique de Lira Júnior	2019	Simulação via gt-power do armazenamento de energia Mecânica em motores de combustão interna sob condições de Ciclos de teste padrão epa
Liniker Pereira de Faria	2022	SISTEMA DE ARREFECIMENTO MOTOR CICLO OTTO: comparativo entre dois Sistemas
Manuel Álvaro Martins Lopes Pombo	2018	Tecnologias de Última Geração em Motores de Ignição Comandada para Automóveis

O Quadro (2) mostra o fichamento com todos os artigos que foram lidos para realizar a seleção dos trabalhos que serão usados no referencial teórico deste artigo.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E SUA EVOLUÇÃO

A primeira forma de construção de um motor que usou a força expansiva dos gases da combustão de em um cilindro fechado foi o motor a vapor, que usava a pressão do vapor em expansão para movimentar um ou mais pistões, transformando a energia térmica em energia mecânica. Porém devido a sua baixa eficiência, com o passar dos anos, foi construído um motor que usava a energia gerada pela explosão de uma mistura ar/combustível, consequentemente este novo motor tomou o lugar do seu antecessor por ser mais eficiente, consumir menos combustível, ter menores dimensões e massa.[1]

Este motor foi construído em 1876 por Nikolaus August Otto, funcionava com 4 tempos e foi chamado de ciclo otto em homenagem ao seu construtor. O motor de ciclo OTTO desde a sua criação até os dias atuais é um dos motores mais usados na área automobilística devido sua eficiência, e ao longo dos anos foi sendo melhorado com a implantação de novas tecnologias.[1]

Atualmente em carros populares com motores de ciclo otto são predominantes e passam progressivamente por atualizações com novas melhorias tecnológicas, os novos motores de 3 cilindros em linha e vem tomando lugar dos motores de 4 cilindros em linha que eram usados nesses carros populares contribuindo para sua eficiência e sustentabilidade.

3.2 MOTORES DE 4 TEMPOS (4T).

A combustão é um processo químico que precisa de três componentes fundamentais para acontecer: ar, comburente e fonte de ignição, conhecido como triângulo de fogo. O motor de combustão interna usa este princípio para funcionar, onde a energia gerada através da queima do combustível junto com o ar é usada para movimentar peças móveis dentro motor transformando energia térmica em trabalho mecânico. No caso de motores de ciclo otto, o pistão percorre 4 vezes o seu curso para completar um ciclo, correspondendo à duas voltas no virabrequim. [2][3]

O ciclo otto opera com quatro tempos de funcionamento e estes são denominados de: admissão, compressão, expansão e escape.[4]

Admissão: A válvula de admissão se abre e o pistão desloca-se até o ponto mais baixo do seu curso admitindo a mistura ar/combustível para dentro do cilindro até preenchê-lo completamente. [5]

Compressão: A válvula de admissão se fecha e juntamente com a válvula de escape permanecem fechadas permitindo que a mistura ar/combustível seja comprimida através do movimento do pistão se deslocando até o ponto mais alto do seu curso. [5]

Expansão: Quando o pistão chega ao ponto mais alto do seu curso, a vela de ignição produz uma faísca que dá início ao processo de combustão, neste instante é liberada uma grande quantidade de energia através da explosão da mistura ar/combustível, energia esta que faz com que o pistão seja impulsionado para baixo gerando trabalho mecânico movimentando todo o sistema.[5]

Escape: É o último tempo do ciclo de funcionamento, a válvula de escape se abre permitindo que os gases gerados pelo processo de combustão possam sair do cilindro e o pistão começa a subir novamente até o ponto mais alto do seu curso empurrando estes gases para fora do cilindro através da válvula de escape.[5]

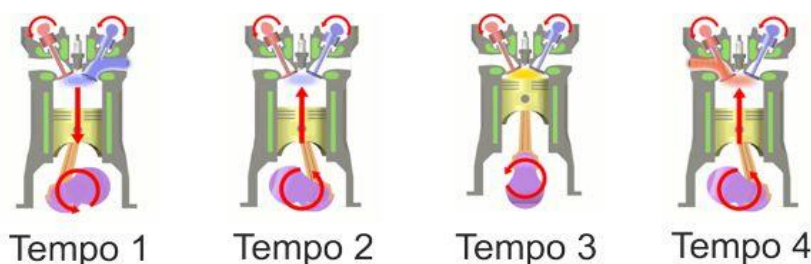


Figura 1: tempos do ciclo otto. Fonte: [6]

3.3 DISPOSIÇÃO DE CILINDROS

Esta classificação está relacionada com a dimensão do conjunto e como são dispostos no espaço. Quanto a esta disposição, além dos modelos em linha, ainda existem motores com cilindros em 'V' e opostos. Nos motores com cilindros em linha, estes são dispostos em uma única linha reta e a quantidade varia de 2 a 6 cilindros nos modelos produzidos em larga escala. [2]



Figura 2. (a) Motor 3 cilindros em linha. Fonte: [7] (b) Motor 4 cilindros em linha. Fonte: [8]

3.4 MOTORES DOWNSIZING

A prática da redução de cilindros do motor, mantendo seus níveis de desempenho e reduzindo o consumo de combustível é conhecida como downsizing. O downsizing é um conjunto de técnicas que são usadas nos motores com o objetivo de reduzir a emissão de gases poluentes e aumentar a eficiência, preservando a potência e o torque em comparação com motores que contêm mais cilindros, estas técnicas consistem em reduzir o número de cilindros do motor, consequentemente reduzindo a massa, uso de comando de válvula variável e aumentar a pressão através de sistemas de sobrealimentação. [9]

Ao analisar a eficiência de um motor, deve-se analisar diversos parâmetros de funcionamento, como por exemplo o deslocamento volumétrico. A cilindrada do motor corresponde ao volume da mistura ar/combustível em litros que o motor é capaz de queimar a cada ciclo dos seus pistões. É assim que se denomina a classificação dos motores em 1.0, 1.6 e 2.0. Assim, um carro 1.0 possui 1.000 cilindradas e um 2.0 possui 2.000 cilindradas. [4]

$$Cilindrada = \frac{\pi \times D^2}{4} \times S \times Z = (cm^3) \quad (1)$$

Onde:

D = Diâmetro do cilindro (cm)

S = Curso do Pistão (cm)

Z = Quantidade de cilindros

3.5 PROCESSO DE COMBUSTÃO

Nos motores de combustão interna de ciclo otto, o processo de combustão possui 4 tempos de funcionamento e precisa que o virabrequim dê duas voltas (720°) para que todos os pistões passem pelos quatro tempos, assim, cada fase leva meia volta do virabrequim (180°). Pode-se dizer que o tempo de entrega de potência em um motor de quatro cilindros é boa, pois o tempo de combustão acontece a cada 180° e o tempo de trabalho de cada pistão também é de 180°, isso faz com que sempre em um dos pistões esteja acontecendo o processo de expansão que é o tempo que entrega a potência do motor, assim como sempre há um cilindro entregando potência, não há defasagem entre entregas. [3]

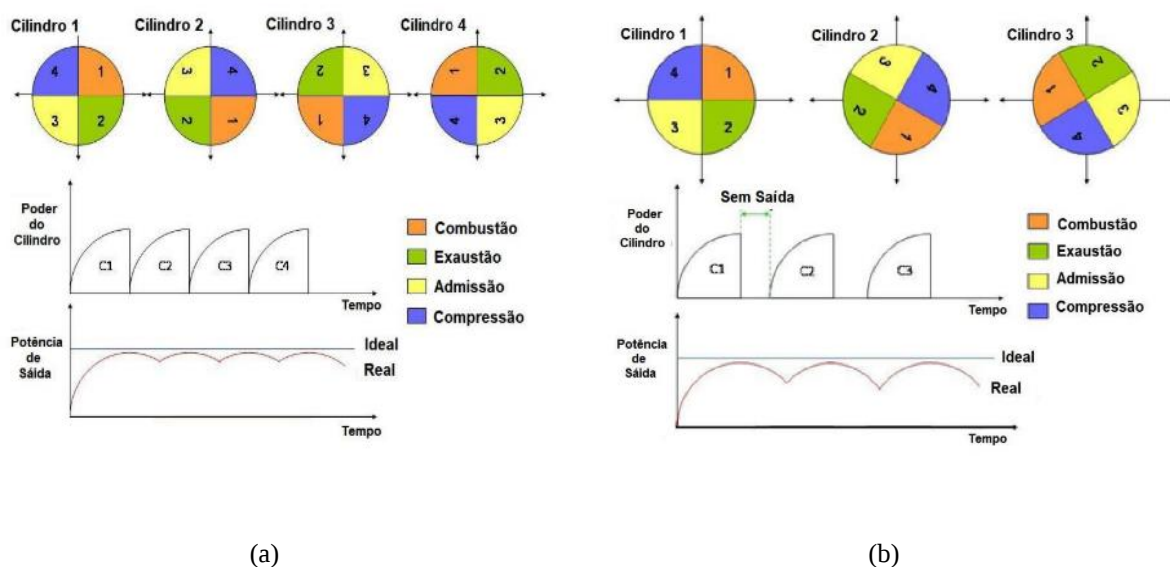


Figura 3. (a) Saída de potência no motor 4 cilindros. Fonte: [3] (b) Saída de potência no motor 3 cilindros. Fonte: [3]

Nos motores de três cilindros, as mesmas duas voltas do eixo virabrequim são necessárias para completar um ciclo de funcionamento (720°). Mas ao dividirmos esse tempo pelos 3 pistões presentes no motor, tem-se 240° entre o término de um ciclo e o início de outro, e em um determinado tempo há uma defasagem entre os tempos de expansão do motor, que dura apenas 180° . Assim, gera uma defasagem de 60° em que um pistão não está entregando energia na expansão e durante esse tempo o motor é impulsionado somente aproveitando as forças resultantes da combustão, ou seja, pela inércia de movimento. Esse é um dos motivos que fazem com que este tipo de motor tenha uma vibração maior que seu antecessor de 4 cilindros.

Entretanto, não é somente devido à essa defasagem que as vibrações em motores de 3 cilindros são mais elevadas, pelo fato desses motores possuírem um número ímpar de cilindros, ocorre uma má distribuição de massa em seu funcionamento, essa má distribuição de massas gera forças assimétricas que dificultam o seu balanceamento. [3]

No entanto, ao se reduzir um cilindro no motor, também é reduzido o atrito gerado em seu funcionamento, no funcionamento desse motor cerca de 20% da potência gerada é perdida por causa do atrito entre os componentes móveis do motor, então ao reduzir o número de cilindros também é reduzido o atrito gerado no funcionamento desse motor este que é um fator que beneficia a eficiência energética desse motor que por sua vez beneficia a economia de combustível, devido ao fato de que a parcela de energia que seria desperdiçada pelo atrito agora é utilizado para impulsionar o motor. [3]

Durante a queima dos combustíveis usados nos veículos, principalmente a gasolina por ser um combustível fóssil e um hidrocarboneto, dentre os gases de escape formados, está incluso os hidrocarbonetos não metano (NMHC), o oxigênio (O_2), o nitrogênio (N_2) e água em forma de vapor (H_2O). Entretanto, em uma combustão, além desses gases, também são gerados outros gases que são mais prejudiciais à saúde como o monóxido de carbono (CO) que mesmo em uma concentração pequena pode causar prejuízos à saúde. Apesar de não ser considerado um gás prejudicial à saúde, já que a atmosfera é composta também por esse gás, o CO_2 é considerado um poluente devido ao seu efeito em contribuir com a formação do efeito estufa. No Quadro (3) a seguir será apresentado as quantidades desses gases que são gerados pelo processo de combustão dos veículos. [9]

3.6 COMPARAÇÃO TORQUE COM ROTAÇÃO

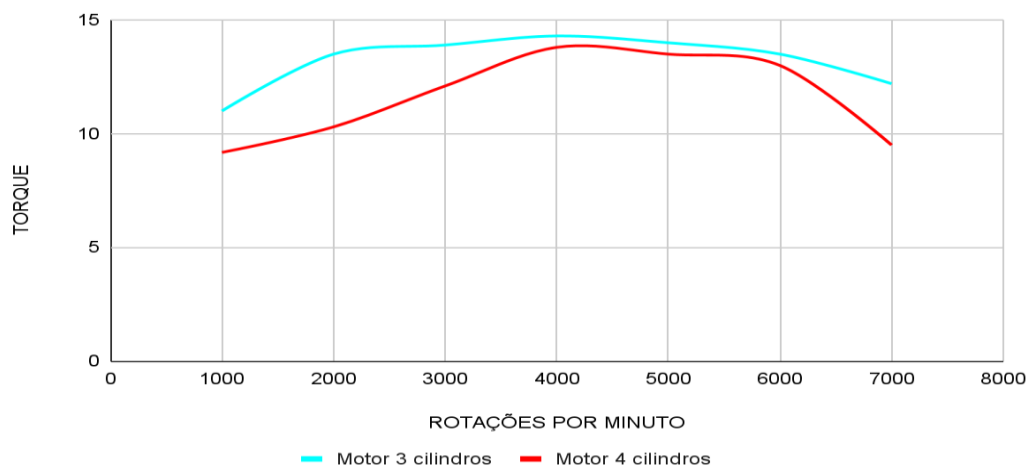


Figura 4 - saída de potência no motor 3 cilindros. Fonte:[3]

Com base nas curvas de torque e potência apresentadas na Figura 5, é possível observar que o motor de três cilindros produz um nível de torque mais alto em todo o seu funcionamento, mas principalmente em uma faixa mais baixa de rotação. Isso porque além de ter um cilindro a menos, esse fato facilita a obtenção de potência devido à redução na dissipação de calor, de atrito entre as peças móveis e o uso de comando de válvula variáveis que beneficiam essa obtenção de potência. Além disso, a curva de potência do motor de três cilindros não apresenta mudanças muito bruscas à medida que as rotações do motor aumentam, provando serem mais rápidos e eficientes em baixas rotações do que os motores de quatro cilindros. [3]

Quadro 3: Resultado de emissões de poluentes. Fonte: [3, 10-13] (Adaptado pelo autor.)

Modelo	Cilindros	Ano	Emissões de Poluentes				Consumo Energético (MJ/km)	Selo CONPET de Eficiência Energética
			Poluentes		Gás Efeito Estufa			
			NMHC (g/km)	CO (g/km)	Etanol CO2 (g/km)	Gasolina CO2 (g/km)		
Modelo 1	4	2019	0,031	0,482	0	95	1,56	SIM
Modelo 1	3	2020	0,027	0,275	0	87	1,40	SIM
Modelo 2	4	2016	0,027	0,416	0	97	1,58	SIM
Modelo 2	3	2017	0,022	0,289	0	95	1,56	SIM

Nota: “NMHC”: Hidrocarbonetos não Metano;
“CO”: Monóxido de Carbono;
“CO2”: Dióxido de Carbono

No quadro 3 é apresentado os valores de emissões de poluentes medidos pelo INMETRO para os dois casos de modelos analisados, é possível observar que em ambos os casos aconteceu uma redução nos níveis de poluentes no modelo que possuía 3 cilindros, mostrando que os modelos com 3 cilindros conseguem gerar menos poluentes para a atmosfera e em ambos os casos, o modelo de 3 cilindros teve menor consumo energético.

Quadro 4: Ficha técnica dos veículos (Modelo 1).
Fonte: [14,15] (Adaptado pelo autor)

Versão	1.0	1.0
Ano	2019	2020
Cilindros	4	3
Velocidade Máxima	167 km/h	167 km/h
Aceleração 0-100 km/h	13,3 s	13,3 s
Potência Máxima	80 cv (E) 78 cv (G)	82 cv (E) 78 cv (G)
Torque Máximo	9,8 kgfm (E) 9,5 kgfm (G)	10,6 kgfm (E) 9,6 kgfm (G)
Regime Torque Máximo	5200 rpm	4100 rpm
Peso/Potência	12,93 kg/cv	12,79 kg/cv
Potência específica	80,1 cv/L	82,1 cv/L
Peso/Torque	105,5 kg/kgfm	99 kg/kgfm
Diâmetro do Cilindro	71,1 mm	74 mm
Curso do Pistão	62,9 mm	77,49 mm
Consumo urbano (G)	12,9 km/L	13,9 km/L
Consumo rodoviário (G)	15,3 km/L	16,7 km/L
Consumo urbano (E)	8,8 km/L	9,9 km/L
Consumo rodoviário (E)	10,5 km/L	11,7 km/L

Quadro 5: Ficha técnica dos veículos (Modelo2).
Fonte: [16,17] (Adaptado pelo autor)

Versão	1.0	1.0
Ano	2016	2017
Cilindros	4	3
Velocidade Máxima	163 km/h	170 km/h
Aceleração 0-100m/h	13,4 s	12,3 s
Potência Máxima	76 cv (E) 72 cv (G)	82 cv (E) 75 cv (G)
Torque Máximo	10,6 kgfm (E) 9,7 kgfm (G)	10,4 kgfm (E) 9,7 kgfm (G)
Regime Torque Máximo	3850 rpm	3000 rpm
Peso/Potência	12,45 kg/cv	12,17 kg/cv
Potência específica	76,1 cv/L	82,1 cv/L
Peso/Torque	89,2 kg/kgfm	96 kg/kgfm
Diâmetro do Cilindro	67,1 mm	74,5 mm
Curso do Pistão	70,6 mm	76,4 mm
Consumo urbano (G)	11,6 km/L	12,9 km/L
Consumo rodoviário (G)	13,9 km/L	14,5 km/L
Consumo urbano (E)	7,7 km/L	8,8 km/L
Consumo urbano (E)	9,6 km/L	10,3 km/L

Nota: “E” representa o Etanol e “G” representa a Gasolina.

Nos quadros (4) e (5) são apresentadas as fichas técnicas reunindo os principais parâmetros que são influenciados pela substituição dos motores, pode ser observado que nos dois casos houve uma redução nos níveis de consumo de combustível, tanto na gasolina quanto no etanol, peso e regime de torque máximo, ou seja, a rotação do motor ao qual ele entre aquele torque. Já em termos de potência e torque aconteceu um aumento, provando que esses motores de 3 cilindros conseguem ser mais potentes. Também é possível observar que houve um aumento do diâmetro e no curso do pistão para que seja mantida a mesma cilindrada em ambos os motores como abordado na equação (1).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

No final da década de 60 e início da de 70, os veículos tinham uma variedade de motores, desde motores pequenos até motores de oito cilindros em V. A prioridade era a potência e durabilidade dos motores, sem se preocupar com consumo de combustível ou emissões de poluentes. Com a escassez de gasolina nos anos 80, houve um desenvolvimento tecnológico para reduzir o consumo, surgindo assim motores movidos a etanol. O aumento da frota de veículos e a poluição do ar nas cidades levaram à criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), estabelecendo limites de emissões e incentivando a evolução tecnológica dos motores. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) regulamenta as emissões de gases poluentes, com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) sendo responsável pela fiscalização. Para vender veículos no Brasil, os fabricantes devem obrigatoriamente seguir essas normas de emissões.

A partir dos dados obtidos através do método de revisão da literatura foi possível analisar se a substituição dos motores de 4 cilindros por motores de 3 cilindros é realmente benéfica para os carros populares e a proposta que eles possuem em relação à redução de consumo de combustível, emissão de poluentes e melhoria de eficiência.

Os dados extraídos dos artigos revelaram uma maior eficiência dos novos motores de 3 cilindros em linha devido a sua construção mais compacta e utilização de tecnologias para beneficiar seu desempenho e consumo de combustível. Foram analisados dois veículos que se enquadram nos quesitos de terem passado pelo processo de substituição dos motores de 4 para 3 cilindros, serem carros populares e estarem dentro dos mais vendidos nos últimos anos.

A partir dos dados técnicos de dois veículos, observa-se que o modelo com motor de 3 cilindros apresentou menor consumo de combustível, maior desempenho em relação a entrega de torque e potência em faixas de rotação mais baixas e menores níveis de emissões de gases poluentes na atmosfera. Devido à redução no número de cilindros estes motores conseguem ser mais leves e compactos em comparação ao antecessor de 4 cilindros. Também foi identificado que houve uma melhoria no consumo de combustível, com uma média de 13,4 km/l, em comparação com os 12,2 km/l dos motores de 4 cilindros. Além disso, foi observada uma redução nas emissões de poluentes, com os motores de 3 cilindros emitindo, em média 0,282 g/km de CO e 91g/km de CO₂, contra 0,449 g/km e 96g/km de CO₂ dos motores de 4 cilindros.

No Brasil, em dezembro de 2023, segundo a Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), a frota brasileira de veículos chegou a 119.227.657 unidades, sendo que 60.459.290 unidades são de veículos populares. Se for levado em consideração essa frota de carros no Brasil passando por essa substituição de 4 para 3 cilindros, seria obtida a seguinte redução média de poluentes por veículo quilômetro. [18]

Utilizando o Quadro 3 de emissões de poluentes, considerando uma média de redução de gases poluentes entre os dois modelos analisados para cada gás e considerando os dados da SENATRAN sobre a frota brasileira de veículos e a média de deslocamento anual de um veículo popular sendo de 15.000Km, será estimada a redução em tons de toneladas de gases poluentes considerando a redução de motores 4 cilindros para 3 cilindros.

Quadro 6: Redução de gases poluentes na frota nacional de veículos. Fonte: [18] (Adaptado pelo autor)

	Redução de gases poluentes		
	NMHC (g/km)	CO (g/km)	CO ₂ (g/km)
Unidade	0,0045	0,167	5
Frota	272.000	10.096.000	302.296.450

Se for considerado que cada um dos veículos que compõem a frota nacional de carros passando por essa substituição de motores 4 cilindros por motores de 3 cilindros, aconteceria uma redução expressivamente alta, como mostrado no Quadro 5. Onde haveria uma redução de cerca de 0,272 toneladas de Hidrocarbonetos não Metano, 10,1 toneladas de Monóxido de Carbono e 302,3 toneladas de Dióxido de Carbono, uma redução considerável para a frota nacional por quilômetro.

De acordo com a SENATRAN, um veículo popular, em média, percorre uma distância de 15.000Km anualmente, considerando os dados de emissão de poluentes do Quadro (3) e a redução desses poluentes na frota nacional de veículos mostrada no Quadro (5) pode-se obter uma estimativa da quantidade de gases poluentes que seria reduzida se essa frota passasse por essa substituição de motores multiplicando a quantidade de redução de poluentes total da frota nacional pelo deslocamento média dessa frota anualmente.

Quadro 7: Redução de gases poluentes na frota nacional. Fonte: Autoria Própria

	Redução de poluentes na frota nacional por quilômetro (t/Km)	Deslocamento médio anual da frota nacional (Km)	Redução de poluentes na frota nacional anualmente (t)
NMHC	0,272	15.000	4.080
CO	10,1	15.000	151.500
CO2	302,3	15.000	4.534.500

Nota: "t": Toneladas; "t/Km": toneladas por quilômetro

É possível observar uma grande diminuição na emissão de NMHC, CO E CO2. Ou seja, a substituição de motores 4 cilindros por motores de 3 cilindros se mostra ser muito vantajosa em termos de sustentabilidade e preocupação com a questão ambiental.

Estes motores por possuírem 1 cilindro a menos, é necessário fazer ajustes no diâmetro do cilindro e no curso do pistão, de acordo com a equação (1), para que ainda seja atingida a cilindrada necessária para o motor. A partir do quadro (4) e (5), é possível verificar que houve um aumento no diâmetro do cilindro e no curso do pistão quando comparado o modelo de 4 cilindros com o modelo de 3 cilindros. No modelo 1 o diâmetro do cilindro passou de 71,1 mm para 74 mm e o curso do pistão passou de 62,9 mm para 77,49 mm. Já no modelo 2, o diâmetro do cilindro foi aumentado de 67,1 mm para 74,5 mm e o curso do pistão de 70,6 mm para 76,4 mm.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a substituição de motores de 4 cilindros por motores de 3 cilindros, analisando se essa modificação trouxe benefícios em termos de eficiência energética e emissões de poluentes. Com a crescente busca por eficiência energética, essa transição se torna de grande relevância, especialmente em face das crescentes preocupações ambientais. Com base em dados técnicos coletados nesta pesquisa e apresentados nos Quadros (4) e (5), constatou-se que o menor consumo de combustível dos motores de 3 cilindros, aliado à sua leveza, contribui para a redução dos custos operacionais. Além disso, as menores emissões de poluentes apresentadas no Quadro (3) representam um avanço significativo na diminuição do impacto ambiental dos veículos.

Esta investigação é importante para um melhor entendimento das novas tecnologias empregadas em automóveis modernos. Os resultados favorecerem a adoção de motores cada vez mais eficientes e menos poluentes. Além disso, a pesquisa contribui para investigações futuras sobre o tema, fornecendo comparações que podem ser utilizadas por novos pesquisadores interessados em soluções energéticas sustentáveis e para proprietários que buscam conhecimento mais detalhado.

Essa transição desempenha um papel fundamental na redução do impacto ambiental do setor automotivo, em concordância com os objetivos globais de sustentabilidade e eficiência energética, como apresentado nos resultados da pesquisa, esses motores de 3 cilindros prometem proporcionar melhor economia de combustível, desempenho superior em baixas rotações e menores níveis de emissões de poluentes. Essas características têm impulsionado as vendas de modelos equipados com esses motores, que atendem às diretrizes de emissões estabelecidas pelo CONAMA e satisfazem as expectativas dos consumidores em relação a veículos populares.

Entretanto, é fundamental considerar os aspectos relacionados à durabilidade e manutenção. A presença de um número ímpar de cilindros gera um nível de vibração e ruído superior ao dos motores de 4 cilindros, resultando em um desbalanceamento das forças durante os diferentes ciclos de funcionamento. Quanto à durabilidade e manutenção, esses motores possuem mais tecnologias integradas e dimensões reduzidas, o que levanta questões sobre a necessidade de manutenções mais rigorosas e que se não for seguida pode comprometer a sua durabilidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Renato Gavassa Lima, Evolução dos motores a combustão interna ciclo Otto no Brasil. 2017.
- [2] Franco Brunetti, Motores de Combustão interna, volume 1. 2012.
- [3] MIGUEL BENTO AMORIM NETO, SERGIO RICARDO DOS SANTOS JUNIOR. MOTOR TRÊS CILINDROS: o impacto na performance dos motores 1.0. 2018.
- [4] GABRIEL TAVARES, LUIS GUSTAVO DIAS FERMIANO, MARLON ALVES FONSECA. MOTORES DOWNSIZING. 2022.
- [5] LINIKER PEREIRA DE FARIA, SISTEMA DE ARREFECIMENTO MOTOR CICLO OTTO: comparativo entre dois sistemas. 2022.
- [6] Imagem Ilustrativa Ciclo Otto. Disponível em: <https://www.motonline.com.br/noticia/comandos-em-acao/>
- [7] Imagem Ilustrativa Motor de 3 cilindros de ciclo otto. Disponível em: <https://blog.abmpeças.com/motores-3-cilindros-uma-paixao-ou-desafio-para-os-mecanicos/>
- [8] Imagem Ilustrativa Motor de 4 cilindros de ciclo otto. Disponível em: <https://www.tupy.com.br/solucoes/componentes-estruturais-e-pecas-de-engenharia/>
- [9] PAULO HENRIQUE DE LIRA JÚNIOR, SIMULAÇÃO VIA GT-POWER DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA MECÂNICA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA SOB CONDIÇÕES DE CICLOS DE TESTE PADRÃO EPA. 2019.
- [10] Quadro de Consumo/Eficiência, 2016. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2016.pdf
- [11] Quadro de Consumo/Eficiência, 2017. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2017.pdf
- [12] Quadro de Consumo/Eficiência, 2019. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2019.pdf.
- [13] Quadro de Consumo/Eficiência, 2020. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf
- [14] Ficha técnica (Modelo 1). 2019. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=9017>
- [15] Ficha técnica (Modelo 1), 2020. disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=12840>.
- [16] Ficha técnica (Modelo 2), 2016. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=2769>.
- [17] Ficha técnica (Modelo 2), 2017. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=5628>.
- [18] Estudo Sobre Arrecadação de IPVA e Sua Proporcionalidade em Relação à Frota de Veículos em Circulação e à População Brasileira. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1b1PIi15QRGV2P-1uu1LP8z8xux9p-opZ/view>
- [19] Resolução do CONAMA nº 315 de 29 de outubro de 2002.
- [20] Carros mais vendidos de 2022. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/mercado/noticia/2023/01/veja-os-50-carros-mais-vendidos-do-brasil-em-2022.ghhtml>.