

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUCCA CHRISTY RODRIGUES MARIANO

**DOWNSIZING NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA BRASILEIRA: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE OS MOTORES
1.0 TSI E 1.6 MSI**

Betim
2026

LUCCA CHRISTY RODRIGUES MARIANO

**DOWNSIZING NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA BRASILEIRA: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE OS MOTORES
1.0 TSI E 1.6 MSI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

Betim

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

M333d Mariano, Lucca Christy Rodrigues

Downsizing na indústria automotiva brasileira: um estudo de caso sobre a viabilidade técnica e econômica entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI / Lucca Christy Rodrigues Mariano. – 2026.

97 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2026.

Orientação: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

1. Motores de combustão interna. 2. Downsizing. 3. Eficiência energética. 4. Manutenção veicular. 5. Engenharia Mecânica. I. Mariano, Lucca Christy Rodrigues. II. Título

CDU: 629.33



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Mecânica

Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 16 dias do mês de julho do ano de 2026, às dezessete horas, nas dependências do IFMG – Campus Betim, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Bruno de Souza Baptista e demais membros, Felipe Augusto Rocha da Silva e Guilherme Lima José de Siqueira. Nesta ocasião o discente LUCCA CHRISTY RODRIGUES MARIANO do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, com registro acadêmico de número 0060829 do IFMG – Campus Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado DOWNSIZING NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA BRASILEIRA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE OS MOTORES 1.0 TSI E 1.6 MSI e foi APROVADO, com 92,5 (noventa e dois vírgula cinco) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pósdefesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pósdefesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 30 dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às dezoito horas. Para constar, eu, Bruno de Souza Baptista, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelo discente e membros da banca examinadora.

Betim, 23 de julho de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista, Professor**, em 23/07/2026, às 18:53, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Lima José de Siqueira, Professor Visitante**, em 23/07/2026, às 18:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Augusto Rocha da Silva, Usuário Externo**, em 23/07/2026, às 20:57, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Primeiramente, dedico este trabalho a Deus, por ser a fonte de todo conhecimento, sabedoria e pela oportunidade de concluir este ciclo e superar todos os desafios. À minha família, dedico cada página deste esforço, pois sem o incentivo e as oportunidades que vocês me proporcionaram, este sonho não seria realidade. Obrigado por serem a base sobre a qual construí minha trajetória e por caminharem ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a **Deus**, que foi minha fonte de sabedoria e discernimento. A Ele devo cada oportunidade aberta em meu caminho e a força de vontade necessária para superar os desafios que pareciam intransponíveis, dando-me a coragem para persistir até o fim.

À minha **família**, meu porto seguro. À minha **esposa Nicolle**, expresso minha gratidão mais profunda por ser meu braço direito em toda esta trajetória; obrigado por compreender as noites em claro, o cansaço e por me apoiar incondicionalmente enquanto eu me dedicava aos estudos. Aos meus **pais Jesaias e Adriana**, agradeço pelo apoio constante, pela paciência infinita e pela compreensão diante da minha ausência física e mental durante este ciclo. Ao meu **irmão, Arthur**, cujo olhar de admiração sempre me motivou; obrigado por se inspirar em mim e por me colocar em um patamar que me desafiava a ser, todos os dias, a melhor versão de mim mesmo.

O próprio Senhor irá à sua frente e estará com você; Ele nunca o deixará, nunca o abandonará. Não tenha medo! Não desanime!
Deuteronômio 31:8

RESUMO

Este trabalho analisou a viabilidade técnica e econômica da tecnologia *downsizing* no mercado automotivo brasileiro por meio de um estudo comparativo entre os motores Volkswagen 1.0 TSI e 1.6 MSI. A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem aplicada, qualitativa e quantitativa, utilizando revisão bibliográfica, análise documental, fichas técnicas, dados oficiais de consumo, valores de revisões, preços de mercado e informações técnicas dos sistemas empregados em ambas as motorizações. Foram avaliados aspectos relacionados ao desempenho, eficiência energética, consumo de combustível, custos de manutenção, durabilidade, emissões e custo total de propriedade. Os resultados demonstraram que o motor 1.0 TSI apresenta melhor desempenho, principalmente devido à maior disponibilidade de torque em baixas rotações, além de menores valores de consumo nos modelos analisados. Em relação à manutenção preventiva, as diferenças de custo até os 60.000 km foram relativamente pequenas, embora o motor TSI possua maior complexidade construtiva e componentes que podem elevar os gastos em eventuais manutenções corretivas. A análise econômica mostrou que a vantagem do menor consumo depende do modelo, do tipo de percurso, do preço do combustível e da quilometragem anual. Quando os combustíveis apresentam preços semelhantes, o motor 1.0 TSI tende a compensar os custos adicionais por meio da economia de combustível. Entretanto, essa vantagem pode ser reduzida quando são considerados combustíveis de maior valor e baixa utilização anual. Conclui-se que a tecnologia *downsizing* é tecnicamente viável e apresenta benefícios claros de desempenho e eficiência, mas sua vantagem econômica não é igual para todos os perfis de uso. O motor 1.6 MSI permanece como alternativa adequada para usuários que priorizam simplicidade mecânica, previsibilidade de manutenção e menor complexidade construtiva.

Palavras-chave: downsizing; motor EA211; eficiência energética; custo total de propriedade; motor de combustão interna.

ABSTRACT

This study analyzed the technical and economic feasibility of downsizing technology in the Brazilian automotive market through a comparative assessment of the Volkswagen 1.0 TSI and 1.6 MSI engines. The research adopted an applied, qualitative, and quantitative approach, based on a literature review, documentary analysis, technical data sheets, official fuel consumption data, scheduled maintenance costs, market prices, and technical information regarding the systems used in both powertrains. The analysis considered performance, energy efficiency, fuel consumption, maintenance costs, durability, emissions, and total cost of ownership. The results showed that the 1.0 TSI engine offers better performance, mainly due to its higher torque availability at low engine speeds, as well as lower fuel consumption in the models evaluated. Regarding preventive maintenance, the cost differences up to 60,000 km were relatively small, although the TSI engine has a more complex design and components that may increase expenses in the event of corrective maintenance. The economic analysis indicated that the benefit provided by lower fuel consumption depends on the vehicle model, driving conditions, fuel price, and annual mileage. When fuel prices are similar, the 1.0 TSI engine tends to offset its additional costs through fuel savings. However, this advantage may be reduced when more expensive fuels and low annual vehicle use are considered. It is concluded that downsizing technology is technically feasible and provides clear benefits in terms of performance and efficiency, although its economic advantage is not the same for all user profiles. The 1.6 MSI engine remains a suitable option for users who prioritize mechanical simplicity, predictable maintenance costs, and lower design complexity.

Keywords: downsizing; EA211 engine; energy efficiency; total cost of ownership; internal combustion engine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comparação de tamanhos entre motor aspirado e turbo com tecnologia downsizing, VW Passat 1999 e VW Jetta 2012.	17
Figura 2 – Gol com motorização 1.0 16V Turbo 2000.	18
Figura 3 – Parati com motorização 1.0 16V Turbo 2000.	19
Figura 4 – Motor Volkswagen 1.0 16V Turbo lançamento dos anos 2000.	19
Figura 5 – Exemplificação do funcionamento de um motor de Ciclo Otto.	28
Figura 6 – Comparativo de injeção direta e indireta.	30
Figura 7 – Comparativo do preço do petróleo desde 1972.	32
Figura 8 – Honda Civic Hatchback 1979 com motorização CVCC.	32
Figura 9 – Motor Honda CVCC, 1.5L, I4 1979.	33
Figura 10 – Sistema sobrealimentado com intercooler.	35
Figura 11 – Turbocompressor do motor 1.0 TSI.	35
Figura 12 – Motor Ford 1.0 Supercharger do Fiesta 2003.	37
Figura 13 – Ford Fiesta 1.0 Supercharger 2003.	37
Figura 14 – Comparativo do LSPI e uma Combustão Normal.	40
Figura 15 – Sistema de arrefecimento duplo do motor 1.0 TSI.	42
Figura 16 – Bomba d'água com dupla válvula termostática.	43
Figura 17 – Injeção Direta de Combustível, motor 1.0 TSI.	45
Figura 18 – Comando de válvula variável, motores 1.0 TSI.	46
Figura 19 – Comparativo das curvas de torque e potência dos motores Volkswagen Up! MPI e Up! TSI.	48
Figura 20 – Polia do Virabrequim montada do motor 1.0 TSI.	49
Figura 21 – Polia do Virabrequim do motor 1.0 TSI.	50
Figura 22 – Polia do Virabrequim do motor 1.6 MSI.	50
Figura 23 – Coxim hidráulico do motor 1.0 TSI.	51
Figura 24 – Coxim do motor 1.6 MSI.	51
Figura 25 – Polia trioal motores 3 cilindros família EA211.	52
Figura 26 – Correia dentada, motor família EA211.	54
Figura 27 – Comparativo do efeito lavagem nas válvulas de admissão de motores com injeção direta e indireta.	56
Figura 28 – Comparativo das velas de ignição em irídio e convencionais com eletrodo de cobre.	60

Figura 29 – Componentes da embreagem.....	60
Figura 30 – Comparativo de Curvas de Torque e Potência: Motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.	67
Figura 31 – Polo 1.0 TSI Automático 2021.....	68
Figura 32 – Virtus 1.0 TSI Automático 2021.....	68
Figura 33 – Golf 1.0 TSI Automático 2018.	69
Figura 34 – Carbonização das válvulas de admissão do motor 1.0 TSI.....	78
Figura 35 – Volkswagen Gol 1000.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de avaliação utilizados na comparação dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.	25
Tabela 2 – Comparativo do BMEP dos Motores da Família Volkswagen EA211.	39
Tabela 3 – Comparativo dos valores FIPE dos veículos com motores 1.0 TSI e 1.6 MSI	63
Tabela 4 – Comparativo da relação de marchas do Golf 1.0 TSI e 1.6 MSI, ambos manuais.	65
Tabela 5 – Comparativo de Desempenho: Golf 1.0 TSI vs. Golf 1.6 MSI.	66
Tabela 6 – Comparativo de consumo entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI com transmissões equivalentes.....	69
Tabela 7 – Comparativo de Custos de Revisões (Até 60.000 km).	72
Tabela 8 – Comparativo do gasto com gasolina em 60.000 km.....	74
Tabela 9 – Comparativo do gasto utilizando gasolina aditivada no TSI e comum no MSI somado aos custos de revisões até 60.000 km.....	75
Tabela 10 – Principais pontos de atenção: 1.6 MSI vs. 1.0 TSI.	77
Tabela 11 – Comparativo de Emissões de CO ₂ , NOx e HC entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.	81
Tabela 12 – Análise Comparativa do Custo Total de Propriedade (TCO): Motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.....	84
Tabela 13 – Viabilidade dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI conforme perfil de usuário.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

API – *American Petroleum Institute* (Instituto Americano de Petróleo)

BMEP – *Brake Mean Effective Pressure* (Pressão Média Efetiva ao Freio)

BSFC – *Brake Specific Fuel Consumption* (Consumo Específico de Combustível)

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CVCC – *Compound Vortex Controlled Combustion* (Combustão Controlada por Vórtice Composto)

EA211 – Família de motores de combustão interna desenvolvida pela Volkswagen

ECU – *Electronic Control Unit* (Unidade de Controle Eletrônico)

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

GDI – *Gasoline Direct Injection* (Injeção Direta de Gasolina)

GF-6 – Categoria de desempenho de óleos lubrificantes para motores a gasolina estabelecida pelo ILSAC

HC – Hidrocarbonetos

I4 – Configuração de motor com quatro cilindros em linha

IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

ILSAC – *International Lubricant Standardization and Approval Committee* (Comitê Internacional de Padronização e Aprovação de Lubrificantes)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LSPI – *Low Speed Pre-Ignition* (Pré-Igنيção em Baixa Rotação)

MPI – *Multi Point Injection* (Injeção Multiponto)

MSI – *Multi-Point Sequential Injection* (Injeção Sequencial Multiponto)

NOx – Óxidos de Nitrogênio

NVH – *Noise, Vibration and Harshness* (Ruído, Vibração e Aspereza)

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PFI – *Port Fuel Injection* (Injeção de Combustível no Pórtico)

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

SAE – *Society of Automotive Engineers* (Sociedade de Engenheiros Automotivos)

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TCO – *Total Cost of Ownership* (Custo Total de Propriedade)

TGDi – *Turbocharged Gasoline Direct Injection* (Injeção Direta de Gasolina Turboalimentada)

TSI – *Turbocharged Stratified Injection* (Injeção Estratificada Turboalimentada)

VTEC – *Variable Valve Timing and Lift Electronic Control* (Controle Eletrônico Variável de Sincronização e Levantamento das Válvulas)

VVT – *Variable Valve Timing* (Comando de Válvulas Variável)

VVT-i – *Variable Valve Timing with Intelligence* (Comando de Válvulas Variável com Controle Inteligente)

VW – Volkswagen

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

°C – Grau Celsius

π – Constante matemática pi

η – Eficiência térmica

τ – Torque medido no virabrequim

Q – Energia fornecida pelo combustível por unidade de tempo

$\dot{m}_{\text{comb.}}$ – Vazão mássica de combustível

PCI – Poder Calorífico Inferior

Vd – Volume de deslocamento do motor

bar – Unidade de pressão

cv – Cavalo-vapor

g/km – Grama por quilômetro

g/kWh – Grama por quilowatt-hora

kg/s – Quilograma por segundo

kgf.m – Quilograma-força metro

km – Quilômetro

km/h – Quilômetro por hora

km/l – Quilômetro por litro

l – Litro

N.m – Newton-metro

R\$ – Real brasileiro

rpm – Rotações por minuto

s – Segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa.....	20
1.2	Colocação do Problema.....	21
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivos gerais.....	21
1.3.2	Objetivos específicos.....	22
1.4	Organização do Trabalho	22
2	METODOLOGIA	24
2.1	Tipo de Pesquisa	24
2.2	Ferramentas	24
2.3	Critérios de Comparação	25
2.4	Procedimentos.....	26
2.5	Fundamentação Metodológica	26
2.6	Limitações.....	27
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
3.1	O Ciclo Otto e a Eficiência Térmica	28
3.2	Conceitos de Downsizing	30
3.3	Surgimento do Downsizing	31
3.4	Sobrealimentação e Turbocompressor	34
3.4.1	Pressão Média Efetiva ao Freio (BMEP)	37
3.4.2	Low Speed Pre-Ignition (LSPI)	39
3.5	Desafios Térmicos e Emissões de NO_x no Downsizing.....	41
3.6	Injeção Direta de Combustível (GDI).....	44
3.7	Comando de Válvulas Variáveis.....	46
3.7.1	Impacto da Configuração de Três Cilindros (NVH).....	48
3.7.2	Polias Trioais	52
3.8	Manutenção e Confiabilidade	53
3.8.1	Correia Dentada	54
3.8.2	Sistema de Injeção e Qualidade do Combustível	55
3.8.3	Óleo Lubrificante	57
3.8.4	Velas de Ignição	58

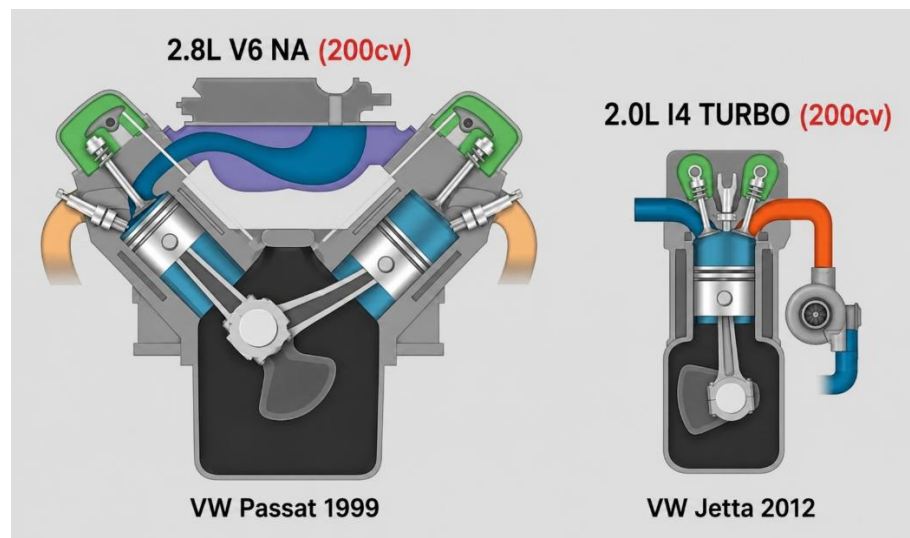
3.8.5	Embreagem.....	60
3.8.6	Filtro de Ar	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1	Custo de Aquisição	63
4.2	Comparativo de Desempenho: Torque e Potência.....	64
4.3	Eficiência Energética e Consumo	67
4.3.1	Análise da Eficiência: Brake Specific Fuel Consumption (BSFC).....	70
4.4	Análise de Custos de Manutenção	71
4.5	Durabilidade e Percepção de Mercado	76
4.6	Impacto Ambiental e Emissões.....	79
4.7	Análise do TCO (Total Cost of Ownership)	81
4.8	Síntese da Viabilidade por Perfil de Usuário.....	85
5	CONCLUSÃO	88
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	90
7	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria automotiva global tem passado por uma mudança significativa. Presenciamos cada vez mais carros que prometem ser eficientes, econômicos e, claro, menos poluentes (MARGONATO, 2026; BRUNETTI, 2012). Essa busca por soluções que entreguem performance sem agredir o meio ambiente tem feito os engenheiros repensarem como os motores são projetados (ANFAVEA, 2025).

Nesse contexto, o *downsizing* ganhou força como uma das estratégias mais relevantes. Basicamente, ele consiste na diminuição do tamanho do motor (cilindrada), frequentemente acompanhada pela redução do número de cilindros, mas sem perdas de potência ou torque, conforme representado na Figura 1. De fato, a ideia é justamente aprimorar esses pontos, utilizando tecnologias como o turbocompressor e a injeção direta de combustível (HEYWOOD, 2018; MARGONATO, 2026). Essa estratégia não visa apenas cumprir as rigorosas legislações ambientais, como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) no Brasil, mas também atender à demanda dos consumidores por veículos mais econômicos e com menores emissões (INMETRO, 2026; ANFAVEA, 2025).

Figura 1 – Comparação de tamanhos entre motor aspirado e turbo com tecnologia downsizing, VW Passat 1999 e VW Jetta 2012.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de Inteligência Artificial, 2026.

No Brasil, a evolução do downsizing é um reflexo da adaptação da indústria automotiva às exigências locais e às mudanças no perfil dos consumidores. Durante muitos anos, motores de baixa cilindrada eram associados a veículos de entrada e desempenho limitado, sendo popularmente vistos como “motores mancos”. Entretanto, essa percepção começou a mudar com o desenvolvimento de tecnologias que permitiram extrair maior eficiência e desempenho de motores menores.

Um dos principais marcos dessa evolução no mercado brasileiro ocorreu no início dos anos 2000, quando a Volkswagen introduziu o motor 1.0 16 válvulas Turbo, aplicado em modelos como o Gol e a Parati, conforme Figuras 2, 3 e 4. Esse motor representou uma solução pioneira ao utilizar a sobrealimentação em um motor de baixa cilindrada, demonstrando que era possível obter desempenho semelhante ao de motores maiores sem necessariamente aumentar o deslocamento volumétrico. Apesar de apresentar uma proposta inovadora para a época, essa tecnologia ainda possuía limitações relacionadas ao custo, manutenção e aceitação do consumidor brasileiro.

Figura 2 – Gol com motorização 1.0 16V Turbo 2000.



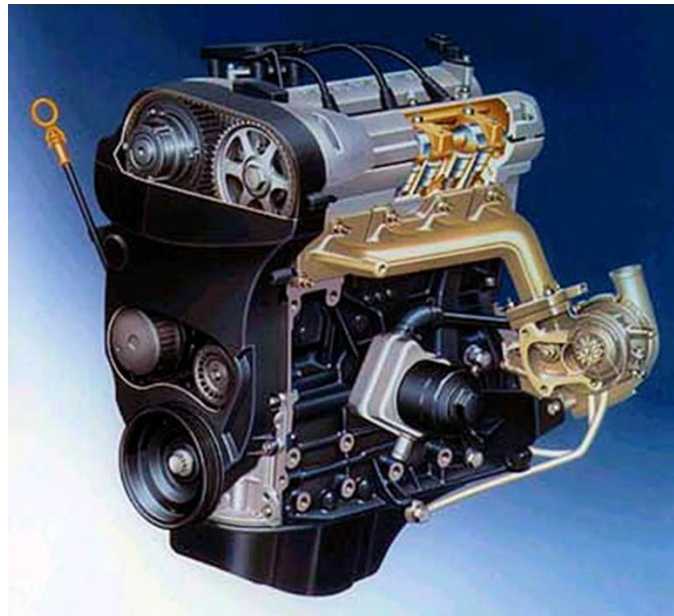
Fonte: Car Blog, 2000.

Figura 3 – Parati com motorização 1.0 16V Turbo 2000.



Fonte: Car Blog, 2000.

Figura 4 – Motor Volkswagen 1.0 16V Turbo lançamento dos anos 2000.



Fonte: Car Blog, 2000.

Com o avanço da eletrônica embarcada, dos sistemas de injeção e do controle do motor, o conceito de *downsizing* evoluiu significativamente. Atualmente, motores *downsizing* com *sobrealimentação*, como o 1.0 TSI da Volkswagen, 1.3 Turbo (T270) da Fiat e o 1.0 TGD_i da Hyundai, conseguem entregar desempenho equivalente ou superior ao de motores aspirados de maior cilindrada, mantendo menores níveis de consumo de combustível e emissões. Essa evolução demonstra como a engenharia automotiva passou a priorizar não apenas o tamanho do motor,

mas a eficiência global do conjunto, utilizando tecnologias como turbocompressor, *supercharger*, injeção direta de combustível e gerenciamento eletrônico avançado (INMETRO, 2026; MOTOR1.COM, 2017).

1.1 Justificativa

A transição para motores *downsized* no setor automotivo brasileiro leva à reflexão sobre o quão viável é essa nova tecnologia nos quesitos econômicos e técnicos. Comparar os motores aspirados com os de menor cilindrada turbo, como por exemplo o 1.0 TSI e o 1.6 MSI da Volkswagen, torna-se indispensável para entender os benefícios e malefícios que essas tecnologias apresentam no nosso mercado.

O motor 1.0 TSI, representante conhecido do *downsizing*, se destaca por entregar torque máximo já em baixas rotações e uma eficiência térmica elevada, características que o tornam uma opção atraente para o uso tanto na cidade quanto na estrada (MARGONATO, 2026; QUATRORODAS, 2016). Por outro lado, o motor 1.6 MSI, modelo aspirado de quatro cilindros, é amplamente conhecido por sua resistência, durabilidade e por uma manutenção geralmente mais simples e acessível. Não surpreende que ele ainda é muito escolhido entre certos consumidores e frotistas (O MECÂNICO, 2018; REDDIT, 2026).

Este estudo se justifica, portanto, pela necessidade de oferecer uma análise que vá além dos dados superficiais, buscando um olhar mais aprofundado e imparcial. O objetivo é proporcionar um auxílio aos consumidores, engenheiros e a própria indústria a fazerem escolhas mais informadas e conscientes. Ao comparar desempenho, consumo de combustível, custos de manutenção e a expectativa de vida útil desses motores, é esperado identificar qual tecnologia realmente oferece a melhor relação custo-benefício para as várias exigências do mercado brasileiro. Entender todos esses pontos de forma clara é, de fato, um passo essencial para o avanço da tecnologia no setor automotivo e para a engenharia mecânica no desenvolvimento de novas tendências, cada vez mais voltadas para a sustentabilidade e eficiência.

1.2 Colocação do Problema

Apesar do avanço tecnológico e da clara tendência à migração dos motores aspirados para os modelos com tecnologia *downsizing*, ainda é perceptível que existe uma dúvida entre os consumidores: os motores de baixa cilindrada turbo compensam em relação aos motores aspirados nos quesitos de durabilidade, economia, custo de aquisição e de manutenção?

No Brasil, essa questão ainda é discutível devido às condições severas às quais esses motores podem ser submetidos, como qualidade do combustível, perfil de manutenção de cada consumidor, temperaturas ambientes variadas, entre outros fatores. O motor 1.0 TSI se destaca pela proposta de maior eficiência e desempenho, enquanto o motor 1.6 MSI é valorizado por sua simplicidade construtiva e histórico de confiabilidade.

A escolha dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI da Volkswagen para este estudo foi realizada devido à possibilidade de comparação entre duas tecnologias distintas dentro da mesma fabricante e família de motores. Essa escolha reduz a influência de fatores externos relacionados ao projeto do veículo, como diferenças de plataforma, peso, gerenciamento eletrônico e estratégias de desenvolvimento, permitindo uma análise mais direcionada dos impactos gerados pela adoção do *downsizing*. Embora existam outros motores turbo e aspirados disponíveis no mercado brasileiro, como os desenvolvidos por outras fabricantes, a comparação entre essas duas motorizações representa uma transição tecnológica clara entre o conceito tradicional de motor aspirado e a nova geração de motores *downsized*.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

Analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação da tecnologia *downsizing* no mercado automotivo brasileiro, realizando um estudo comparativo entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI da Volkswagen.

1.3.2 Objetivos específicos

São definidos os seguintes objetivos específicos para a consolidação do objetivo geral:

- Comparar as curvas de torque e potência de ambos os motores para avaliar o desempenho em diferentes regimes de rotação;
- Avaliar a eficiência energética e o consumo de combustível em ciclos urbanos e rodoviários, utilizando dados do mercado;
- Levantar os custos de manutenção preventiva e corretiva, identificando os principais componentes que impactam no orçamento do proprietário;
- Estudar a durabilidade e o tempo de vida de cada motor, comparando a confiança que o mercado tem neles com a forma que foram projetados;
- Entender as diferenças tecnológicas entre os motores.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em sete seções principais, estruturadas de modo a apresentar, inicialmente, o contexto e os fundamentos relacionados à tecnologia downsizing e, posteriormente, desenvolver a análise comparativa entre os motores Volkswagen 1.0 TSI e 1.6 MSI.

A primeira seção apresenta a introdução do trabalho, contextualizando a evolução dos motores de baixa cilindrada no mercado automotivo brasileiro e a aplicação da tecnologia downsizing. Também são apresentadas a justificativa da pesquisa, a colocação do problema e os objetivos geral e específicos que orientam o desenvolvimento do estudo.

A segunda seção descreve a metodologia empregada na pesquisa. Nela, são apresentados o tipo de estudo, as fontes e ferramentas utilizadas, os critérios adotados para a comparação das motorizações, os procedimentos de coleta e análise dos dados, a fundamentação metodológica e as limitações do trabalho.

A terceira seção reúne a fundamentação teórica necessária para a compreensão das tecnologias analisadas. São abordados os princípios de funcionamento dos motores de Ciclo Otto, a eficiência térmica, o conceito e a evolução do downsizing, os sistemas de sobrealimentação, a pressão média efetiva de freio, o

fenômeno de pré-ignição em baixa rotação, os desafios térmicos e ambientais, a injeção direta de combustível, o comando variável de válvulas, as polias triovais, os efeitos da configuração de três cilindros e os aspectos relacionados à manutenção e à confiabilidade.

A quarta seção apresenta os resultados e as discussões obtidos por meio da comparação entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI. A análise contempla o desempenho, o consumo e a eficiência energética, os custos de manutenção, a durabilidade, a percepção do mercado, as emissões, o custo total de propriedade e a viabilidade de cada motorização para diferentes perfis de utilização.

A quinta seção apresenta as conclusões do estudo, retomando os objetivos propostos e reunindo os principais resultados técnicos, econômicos e ambientais encontrados durante a análise. Nessa etapa, é discutida a viabilidade da tecnologia downsizing em comparação aos motores aspirados, considerando as condições e características do mercado brasileiro.

A sexta seção apresenta sugestões para trabalhos futuros, indicando possibilidades de aprofundamento do tema por meio de ensaios experimentais, análises adicionais e estudos envolvendo outras motorizações e condições de utilização.

Por fim, a sétima seção reúne as referências utilizadas para a fundamentação e o desenvolvimento deste trabalho.

2 METODOLOGIA

Este trabalho utiliza uma metodologia de caráter aplicado, com abordagens qualitativa e quantitativa, apresentando objetivos descritivos e explicativos. A pesquisa foi estruturada a partir de um estudo de caso comparativo entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI da Volkswagen, focando na viabilidade técnica e econômica da tecnologia downsizing no cenário brasileiro. O processo foi dividido em três etapas principais: coleta de dados técnicos e de desempenho (fichas técnicas e manuais), levantamento de custos operacionais e de manutenção (dados de mercado e revisões) e, por fim, a análise comparativa dos resultados obtidos para determinar a relação custo-benefício de cada motorização.

2.1 Tipo de Pesquisa

Quanto à sua natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois busca gerar conhecimentos para aplicação prática e solução de problemas específicos no setor automotivo. Em relação à abordagem do problema, o estudo é qualitativo, ao analisar as características construtivas e tecnológicas dos motores, e quantitativo, ao processar dados numéricos de torque, potência, consumo de combustível e custos de manutenção.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa é descritiva ao detalhar o funcionamento das tecnologias envolvidas, e explicativa ao buscar identificar os fatores que determinam a viabilidade econômica e técnica de uma motorização em detrimento da outra. O procedimento técnico adotado baseia-se em uma pesquisa bibliográfica e documental, utilizando fontes oficiais de fabricantes, órgãos reguladores e literatura técnica especializada.

2.2 Ferramentas

Para a realização deste estudo, foram utilizadas ferramentas de coleta e análise de dados técnicos e econômicos. As principais fontes de informação incluíram as fichas técnicas oficiais fornecidas pela Volkswagen do Brasil, manuais de proprietário e de oficina da família de motores EA211, além dos relatórios de consumo de combustível do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) Veicular do INMETRO.

Para a análise econômica, foram consultadas tabelas de preços públicos de peças e planos de revisões das concessionárias, bem como dados de mercado para estimar custos de propriedade e manutenção.

2.3 Critérios de Comparação

O desenvolvimento da pesquisa seguiu uma sequência estruturada de análise, considerando critérios técnicos e econômicos para comparação entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI. Os indicadores utilizados foram definidos com base nos objetivos do trabalho e na literatura técnica relacionada à eficiência de motores de combustão interna, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de avaliação utilizados na comparação dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.

Critério analisado	Indicadores utilizados	Fonte dos dados
Desempenho	Torque, potência, aceleração, retomadas	Testes automotivos e fichas técnicas
Eficiência energética	Consumo de combustível, BSFC (Consumo Específico de Combustível)	INMETRO e literatura técnica
Viabilidade econômica	Revisões, peças, TCO (Custo total de propriedade)	Volkswagen e dados de mercado
Durabilidade	Componentes críticos e manutenção	Literatura técnica e dados de mercado
Impacto ambiental	CO2, NOx, material particulado	PROCONVE e artigos científicos
Percepção de mercado	Revenda e aceitação dos consumidores	Dados de mercado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A partir destes critérios foram realizadas as análises apresentadas no capítulo de resultados e discussão.

2.4 Procedimentos

O desenvolvimento da pesquisa seguiu um roteiro estruturado em quatro fases distintas:

1. Levantamento Bibliográfico: Pesquisa em livros, artigos científicos e revistas técnicas sobre os conceitos de downsizing, termodinâmica e sistemas de sobrealimentação.
2. Coleta de Dados Técnicos: Compilação de informações sobre torque, potência, eficiência térmica e tecnologias aplicadas (GDI, VVT, arrefecimento, turbo) de ambos os motores.
3. Levantamento de Custos: Pesquisa de valores referentes às revisões periódicas, peças de desgaste comum (filtros, velas, correias) e médias de consumo de combustível em diferentes ciclos.
4. Análise Comparativa: Cruzamento dos dados obtidos para avaliar o desempenho técnico frente ao custo de manutenção e operação, permitindo uma conclusão sobre a viabilidade de cada sistema.

2.5 Fundamentação Metodológica

A escolha por um estudo de caso comparativo fundamenta-se na necessidade de analisar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real. Segundo a literatura de metodologia científica, essa abordagem permite uma compreensão profunda de como diferentes variáveis tecnológicas impactam no resultado final para o usuário. A utilização de dados oficiais e bibliografia técnica especializada garante a validade e a reprodutibilidade dos critérios de comparação adotados neste trabalho.

2.6 Limitações

Este estudo limita-se à análise técnica e documental, não envolvendo a realização de testes práticos em dinamômetro ou ensaios de campo próprios por parte do autor. Os dados de desempenho e consumo utilizados são aqueles fornecidos pelos fabricantes e órgãos reguladores sob condições controladas de teste. Além disso, a análise de custos de manutenção foca em componentes de desgaste preventivo, não considerando falhas catastróficas ou variações regionais extremas nos preços de serviços e combustíveis.

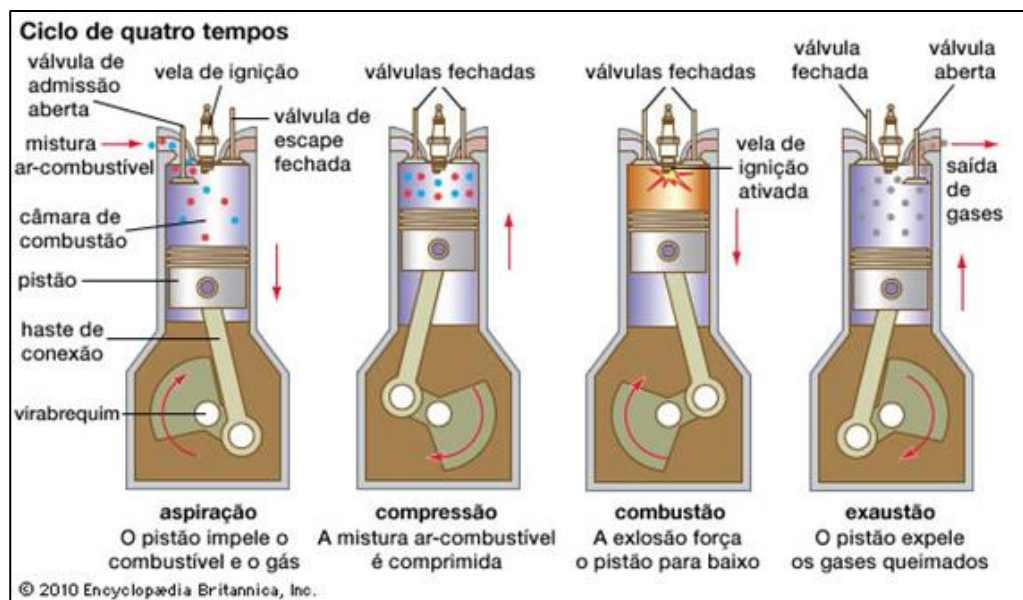
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para compreender como o *downsizing* impacta o desempenho e a eficiência dos veículos nos dias atuais, é necessário primeiro entender os princípios físicos e termodinâmicos que regem os motores de combustão interna. Esta seção aborda desde o ciclo de trabalho básico até as tecnologias que permitem a redução da cilindrada sem perda de desempenho.

3.1 O Ciclo Otto e a Eficiência Térmica

O funcionamento da grande maioria dos motores de ignição por centelha baseia-se no Ciclo Otto. Esse ciclo termodinâmico é composto por quatro etapas principais, também conhecidos como tempos: admissão, compressão, combustão e exaustão, conforme ilustrado na Figura 5. De acordo com Brunetti (2012), os motores com esse sistema de funcionamento são máquinas térmicas que convertem a energia química que vem do combustível em energia mecânica, passando por um processo de liberação de calor.

Figura 5 – Exemplificação do funcionamento de um motor de Ciclo Otto.



Fonte: Encyclopædia Britannica Inc, 2010.

A grande questão que a engenharia enfrenta para criar motores de Ciclo Otto é a dificuldade de conseguir uma eficiência térmica elevada. De forma

simplificada, a eficiência térmica é a relação entre o trabalho produzido pelo motor e a energia fornecida pelo combustível.

$$\text{Eficiência Térmica do Motor} = \frac{\text{Trabalho realizado no pistão por ciclo}}{\text{Entrada de energia de combustível por ciclo } (\dot{Q})}$$

Sendo:

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{Comb.}} \times PCI \quad (\text{EQ.01})$$

Onde:

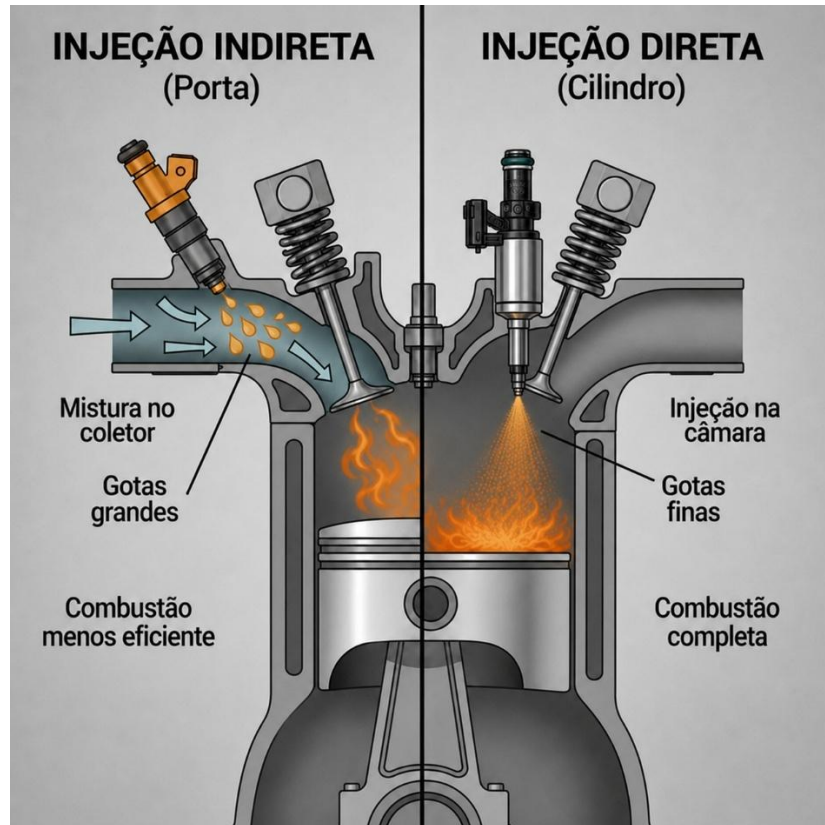
- $\dot{Q}$ é a energia do combustível por segundo;
- $\dot{m}_{\text{Comb.}}$ é a vazão mássica do combustível (kg/s);
- PCI (Poder Calorífico Inferior) é o fator que desconsidera o calor latente de vaporização da água.

De acordo com Heywood (2018), um fator crucial para essa eficiência é a taxa de compressão, sendo que, de forma geral, quanto maior a taxa, maior tende a ser o aproveitamento da energia proveniente da combustão. No entanto, em motores aspirados com injeção indireta, como o 1.6 MSI, essa elevação é limitada principalmente pela resistência do combustível à autoignição, fenômeno conhecido popularmente como “batida de pino”. Quando a temperatura e a pressão dentro da câmara de combustão atingem valores elevados, a mistura pode entrar em combustão antes do momento correto, prejudicando o funcionamento do motor.

Nos motores equipados com tecnologia *downsizing* em conjunto com a injeção direta de combustível, essa limitação é reduzida devido ao próprio funcionamento do sistema de injeção. Diferentemente dos motores com injeção indireta, o combustível é introduzido diretamente na câmara de combustão próximo ao final do processo de compressão, quando o ar já apresenta elevada temperatura devido à redução de volume. Como o combustível é injetado ainda em estado líquido, ocorre a absorção de energia térmica durante sua vaporização, utilizando o calor latente de vaporização para reduzir a temperatura da mistura presente na câmara. Esse resfriamento interno diminui a tendência à detonação, permitindo a utilização de maiores taxas de compressão e melhores condições de eficiência térmica mesmo em

motores submetidos a maiores pressões de trabalho (MARGONATO, 2026). A Figura 6 representa a comparação da injeção direta e indireta nos motores de Ciclo Otto.

Figura 6 – Comparativo de injeção direta e indireta.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de Inteligência Artificial, 2026.

3.2 Conceitos de Downsizing

O conceito downsizing pode ser traduzido literalmente como "redução de tamanho". Na indústria automotiva, essa estratégia consiste em utilizar motores menores para realizar o mesmo trabalho que motores maiores faziam anteriormente. A ideia não é apenas diminuir o peso do conjunto em si, mas também, reduzir as perdas internas do motor ao se reduzir o número de cilindros.

Conforme explica Heywood (2018), motores de maior cilindrada operando em condições de baixa carga, como durante velocidades constantes ou utilização urbana, apresentam maiores perdas por bombeamento (pumping losses). Isso ocorre porque, para controlar a quantidade de ar admitida, o motor utiliza a borboleta de aceleração parcialmente fechada, criando uma restrição no fluxo de admissão e aumentando o trabalho necessário para movimentar o ar para dentro dos cilindros.

Em um motor de menor cilindrada, a quantidade de ar necessária para produzir determinada potência é menor quando comparada a um motor de maior volume. Dessa forma, para realizar o mesmo trabalho em uma condição equivalente de utilização, esse motor pode operar com uma abertura maior da borboleta de aceleração, reduzindo a restrição na admissão e, conseqüentemente, as perdas associadas ao bombeamento. Além disso, quando aplicada a sobrealimentação, essa vantagem é ampliada, pois o turbocompressor permite aumentar a massa de ar admitida nos momentos de maior demanda, possibilitando que um motor compacto entregue potência e torque semelhantes aos de motores maiores.

Além da redução das perdas por bombeamento, a diminuição da cilindrada e do número de cilindros contribui para a redução das perdas mecânicas internas, uma vez que há menor quantidade de componentes móveis em contato e menor massa sendo movimentada durante o funcionamento do motor. Essa combinação entre menor volume, redução de atrito e utilização de tecnologias como sobrealimentação e injeção direta é um dos principais fundamentos da eficiência dos motores *downsized* modernos (BRUNETTI, 2012).

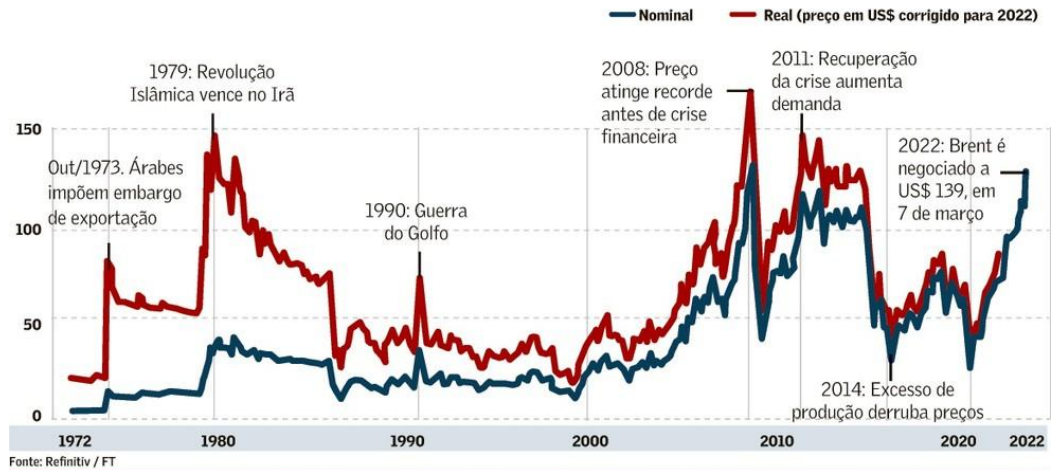
3.3 Surgimento do Downsizing

O conceito de *downsizing* não é uma inovação recente, mas sim o resultado de décadas de mudanças econômicas, ambientais e regulatórias que levaram a indústria automotiva a buscar novas formas de aumentar a eficiência dos motores de combustão interna. Historicamente, um dos principais pontos de mudança ocorreu durante as crises do petróleo na década de 1970 (1973 e 1979), quando a escassez de combustível e a disparada dos preços tornaram os motores de grande cilindrada, comuns nos Estados Unidos e na Europa, economicamente inviáveis para o consumidor médio, conforme demonstrado na Figura 7. Esse cenário impulsionou a busca por veículos mais econômicos e com motores de menor cilindrada (O GLOBO, 2016).

Figura 7 – Comparativo do preço do petróleo desde 1972.

Preço do petróleo perto de recorde histórico

US\$ por barril



Fonte: Valor Econômico, 2022.

Nesse período, fabricantes europeias e japonesas passaram a desenvolver soluções voltadas à redução de consumo, utilizando motores menores e mais eficientes. Um exemplo dessa redução foi o motor Honda CVCC, com versões 1.3L e 1.5L, 4 cilindros em linha e bloco e cabeçote em liga leve, aplicado no Civic comercializado nos Estados Unidos durante a década de 1970, como nas Figuras 8 e 9, que se destacou por apresentar uma solução de engenharia voltada à redução de emissões em uma época de maior preocupação ambiental.

Figura 8 – Honda Civic Hatchback 1979 com motorização CVCC.



Fonte: Bringa Trailer, 2022.

Figura 9 – Motor Honda CVCC, 1.5L, I4 1979.



Fonte: Bringa Trailer, 2022.

No mercado brasileiro, essa evolução também ocorreu de forma gradual, com modelos como o Chevrolet Chevette Junior 1.0 (1992), Ford Escort Hobby 1.0 (1994) e Fiat Uno Turbo 1.4 (1994), que demonstraram diferentes aplicações da estratégia de reduzir o tamanho do motor, seja priorizando economia ou buscando maior desempenho por meio da sobrealimentação.

Entretanto, o conceito moderno de *downsizing*, caracterizado pela redução da cilindrada associada ao aumento significativo de desempenho, ganhou maior força principalmente a partir dos anos 2000. Com o aumento das exigências ambientais, especialmente na União Europeia, as montadoras passaram a buscar alternativas que permitissem reduzir emissões de CO₂ sem comprometer a expectativa de desempenho dos consumidores. Dessa forma, tecnologias como turbocompressor, supercharger, injeção direta e gerenciamento eletrônico avançado permitiram que motores de menor cilindrada entregassem desempenho semelhante ao de motores aspirados maiores (ISENSTADT, 2016).

No Brasil, a consolidação dessa tendência ocorreu posteriormente, mas de forma acelerada devido a fatores econômicos e regulatórios. Historicamente, motores de menor cilindrada também apresentaram vantagens comerciais devido à influência da capacidade volumétrica do motor em classificações tributárias e incentivos destinados a veículos mais eficientes. Dessa forma, a redução da cilindrada tornou-se uma estratégia interessante tanto para consumidores quanto para fabricantes.

Programas como o Inovar-Auto (2012-2017) e posteriormente o Rota 2030 estabeleceram metas de eficiência energética que incentivaram as montadoras a desenvolver tecnologias mais econômicas e menos poluentes (SCIELLO, 2019). Paralelamente, as fases L7 e L8 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) elevaram os requisitos de emissões, acelerando a substituição de motores aspirados de concepção mais antiga por soluções mais eficientes.

Nesse contexto, fabricantes como a Volkswagen passaram a aplicar tecnologias desenvolvidas globalmente no mercado brasileiro, como a família de motores EA211, que contempla versões aspiradas e turboalimentadas, incluindo motores como o 1.0 MPI, 1.6 MSI e 1.0 TSI. A evolução desses motores demonstra como o *downsizing* deixou de ser apenas uma estratégia para reduzir o tamanho do motor e passou a representar uma combinação de redução de perdas internas, aumento de eficiência e utilização de sistemas avançados de controle. Portanto, o surgimento e consolidação dessa tecnologia no Brasil não ocorreram apenas como uma opção tecnológica, mas como uma resposta às necessidades da indústria automotiva em atender às exigências ambientais, econômicas e de desempenho impostas pelo mercado nacional.

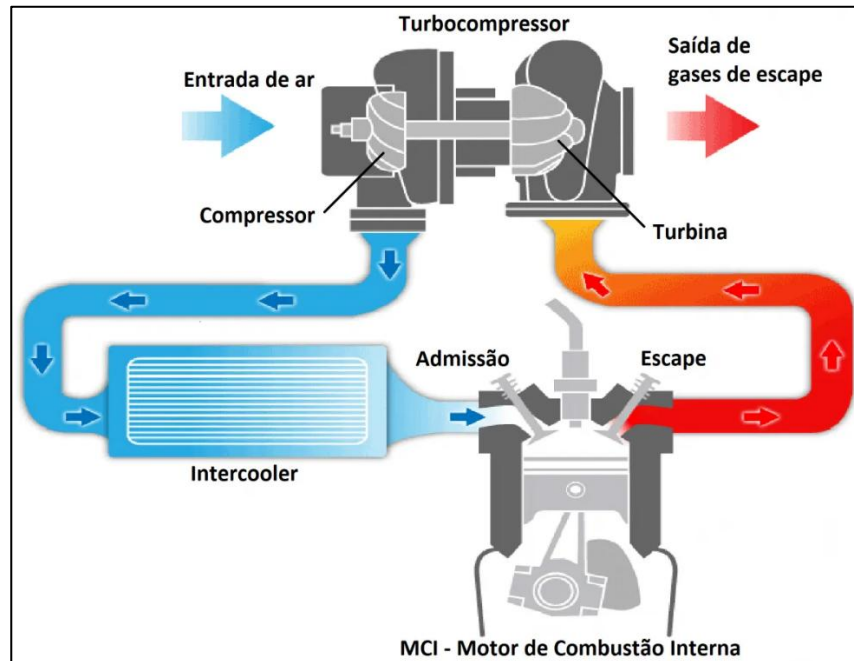
3.4 Sobrealimentação e Turbocompressor

Para que um motor de menor tamanho consiga entregar uma potência equivalente ou até superior à de um motor maior, é necessário aumentar a quantidade de ar admitida pelo conjunto. Nesse contexto, a sobrealimentação surge como uma das principais estratégias para viabilizar o *downsizing*. Esse processo pode ser realizado principalmente por meio de turbocompressores ou compressores mecânicos.

No caso do turbocompressor, o sistema utiliza a energia dos gases de escape, que seria desperdiçada, para movimentar uma turbina conectada a um compressor. Esse compressor é responsável por aumentar a pressão do ar admitido, permitindo que uma maior massa de oxigênio entre nos cilindros. Consequentemente, o sistema de gerenciamento do motor consegue realizar uma maior quantidade de injeção de combustível, resultando em uma combustão com maior liberação de energia e, consequentemente, aumento de potência e torque, conforme apresentado

na Figura 10 e exemplificado na Figura 11 com o turbocompressor do Up! 1.0 TSI 2020.

Figura 10 – Sistema sobrealimentado com intercooler.



Fonte: LD AUTO Sobrealimentação e o turbocompressor, 2026.

Figura 11 – Turbocompressor do motor 1.0 TSI.



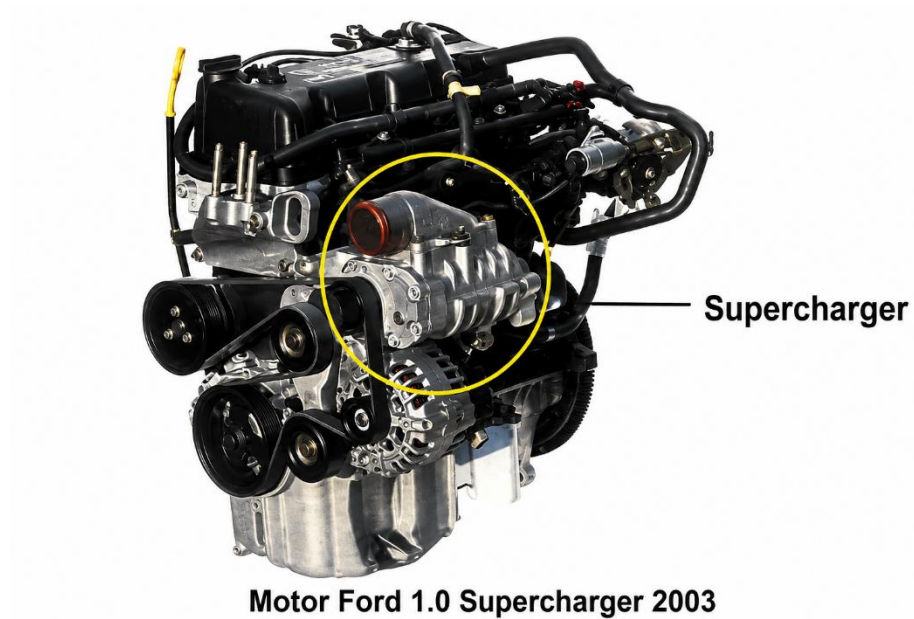
Fonte: Catálogo de Peças Volkswagen, 2020.

De acordo com Margonato (2026), o turbocompressor é um dos principais elementos que viabilizam com que a tecnologia *downsizing* alcance elevados níveis de desempenho, pois possibilita que motores menores apresentem uma pressão média efetiva (BMEP) superior quando comparados a motores aspirados de maior cilindrada. No caso do motor 1.0 TSI, essa característica permite que o torque máximo seja alcançado em rotações mais baixas, principalmente devido à entrada em funcionamento do turbocompressor em torno de 1.500 rpm. A partir desse regime, a turbina passa a fornecer maior pressão de admissão, aumentando a massa de ar disponível dentro dos cilindros e permitindo uma entrega antecipada de torque. Dessa forma, a resposta mais rápida em baixas rotações não ocorre apenas pela menor cilindrada do motor, mas principalmente pela capacidade do sistema de sobrealimentação em elevar o enchimento dos cilindros em regimes onde um motor aspirado possui maior limitação.

Em motores aspirados, como o 1.6 MSI, a admissão de ar depende principalmente da pressão atmosférica e do movimento dos pistões para preencher os cilindros. Como não existe um sistema forçando a entrada de ar, o aumento da entrega de torque depende mais diretamente do aumento da rotação do motor. Já em motores turboalimentados, o ar admitido chega previamente comprimido, permitindo maior eficiência volumétrica e melhor aproveitamento da combustão (QUATRO RODAS, 2016).

Além do turbocompressor, outra forma de sobrealimentação utilizada na indústria automotiva é o compressor mecânico, também conhecido como supercharger. Diferentemente do turbocompressor, que utiliza a energia dos gases de escape, o supercharger é acionado diretamente pelo motor, geralmente por meio de correia ou engrenagens, conforme Figura 12. Essa característica permite uma resposta mais imediata em baixas rotações, já que o sistema não depende da geração de fluxo dos gases de escape para funcionar. No mercado brasileiro, um exemplo dessa aplicação foi o Ford Fiesta Supercharger lançado em 2003, apresentado na Figura 13, que utilizava essa tecnologia para aumentar o desempenho de um motor compacto sem a necessidade de elevar significativamente sua cilindrada.

Figura 12 – Motor Ford 1.0 Supercharger do Fiesta 2003.



Fonte: Adaptado de Carros e Garagem, 2024.

Figura 13 – Ford Fiesta 1.0 Supercharger 2003.



Fonte: Carros e Garagem, 2024.

3.4.1 Pressão Média Efetiva ao Freio (BMEP)

Para analisar de forma técnica a engenharia por trás dos motores, a simples comparação de valores absolutos de torque e potência entre motores de diferentes cilindradas pode ser insuficiente. Conforme explica Heywood (2018), a

potência de um motor é diretamente dependente da sua rotação, enquanto o torque está ligado à capacidade de enchimento dos cilindros. Para eliminar a variável do deslocamento volumétrico (cilindrada) e permitir uma comparação direta de eficiência entre ambos os modelos de motores, utiliza-se o conceito de Pressão Média Efetiva ao Freio, também conhecida pela sigla BMEP (*Brake Mean Effective Pressure*).

A BMEP pode ser definida como uma pressão teórica constante que atua na cabeça dos pistões durante todo o curso de expansão, que produziria o mesmo torque medido no virabrequim (BRUNETTI, 2012). Para um motor de quatro tempos, pode-se considerar que a BMEP é calculada pela relação entre o torque e o volume deslocado, conforme a Equação 2:

$$BMEP_{(bar)} = \frac{T \cdot 4\pi}{V_d} \quad (EQ.02)$$

Onde:

- T é o torque medido no virabrequim (N.m);
- V_d é o volume de deslocamento do motor (L);
- 4π é o fator correspondente ao deslocamento angular de um ciclo completo do motor de quatro tempos.¹

A Equação 2 permite comparar diferentes motores independentemente da cilindrada, evidenciando a capacidade de cada projeto em transformar o deslocamento volumétrico em torque. Aplicando essa relação aos motores da família EA211 da Volkswagen, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 2.

¹ O termo 4π está relacionado ao deslocamento angular do virabrequim durante um ciclo completo de um motor de quatro tempos. Considerando que uma volta completa corresponde a 2π radianos, o ciclo completo (admissão, compressão, combustão e exaustão) exige duas rotações do virabrequim, totalizando 4π radianos. Por esse motivo, esse fator aparece na dedução da equação da Pressão Média Efetiva de Freio (BMEP).

Tabela 2 – Comparativo do BMEP dos Motores da Família Volkswagen EA211.

Motor	Alimentação	Cilindros	Torque Máximo (N·m)	Cilindrada (L)	BMEP (bar)
1.0 MPI	Aspirado	3	102	0,999	≈12,8
1.6 MSI	Aspirado	4	162	1,598	≈12,7
1.0 TSI	Turbo	3	200	0,999	≈25,1
1.4 TSI	Turbo	4	250	1,395	≈22,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Conforme apresentado na Tabela 2, observa-se que os motores aspirados da família EA211 apresentam valores de BMEP próximos de 12 a 13 bar, enquanto as versões turboalimentadas atingem valores superiores a 22 bar. O motor 1.0 TSI, por exemplo, alcança aproximadamente 25,1 bar, valor significativamente superior ao obtido pelos motores aspirados, evidenciando o efeito da sobrealimentação no aumento da pressão média efetiva.

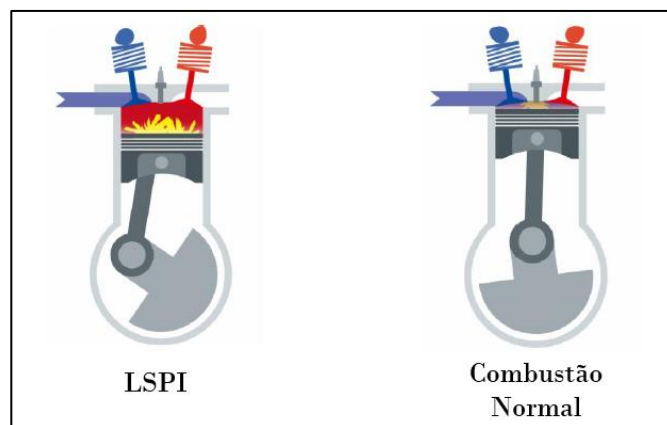
Essa diferença demonstra a eficiência do conceito de *downsizing* associado à sobrealimentação, e não apenas da redução da cilindrada isoladamente. A utilização do turbocompressor permite elevar significativamente a massa de ar admitida, aumentando a pressão média efetiva e possibilitando que motores menores produzam níveis de torque comparáveis ou superiores aos de motores aspirados de maior deslocamento volumétrico. Segundo Martin, Beidl e Mueller (2014), o aumento da BMEP constitui um dos principais fundamentos da estratégia de *downsizing* moderno, permitindo reduzir o tamanho do motor sem comprometer o desempenho e mantendo elevados níveis de eficiência térmica.

3.4.2 Low Speed Pre-Ignition (LSPI)

Com a injeção direta de combustível (GDI) e o turbocompressor cada vez mais presentes nos motores *downsized*, um fenômeno negativo foi identificado nesses motores de elevada pressão específica: a Pré-Ignição em Baixa Rotação (Low Speed Pre-Ignition – LSPI). Esse evento trata-se da combustão espontânea da mistura ar-combustível antes da centelha da vela de ignição, ocorrendo principalmente em condições de baixa rotação e **alta carga do motor** (SAE, 2015a).

Diferente da detonação convencional, que ocorre após a centelha da vela e durante o processo de combustão, o LSPI caracteriza-se pelo início da combustão antes mesmo da ignição comandada pela vela. Com isso, a pressão dentro da câmara aumenta de forma extremamente rápida enquanto o pistão ainda está em movimento ascendente, conforme apresentado na Figura 14, gerando esforços mecânicos muito superiores aos previstos no projeto do motor que, em condições severas, esse fenômeno pode provocar danos irreversíveis aos componentes internos do motor, como quebra de pistões, empenamento de bielas e desgaste ou ruptura dos anéis de segmento (SAE, 2015b). Acredita-se que o LSPI esteja associado à ignição de pequenas gotículas de óleo lubrificante ou de depósitos de carbono incandescentes presentes na câmara de combustão, que passam a atuar como fontes de ignição prematura (VALVOLINE, s.d.).

Figura 14 – Comparativo do LSPI e uma Combustão Normal.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de Inteligência Artificial, 2026.

Os motores *downsized* equipados com turbocompressor e injeção direta de combustível apresentam maior suscetibilidade à ocorrência do LSPI quando comparados aos motores com injeção indireta. Isso ocorre porque essa estruturação combina elevadas pressões de sobrealimentação, altas taxas de compressão efetivas e maior pressão no interior da câmara de combustão durante condições de alta carga em baixas rotações, se comparadas aos motores de injeção indireta. Entre os principais fatores que favorecem a ocorrência do LSPI, destacam-se:

- **Altas Pressões e Temperaturas:** A sobrealimentação eleva significativamente a pressão e a temperatura da mistura dentro da câmara de combustão, aumentando a probabilidade de ocorrência da pré-ignição;

- Injeção Direta: Embora a GDI ajude a resfriar a câmara², o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, favorecendo a interação entre combustível, óleo lubrificante e depósitos existentes, fatores que podem contribuir para a ocorrência do LSPI;
- Lubrificantes: A composição química do óleo lubrificante também exerce influência significativa. Determinados tipos de aditivos podem favorecer a formação de depósitos ou partículas que atuam como possíveis focos de ignição prematura (AFTON CHEMICAL, s.d.).

Para amenizar o problema do LSPI, os fabricantes de motores juntamente com a indústria de lubrificantes desenvolveram diversas estratégias. Alguns dos pontos de melhorias foram o aprimoramento do projeto da câmara de combustão, a otimização do sistema de injeção de combustível e, principalmente, o desenvolvimento de óleos lubrificantes específicos com formulações que minimizam a ocorrência do LSPI, como os que atendem às especificações API SN Plus e ILSAC GF-6 (MOTOR MAGAZINE, s.d.). A compreensão e o controle do LSPI são, portanto, essenciais para garantir a durabilidade e a confiabilidade dos motores *downsized* *sobrealimentados*.

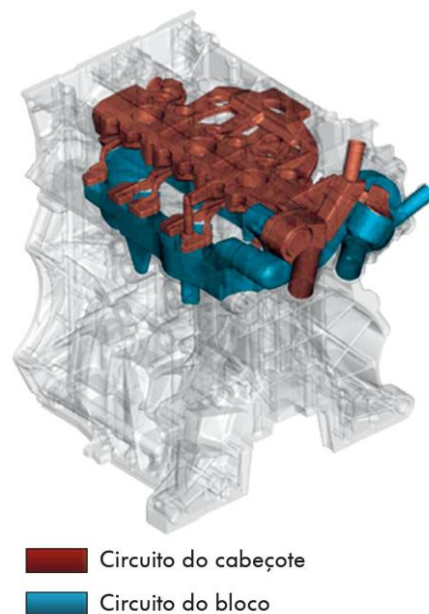
3.5 Desafios Térmicos e Emissões de NO_x no Downsizing

Um dos aspectos mais críticos na engenharia de motores com tecnologia *downsized* é o controle das emissões de poluentes, com destaque para os óxidos de nitrogênio (NO_x). Como esses motores operam com pressões de sobrealimentação elevadas para compensar a menor cilindrada, a temperatura no interior da câmara de combustão tende a subir significativamente. Segundo Brunetti (2012), a formação de NO_x está diretamente ligada às altas temperaturas geradas pela combustão: quanto maior a temperatura, maior é a dissociação das moléculas de nitrogênio e oxigênio do ar, o que resulta em níveis mais elevados desse tipo de poluente.

² O resfriamento promovido pela injeção direta ocorre porque o combustível é pulverizado diretamente na câmara de combustão durante o final da compressão. Ao vaporizar, o combustível absorve calor do ar comprimido por meio do calor latente de vaporização, reduzindo a temperatura da mistura e diminuindo a tendência à ocorrência da detonação.

Com o intuito de resolver esse problema sem comprometer a eficiência, a indústria adota estratégias avançadas de controle térmico. Nos motores da família EA211, como o 1.0 TSI por exemplo, destaca-se um sistema de arrefecimento duplo, como representado na Figura 15, que possibilita que o bloco do motor opere a uma temperatura mais elevada, reduzindo o atrito do óleo, enquanto o cabeçote é mantido em temperaturas mais baixas para evitar a detonação e regular a formação de NO_x (O MECÂNICO, 2018). Além disso, a injeção direta de combustível desempenha um papel crucial, pois a evaporação do combustível dentro do cilindro ajuda a resfriar a mistura ar-combustível, permitindo um controle mais preciso da temperatura durante a combustão (HEYWOOD, 2018).

Figura 15 – Sistema de arrefecimento duplo do motor 1.0 TSI.



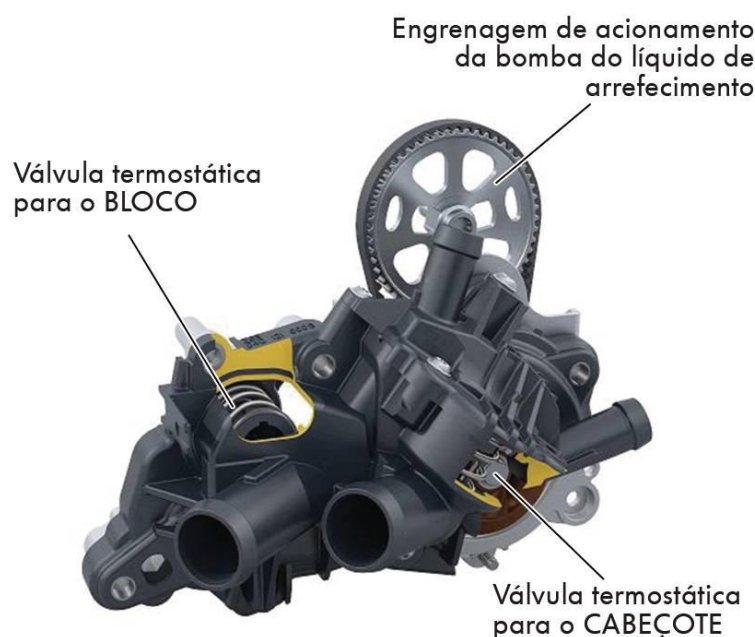
Fonte: Oficina Brasil, 2024.

De acordo com a revista Oficina Brasil (2024), esse sistema de construção utiliza dois circuitos distintos e independentes. Basicamente, o circuito do cabeçote foi projetado para operar a temperaturas mais baixas, o que é extremamente necessário para preservar a integridade das válvulas e evitar a pré-ignição em motores turbo. Por outro lado, o circuito do bloco permite que as camisas dos cilindros trabalhem em temperaturas maiores, o que torna o óleo lubrificante menos viscoso nessa área, diminuindo significativamente a resistência ao movimento dos pistões. Esse gerenciamento térmico avançado é o que possibilita ao motor 1.0 TSI combinar alta

performance com o cumprimento das exigentes normas de emissões, como o PROCONVE L7 e L8 (ANFAVEA, 2025).

Para que todo esse sistema funcione de forma íntegra, a bomba d'água precisou passar por alterações. A base para esse funcionamento é a utilização de duas válvulas termostáticas em uma única carcaça plástica de alta resistência, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Bomba d'água com dupla válvula termostática.



Fonte: Oficina Brasil, 2024.

Esse sistema modular é acionado por uma correia dentada exclusiva, localizada na extremidade oposta à correia de distribuição principal, conectada diretamente ao comando de válvulas de escape. De acordo com a revista O Mecânico (2018), o grande diferencial está no controle independente dos fluxos: a primeira válvula termostática é responsável por gerenciar a temperatura do cabeçote, abrindo-se por volta dos 87°C para garantir que a região da câmara de combustão permaneça resfriada, o que é vital para evitar a detonação em motores turbo. Já a segunda válvula controla o fluxo do bloco do motor e possui uma calibração para abertura em temperaturas mais elevadas, próximas aos 105°C. Apesar do controle independente dos fluxos, ambos os circuitos utilizam o mesmo radiador para realizar o resfriamento.

Embora o bloco e o cabeçote operem em temperaturas distintas, essa diferença faz parte da estratégia de gerenciamento térmico adotada no projeto do

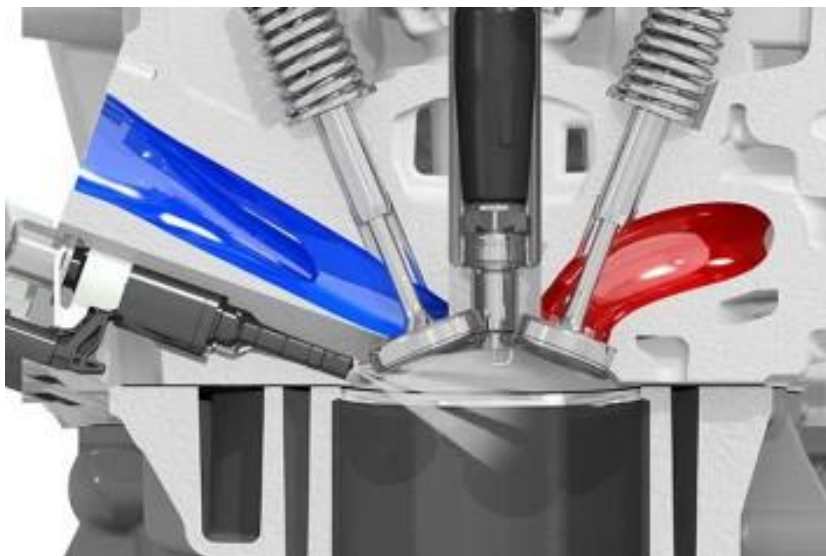
motor, cuidadosamente avaliada. As folgas entre os componentes, os materiais empregados e a junta do cabeçote são dimensionados para acomodar as diferentes dilatações térmicas decorrentes dessas condições de operação. Além disso, o sistema de arrefecimento mantém ambas as regiões dentro de faixas de temperatura controladas, evitando gradientes térmicos excessivos que possam comprometer a vedação, o alinhamento dos componentes ou a durabilidade do conjunto. Dessa forma, o funcionamento em temperaturas distintas não representa um problema construtivo, mas sim uma solução de engenharia que permite otimizar simultaneamente a eficiência térmica sem aumentar as perdas mecânicas.

3.6 Injeção Direta de Combustível (GDI)

A tecnologia de Injeção Direta de Combustível, também conhecida pela sigla GDI (*Gasoline Direct Injection*), é um dos pilares que viabilizam a eficiência dos motores *downsized*. Diferente do sistema de injeção indireta convencional (PFI - *Port Fuel Injection*), onde o combustível é pulverizado no coletor de admissão antes das válvulas, no sistema GDI o combustível é injetado sob altíssima pressão diretamente dentro da câmara de combustão. Esse sistema tornou-se o principal tipo de injeção utilizado nos motores turboalimentados modernos, pois permite maior controle sobre a formação da mistura e sobre a temperatura dentro do cilindro. Em motores aspirados, sua aplicação ainda é menos frequente, sendo a injeção indireta amplamente utilizada devido à menor complexidade e ao menor custo de produção.

Esse novo formato de injeção traz vantagens bem significativas para o sistema como um todo. De acordo com Heywood (2018), ao injetar o combustível diretamente no cilindro, conforme demonstra a Figura 17, ocorre um fenômeno de resfriamento da mistura ar-combustível devido à entalpia de vaporização do líquido. Esse fenômeno é determinado pela energia necessária para a mudança de fase do líquido para a fase de vapor (HYDRO THERMAL, 2026). O resfriamento interno permite que o motor trabalhe com uma taxa de compressão elevada com menor risco de detonação precoce, o que aumenta significativamente a eficiência térmica global do conjunto. Em motores turboalimentados, esse controle térmico é indispensável para suportar as altas pressões de trabalho sem comprometer a integridade dos componentes internos.

Figura 17 – Injeção Direta de Combustível, motor 1.0 TSI.



Fonte: Auto Livraria Best Cars, 2015.

Outro diferencial importante é a pressão de injeção do combustível. Enquanto um sistema de injeção indireta trabalha com pressões baixas, em torno de 3 a 4 bar, o sistema de injeção direta do motor EA211 opera em uma faixa que varia de 50 a 250 bar, dependendo da carga e da rotação do motor (OFICINA BRASIL, 2024). Essa pressão elevada garante uma atomização muito mais fina do combustível, resultando em gotas menores que se misturam de forma mais homogênea com o ar. Segundo a revista O Mecânico (2018), essa precisão na formação da mistura permite com que a Unidade de Comando do Motor (ECU) realize múltiplas injeções em um único ciclo, otimizando a queima tanto em partidas a frio quanto em regimes de plena carga, o que reduz drasticamente a emissão de hidrocarbonetos não queimados e melhora o consumo de combustível.

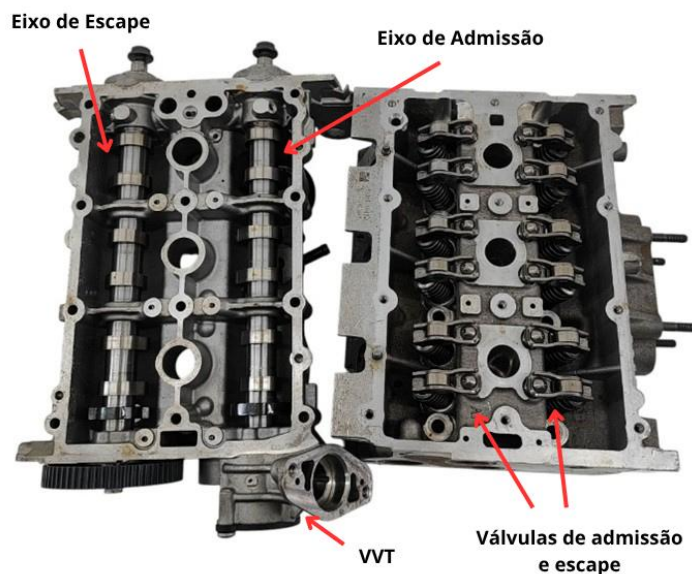
Portanto, a injeção direta não é apenas um método de alimentação, mas uma ferramenta de gerenciamento de energia. Ela permite que o motor 1.0 TSI entregue uma performance superior à de motores aspirados maiores, como por exemplo o 1.6 MSI, mantendo um nível de emissões condizente com as exigências do PROCONVE L7 e L8 (ANFAVEA, 2025). Entretanto, essa tecnologia também apresenta pontos negativos, principalmente relacionados à maior complexidade, ao custo dos componentes e à manutenção. O sistema exige uma bomba de alta pressão e injetores mais robustos e precisos, que possuem custos superiores aos utilizados na injeção indireta. Além disso, a posição dos injetores dentro da câmara os deixa

expostos a temperaturas e pressões elevadas, tornando o sistema mais sensível à qualidade do combustível e às condições de manutenção. Apesar dessas limitações, a complexidade adicional é compensada pelo ganho geral de eficiência e pela capacidade de extrair o máximo potencial da tecnologia *downsizing* sobrealimentado.

3.7 Comando de Válvulas Variáveis

Para que um motor downsized consiga entregar um desempenho satisfatório em diferentes regimes de funcionamento, é necessário que o sistema de distribuição seja capaz de se adaptar às diferentes condições de carga e rotação. Uma das principais tecnologias responsáveis por essa versatilidade é o Comando de Válvulas Variável (Variable Valve Timing – VVT), que permite alterar o instante de abertura e fechamento das válvulas conforme a condição de operação do motor. Embora atualmente esteja presente em diversas fabricantes, essa tecnologia teve suas primeiras aplicações comerciais pela Alfa Romeo na década de 1980. Posteriormente, foi aprimorada por fabricantes como a Toyota, com o sistema VVT-i, e pela Honda, com o sistema VTEC, tornando-se uma solução amplamente utilizada na engenharia automotiva moderna. Na Volkswagen, essa tecnologia também está presente na família EA211, conforme representado na Figura 18.

Figura 18 – Comando de válvula variável, motores 1.0 TSI.

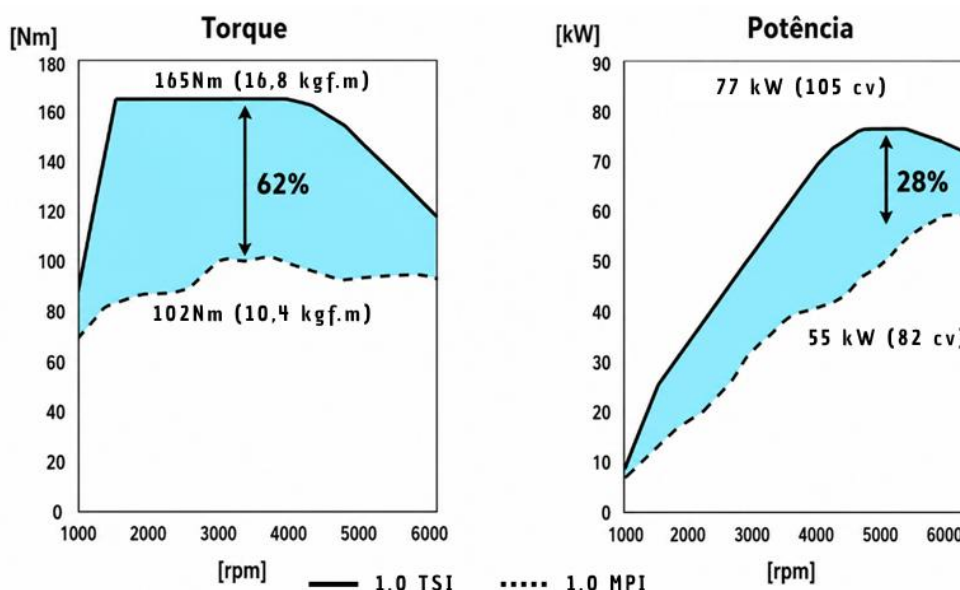


Fonte: Adaptado de Toronto Auto (2024).

O funcionamento do sistema baseia-se em variadores de fase hidráulicos instalados nas extremidades dos comandos de válvulas. Segundo Brunetti (2012), sua principal função é otimizar o cruzamento de válvulas (overlap), sincronizando o momento de abertura e fechamento das válvulas para aproveitar a própria inércia dos gases no interior dos dutos. Durante a fase de cruzamento, os gases de escape que deixam o cilindro auxiliam no escoamento dos gases queimados e favorecem a admissão da nova carga de ar, aumentando a eficiência volumétrica do motor. Dessa forma, o sistema ajusta continuamente o sincronismo das válvulas conforme a rotação e a carga do motor, permitindo melhor enchimento dos cilindros em diferentes condições de funcionamento.

No motor 1.0 TSI, o comando variável atua tanto no comando de admissão quanto no de escape. Entretanto, a ampla faixa de torque disponível em baixas rotações não é resultado apenas do VVT. Essa característica também está diretamente relacionada ao turbocompressor de baixa inércia, capaz de iniciar sua atuação por volta de 1.500 rpm, aumentando rapidamente a massa de ar admitida e elevando a pressão média efetiva do motor. A atuação conjunta entre o comando variável e o turbocompressor permite que o enchimento dos cilindros seja otimizado em praticamente toda a faixa de operação, proporcionando elevada disponibilidade de torque mesmo em baixas rotações. A Figura 19 apresenta o comparativo das curvas de torque e potência dos motores Volkswagen Up! 1.0 MPI e Up! 1.0 TSI.

Figura 19 – Comparativo das curvas de torque e potência dos motores Volkswagen Up! MPI e Up! TSI.



Fonte: Adaptado de Auto entusiastas (2015).

Observa-se na Figura 19 que o motor 1.0 TSI (linha contínua) entrega aproximadamente 16,8 kgfm de torque já a 1.500 rpm, enquanto o motor 1.0 MPI (linha pontilhada) desenvolve cerca de 10,4 kgfm apenas em torno de 3.000 rpm. Isso representa um aumento aproximado de 62% no torque máximo. Em relação à potência, o motor turbo desenvolve 105 cv, enquanto a versão aspirada entrega 82 cv, correspondendo a um ganho próximo de 28%. Esses resultados evidenciam que o desempenho superior do motor TSI não é consequência apenas da sobrealimentação, mas da integração entre diferentes tecnologias, como o turbocompressor, a injeção direta e o comando variável, que trabalham de forma conjunta para maximizar o enchimento dos cilindros e ampliar a eficiência volumétrica.

3.7.1 Impacto da Configuração de Três Cilindros (NVH)

Um dos principais fatores que geram desconfiança no consumidor brasileiro na hora de escolher um veículo com a motorização aspirada ou *downsizing* sobrealimentado, é a questão do NVH (Noise, Vibration and Harshness – Ruído, Vibração e Aspereza). Naturalmente, motores de três cilindros apresentam um equilíbrio dinâmico inferior ao dos motores de quatro cilindros, uma vez que as forças

de inércia geradas pelos pistões não podem ser completamente anuladas ao longo do ciclo de funcionamento. Como consequência, surge um momento de balanço longitudinal (*rocking moment*), fazendo com que o motor apresente uma tendência natural de oscilar em torno do seu eixo longitudinal. Esse comportamento é discutido por Heywood (2018, 2. ed., Seção 15.7, p. 815-820), ao abordar o balanceamento dinâmico dos motores alternativos.

Para minimizar esses efeitos sem aumentar significativamente a massa e as perdas mecânicas do conjunto, a Volkswagen adotou soluções específicas na família EA211. Em vez da utilização de eixos balanceadores, empregados em diversos motores três cilindros do mercado, o projeto utiliza um sistema de balanceamento externo por meio de massas cuidadosamente posicionadas na polia do virabrequim. Conforme ilustrado nas Figuras 20 e 21, esse componente possui massas de desequilíbrio calculadas para compensar parte das vibrações primárias geradas pelo funcionamento do motor, reduzindo a amplitude das oscilações transmitidas ao veículo (SCHUMANN, 2014). A Figura 22 ilustra a polia do virabrequim do motor 1.6 MSI onde não há desequilíbrio em sua construção.

Figura 20 – Polia do Virabrequim montada do motor 1.0 TSI.



Fonte: O Mecânico, 2018.

Figura 21 – Polia do Virabrequim do motor 1.0 TSI.



Fonte: Toronto Auto, 2024.

Figura 22 – Polia do Virabrequim do motor 1.6 MSI.



Fonte: Torres Auto, 2024.

Além do balanceamento externo adotado no conjunto rotativo, a redução da percepção de ruído e vibração também depende de outros elementos do veículo. O isolamento acústico adicionado na cabine dos veículos é um fator importante que contribui para atenuar a propagação do ruído. Além disso, os coxins hidráulicos utilizados nesses modelos de motorização, apresentam capacidade superior de

absorção das vibrações quando comparados aos coxins convencionais de borracha, utilizados em motores como o 1.6 MSI, conforme apresentado nas Figuras 23 e 24. Esses componentes filtram as vibrações transmitidas à carroceria, reduzindo significativamente a sensação de funcionamento do motor no volante, pedais e alavanca de câmbio, principalmente durante a marcha lenta e nas partidas a frio, condições em que as irregularidades de funcionamento são naturalmente mais perceptíveis (SAE, 2020).

Figura 23 – Coxim hidráulico do motor 1.0 TSI.



Fonte: Mercado Livre ([s. d.]).

Figura 24 – Coxim do motor 1.6 MSI.



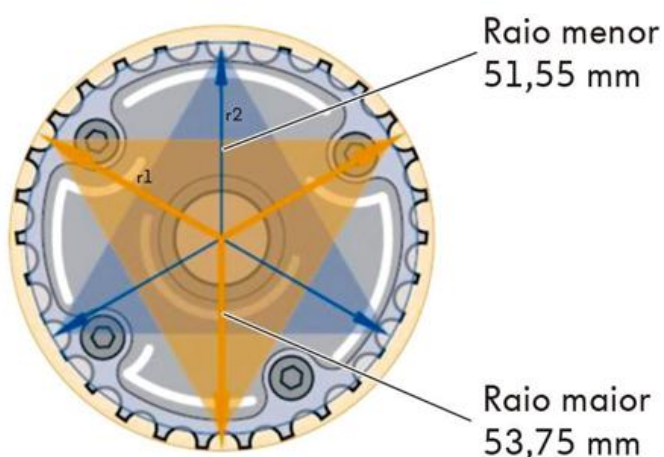
Fonte: Bompreço Autopeças ([s. d.]).

Embora essas soluções reduzam consideravelmente os níveis de NVH, elas não eliminam completamente as vibrações inerentes à arquitetura de três cilindros. Mesmo assim, a combinação entre balanceamento externo, coxins hidráulicos, isolamento acústico e gerenciamento eletrônico do motor permite que os motores modernos de três cilindros apresentem níveis de conforto bastante próximos aos motores de quatro cilindros em condições normais de utilização.

3.7.2 Polias Triovals

Os motores de três cilindros da Volkswagen utilizam um componente pouco convencional: as polias triovals, também conhecidas como polias ECO. Diferentemente das polias circulares tradicionais, essas polias apresentam um formato levemente ovalado, desenvolvido para reduzir as oscilações de torque transmitidas ao sistema de distribuição. A Figura 25 apresenta esse componente aplicado aos motores 3 cilindros da família EA211.

Figura 25 – Polia trioval motores 3 cilindros família EA211.



Fonte: Oficina Brasil, 2024.

De acordo com a Gates TechZone (2020), o uso de polias triovals reduz significativamente as forças de tração na correia dentada durante os picos de compressão de cada cilindro. Nos motores de três cilindros, as combustões ocorrem a cada 240° de rotação do virabrequim, enquanto em motores de quatro cilindros de quatro tempos esse intervalo é de 180°. Como consequência, os pulsos de torque nos

motores de três cilindros apresentam maior espaçamento entre si, tornando a carga aplicada sobre a correia menos uniforme. O formato trioval foi desenvolvido justamente para compensar essas variações, reduzindo as oscilações na tensão da correia e contribuindo para aumentar sua durabilidade e diminuir vibrações transmitidas ao sistema de distribuição. Segundo a revista O Mecânico (2018), essa tecnologia desempenha papel importante na confiabilidade do conjunto mecânico dos motores EA211.

Portanto, a utilização conjunta do comando de válvulas variável e das polias trioais permite otimizar o enchimento dos cilindros, reduzir esforços mecânicos sobre o sistema de distribuição e melhorar a eficiência de funcionamento do motor. Entretanto, essas tecnologias não eliminam completamente as vibrações inerentes à configuração de três cilindros, uma vez que essas são consequência do próprio equilíbrio dinâmico do motor.

3.8 Manutenção e Confiabilidade

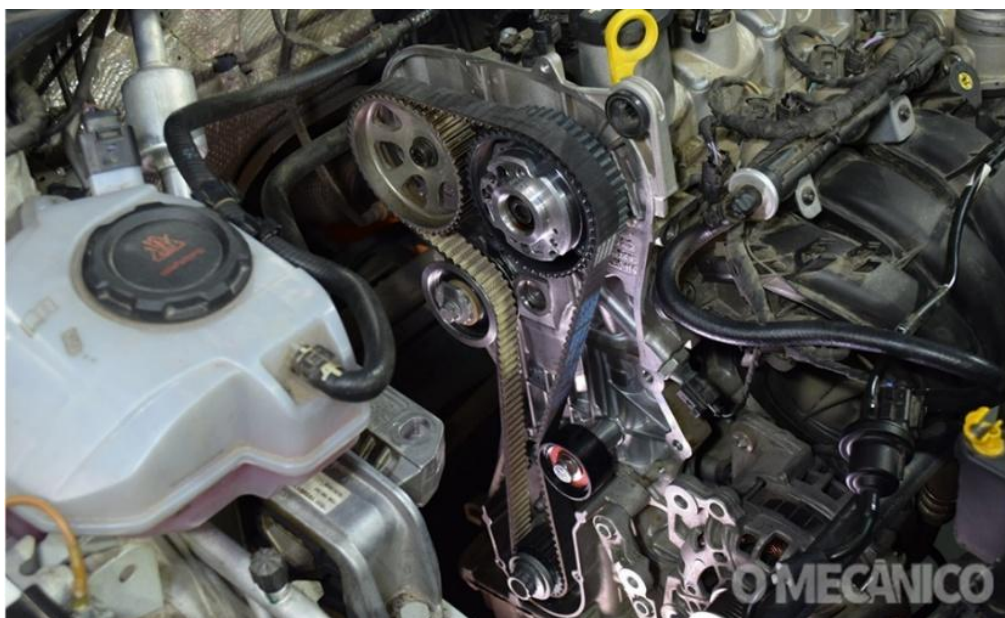
A adoção de motores *downsized* sobrealimentados trouxe ganhos importantes em desempenho e eficiência, mas também aumentou a complexidade dos sistemas envolvidos. Por trabalharem com maiores pressões e temperaturas, esses motores exigem maior atenção quanto à qualidade dos combustíveis, dos lubrificantes e ao cumprimento correto dos intervalos de manutenção. Já os motores aspirados de concepção mais simples tendem a apresentar maior tolerância a pequenas variações na rotina de uso e manutenção.

Também é importante diferenciar o uso normal do uso severo. O uso normal ocorre principalmente em rodovias, com velocidades mais constantes e o motor trabalhando por mais tempo em sua temperatura ideal. Já o uso severo está relacionado ao trânsito urbano intenso, trajetos curtos, frequentes partidas a frio, funcionamento prolongado em marcha lenta e circulação em locais com muita poeira. Nessas condições, alguns componentes podem exigir inspeções e substituições em intervalos menores.

3.8.1 Correia Dentada

Um dos pontos frequentemente discutidos em relação à manutenção é o sistema de distribuição. Nos motores da família EA211, tanto no 1.0 TSI quanto no 1.6 MSI, a Volkswagen utiliza correia dentada de longa duração, desenvolvida com borracha reforçada com fibras sintéticas de alta resistência ao desgaste e às variações de temperatura (O MECÂNICO, 2022). A Figura 26 apresenta esse componente aplicado ao motor da família EA211.

Figura 26 – Correia dentada, motor família EA211.



Fonte: O Mecânico (2022).

A fabricante estabelece que a inspeção e a substituição devem seguir o plano de manutenção correspondente ao modelo, ao ano e às condições de utilização do veículo. Em uso normal, os intervalos podem ser mantidos conforme o manual. Para os motores da família EA211, a Volkswagen orienta a troca com 120 mil km ou 4 anos e meio. Já em veículos submetidos ao uso severo, parte dos especialistas e mecânicos recomenda antecipar a substituição preventiva.

Segundo a AutopartsWD (2026), em veículos utilizados principalmente em trânsito urbano intenso, a troca pode ser considerada por volta de 60 mil quilômetros ou dois anos e meio. Essa recomendação não substitui o plano oficial da fabricante,

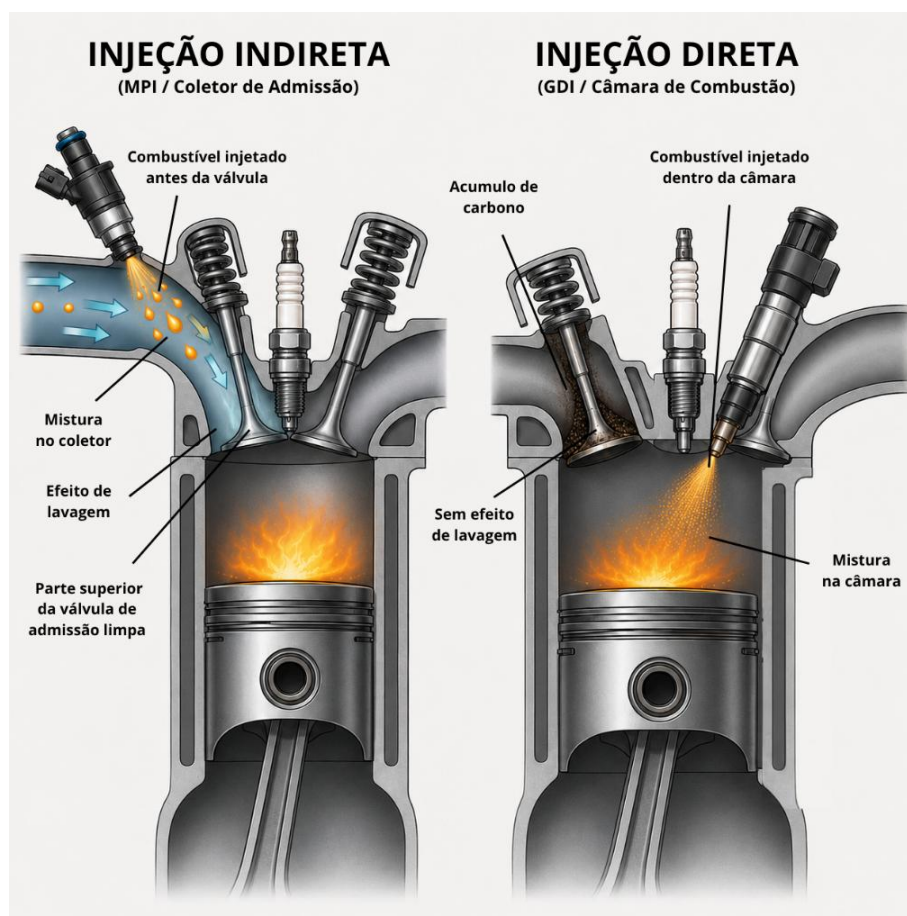
mas representa uma medida preventiva adotada por alguns profissionais para reduzir o risco de ruptura da correia e de danos aos componentes internos do motor.

Como ambos os motores analisados pertencem à família EA211 e utilizam o mesmo princípio de distribuição, os cuidados com a correia dentada são semelhantes. Portanto, não se trata de uma preocupação exclusiva dos motores turbo, mas de um item importante de manutenção tanto no TSI quanto no MSI.

3.8.2 Sistema de Injeção e Qualidade do Combustível

Outro aspecto diretamente relacionado à confiabilidade dos motores modernos é o sistema de alimentação de combustível. Enquanto o motor 1.0 TSI utiliza injeção direta de combustível (GDI), o motor 1.6 MSI emprega o sistema de injeção eletrônica multiponto sequencial (MSI – Multipoint Sequential Injection). A principal diferença entre essas tecnologias está no local onde o combustível é injetado. No sistema MSI, o combustível é pulverizado no coletor de admissão, antes das válvulas, promovendo um efeito contínuo de limpeza sobre essas superfícies. Já no sistema GDI, a pulverização ocorre diretamente no interior da câmara de combustão, eliminando esse efeito de lavagem das válvulas de admissão. A Figura 27 ilustra essas duas situações.

Figura 27 – Comparativo do efeito lavagem nas válvulas de admissão de motores com injeção direta e indireta.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de Inteligência Artificial, 2026.

Como consequência, motores equipados com injeção direta apresentam maior tendência à formação de depósitos de carbono nas válvulas de admissão ao longo da vida útil, principalmente em veículos submetidos ao uso severo. Esses depósitos são originados, em grande parte, pelos vapores de óleo provenientes do sistema de ventilação positiva do cárter (PCV), que deixam de ser removidos pela passagem do combustível, como ocorre nos motores com injeção indireta.

Embora os motores flex brasileiros sejam projetados para operar tanto com gasolina quanto com etanol hidratado, a qualidade do combustível comercializado exerce influência direta sobre a durabilidade do sistema de alimentação. Combustíveis adulterados ou contaminados podem provocar desgaste prematuro da bomba de alta pressão, dos injetores e favorecer a formação de depósitos na câmara de combustão.

O etanol, por possuir sua composição higroscópica³ e falta de lubricidade favorece a corrosão dos componentes como bombas de alta pressão, carbonização acelerada na ponta dos bicos injetores, e maior facilidade de contaminar o óleo do motor em trajetos curtos. Além disso, a elevada variedade da qualidade do etanol disponível no mercado brasileiro faz com que diversos especialistas recomendem priorizar combustíveis provenientes de postos confiáveis e, de preferência, utilizar gasolina aditivada ou premium em motores turbo com injeção direta, buscando preservar o desempenho e reduzir a formação de resíduos ao longo do tempo.

A gasolina aditivada contribui para a limpeza e a durabilidade dos sistemas de injeção direta (GDI), pois contém aditivos detergentes e dispersantes que ajudam a evitar o entupimento e a formação de depósitos nos bicos injetores, além de agentes anticorrosivos. Da mesma forma, gasolinas premium, como a Petrobras Podium, Shell V-Power e Ipiranga Ipimax Pro, também favorecem a conservação do sistema de injeção, por apresentarem um pacote de aditivos mais avançado, com propriedades de limpeza e redução de atrito superiores às da gasolina aditivada convencional. Além disso, possuem maior qualidade e menor teor de etanol na mistura (25%).

Nos motores equipados com injeção multiponto, como o 1.6 MSI, a própria pulverização do combustível sobre as válvulas de admissão contribui para reduzir significativamente o acúmulo desses depósitos. Dessa forma, o sistema se torna naturalmente mais tolerante às condições típicas de utilização encontradas no mercado brasileiro, especialmente em situações de uso urbano frequente, trajetos curtos e variações na qualidade do combustível.

3.8.3 Óleo Lubrificante

A lubrificação exerce papel fundamental na durabilidade de todos os motores, independentemente do modelo ou fabricante. Sem a formação adequada da película lubrificante entre as peças móveis, ocorre o aumento do atrito, da temperatura e do desgaste interno, podendo causar danos severos e até a falha completa do motor em um curto período de funcionamento. Nos motores turboalimentados, essa função se torna ainda mais importante, pois o turbocompressor opera em altas rotações e

³ Um material higroscópico é aquele que possui a capacidade de absorver ou reter a umidade do ar. Essa propriedade, chamada de higroscopia, faz com que a substância extraia moléculas de água da atmosfera.

temperaturas, dependendo de um fluxo contínuo de óleo para a lubrificação e a refrigeração de seus mancais.

A viscosidade e a especificação do lubrificante variam conforme o motor, o veículo e o ano de fabricação. Entre as aplicações da família EA211, são utilizados óleos sintéticos como o SAE 5W-40, presentes tanto nos modelos 1.0 TSI e 1.6 MSI, conforme as normas VW 508 88 e VW 509 99, além do SAE 0W-30 em algumas versões mais recentes do 200 TSI. A classificação API SN também é importante, pois estabelece requisitos relacionados ao controle de borra, oxidação, depósitos e desgaste, porém não substitui a homologação específica indicada pela Volkswagen (VOLKSWAGEN; SHELL, 2020).

A fabricante orienta, em condições normais de uso, a troca do óleo e do filtro a cada 10.000 km ou 12 meses, prevalecendo o que ocorrer primeiro. Em condições severas, o intervalo deve ser reduzido, para 5.000 km ou 6 meses.

O descumprimento desses intervalos ou a utilização de lubrificantes inadequados pode favorecer a formação de borra, aumentar o desgaste dos componentes internos e causar falhas prematuras no turbocompressor. Portanto, a percepção de que motores *downsized* são mais “complexos” ou “delicados” está, na verdade, ligada à necessidade de uma cultura de manutenção preventiva mais rigorosa, bem diferente daquela aplicada aos motores aspirados tradicionais.

3.8.4 Velas de Ignição

As velas de ignição são responsáveis por gerar a centelha que inicia a combustão da mistura ar-combustível dentro dos cilindros. Para que esse processo ocorra corretamente, a centelha deve ser produzida no momento determinado pela unidade de controle eletrônico, com intensidade suficiente para vencer a resistência existente entre os eletrodos. Quando as velas estão desgastadas ou contaminadas, podem ocorrer dificuldades na partida, falhas de combustão, perda de desempenho e aumento no consumo de combustível (BRUNETTI, 2012; NGK, 2022).

Nos motores turboalimentados, as velas trabalham sob maiores pressões e temperaturas dentro da câmara de combustão. Basicamente, quanto maior a pressão da mistura no instante da ignição, maior é a dificuldade para a formação da centelha por conta da maior massa de ar admitida nos cilindros. Com isso, esses motores normalmente utilizam velas especiais, produzidas com materiais como platina

ou irídio, que permitem a utilização de eletrodos mais finos e facilitam o centelhamento nessas condições mais severas (NGK, 2022).

No motor 1.0 TSI, a utilização de velas de irídio está relacionada às maiores exigências geradas pela sobrealimentação. Já o motor 1.6 MSI, por ser aspirado e trabalhar com menores pressões dentro da câmara, utiliza velas de construção mais simples e com menor custo de substituição. Essa diferença também influencia diretamente os custos de manutenção, uma vez que as velas utilizadas no motor turbo possuem materiais e características construtivas mais específicas.

Com o funcionamento do motor, ocorre um desgaste gradual dos eletrodos, aumentando a distância que a centelha precisa percorrer e, como consequência, a bobina passa a trabalhar com uma tensão mais elevada para gerar a ignição. Caso o proprietário do veículo não faça a substituição nos prazos corretos, além das falhas de funcionamento, pode ocorrer uma sobrecarga das bobinas e o envio de combustível não queimado para o escapamento, prejudicando também o catalisador (NGK, 2022).

Em condições normais de utilização, a inspeção e a substituição das velas devem seguir o plano de manutenção estabelecido pela Volkswagen para cada modelo e ano de fabricação. Já em condições de uso severo, a formação de depósitos e o desgaste podem ocorrer de forma mais acelerada. Dessa forma, mesmo que as velas de irídio apresentem maior resistência e durabilidade, o cumprimento dos intervalos definidos pela fabricante continua sendo fundamental para assegurar o funcionamento adequado tanto do motor TSI quanto do MSI (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2026; NGK, 2022). A Figura 28 comparada as velas de irídio utilizadas nos motores TSI com as tradicionais utilizadas nos motores MSI.

Figura 28 – Comparativo das velas de ignição em irídio e convencionais com eletrodo de cobre.

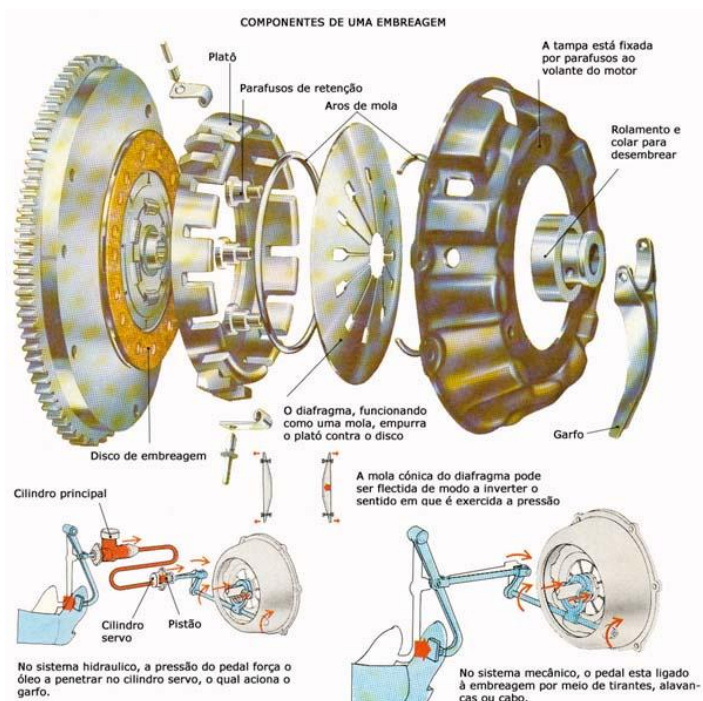


Fonte: Quatro Rodas, 2026.

3.8.5 Embreagem

A embreagem é responsável por conectar o motor à transmissão, permitindo a transferência de torque e as trocas de marcha. Seu funcionamento ocorre por meio do contato entre o disco, o platô e o volante do motor, que transmitem a força gerada para a caixa de câmbio (SCHAEFFLER, 2006), como demonstra a Figura 29.

Figura 29 – Componentes da embreagem.



Fonte: Blog Canal da Peça, 2026.

Nos motores analisados, a principal diferença está no torque transmitido ao conjunto de embreagem. Como o 1.0 TSI entrega maior torque em baixas rotações, ele exige um sistema mais robusto e dimensionado para suportar essa solicitação. Isso não significa que sua vida útil seja necessariamente menor, pois cada conjunto é desenvolvido de acordo com as características da respectiva motorização. Porém, tendo em vista a manutenção, os sistemas de embreagem aplicados aos motores sobrealimentados tendem a apresentar custos mais elevados para a substituição de seus componentes se comparados aos dos motores aspirados tradicionais, como o 1.6 MSI.

O desgaste depende principalmente das condições de uso e da forma de condução. Em uso normal, a embreagem tende a sofrer menor desgaste. Já em uso severo, o acionamento frequente aumenta o aquecimento e o consumo do material de atrito. Hábitos como manter o pé apoiado no pedal, segurar o veículo em subidas utilizando a embreagem ou provocar deslizamentos excessivos também reduzem sua durabilidade.

A embreagem não possui um intervalo fixo de substituição, pois sua vida útil varia conforme a utilização. Entre os principais sinais de desgaste estão dificuldade para engatar marchas, trepidações, ruídos e a chamada “embreagem patinando”, quando a rotação do motor aumenta sem ganho proporcional de velocidade (VALEO, 2026). Portanto, tanto o TSI quanto o MSI podem apresentar boa durabilidade, desde que o conjunto seja utilizado corretamente.

3.8.6 Filtro de Ar

O filtro de ar é responsável por impedir que poeira, areia e outras partículas presentes no ambiente entrem no sistema de admissão do motor. Ele permite a passagem do ar necessário para a combustão enquanto retém impurezas que poderiam provocar desgaste nos cilindros, pistões, válvulas e demais componentes internos (BRUNETTI, 2012).

Com o uso do veículo ao longo do tempo, o acúmulo de sujeira reduz a passagem de ar pelo elemento filtrante, dificultando o enchimento dos cilindros. Como consequência, podem ocorrer perda de desempenho, aumento no consumo de combustível e maior esforço do motor para admitir a quantidade de ar necessária para a combustão. No 1.0 TSI, essa restrição também pode prejudicar o trabalho do

turbocompressor, enquanto no 1.6 MSI afeta diretamente a eficiência volumétrica do motor aspirado.

Quando o filtro se encontra excessivamente sujo ou saturado, parte das partículas retidas pode alcançar o sistema de admissão. Esse problema merece atenção especial nos motores sobrealimentados, pois o fluxo de ar é direcionado ao turbocompressor e as partículas podem atingir as pás do rotor do compressor, provocando desgaste, erosão e possíveis danos ao componente. Dessa forma, nos motores turboalimentados, é importante que o filtro permaneça em boas condições de limpeza e retenção.

Em condições de uso normal, a inspeção e a substituição devem seguir o plano de manutenção estabelecido pela fabricante. Já no uso severo, principalmente em locais com grande quantidade de poeira, como estradas de terra ou minério, o filtro pode ficar saturado em um período menor, exigindo inspeções e substituições antecipadas. Nessas condições, inspeções preventivas em intervalos menores, como a cada 5.000 km, podem ser adotadas de acordo com o nível de exposição à poeira, sem substituir as orientações específicas do plano de manutenção do veículo. Com essa finalidade, a Volkswagen recomenda que a manutenção considere não apenas a quilometragem, mas também as condições reais de utilização do veículo (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2026).

Entre os entusiastas, também é comum a utilização de filtros de ar esportivos, principalmente em veículos turboalimentados, com o objetivo de reduzir a restrição na admissão e aumentar o fluxo de ar para o motor. Embora esses componentes também possam ser aplicados em motores aspirados, os ganhos de potência em veículos originais normalmente são limitados e dependem do conjunto de admissão, do gerenciamento eletrônico e de outras modificações realizadas. Além disso, filtros de maior vazão devem manter uma capacidade adequada de retenção de partículas, pois uma filtragem insuficiente pode aumentar o desgaste dos componentes internos. Dessa forma, a escolha pelo filtro original ou esportivo depende da proposta do veículo e da preferência de cada proprietário.

Apesar de ser um componente simples e de baixo custo, o filtro de ar exerce influência direta no desempenho e na durabilidade de ambos os motores. Prolongar excessivamente sua utilização pode gerar uma economia pequena na manutenção preventiva, mas aumentar o desgaste e o consumo ao longo do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da análise comparativa entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI. Primeiramente, analisam-se os dados de desempenho técnico, observando as curvas de torque e potência e como elas impactam na dirigibilidade. Em seguida, são apresentados os resultados referentes à eficiência energética e consumo de combustível, avaliando o desempenho econômico sob diferentes ciclos de uso. Por fim, é realizada uma análise detalhada dos custos de manutenção e da viabilidade técnica de cada motorização com base nos dados coletados e na fundamentação teórica apresentada.

4.1 Custo de Aquisição

O custo de aquisição representa o primeiro impacto econômico para o consumidor na escolha entre os motores analisados. Embora o preço de um veículo não dependa apenas da motorização, a presença do turbocompressor, da injeção direta e de equipamentos associados às versões TSI normalmente resulta em um valor de compra superior. Para realizar essa comparação, foram consultados os valores médios da Tabela FIPE dos veículos Polo, Virtus e Golf referentes ao mês de julho de 2026. A Tabela 3 apresenta os valores encontrados.

Tabela 3 – Comparativo dos valores FIPE dos veículos com motores 1.0 TSI e 1.6 MSI

Modelo	Ano-modelo	Motorização	Transmissão	Valor FIPE em jul. 2026
Polo	2021	1.6 MSI	Manual, 5 marchas	R\$ 69.172,00
Polo	2021	1.6 MSI	Automática, 6 marchas	R\$ 71.705,00
Polo Comfortline	2021	1.0 TSI	Automática, 6 marchas	R\$ 78.892,00
Polo	2021	1.0 TSI	Manual	Não comercializado

Virtus	2021	1.6 MSI	Manual, 5 marchas	R\$ 68.619,00
Virtus	2021	1.6 MSI	Automática, 6 marchas	R\$ 74.518,00
Virtus Comfortline	2021	1.0 TSI	Automática, 6 marchas	R\$ 78.894,00
Virtus	2021	1.0 TSI	Manual	Não comercializado
Golf Comfortline	2016	1.6 MSI	Manual, 5 marchas	R\$ 73.752,00
Golf Comfortline	2016	1.6 MSI	Automática, 6 marchas	R\$ 74.889,00
Golf Comfortline	2017	1.0 TSI	Manual, 6 marchas	R\$ 81.341,00
Golf	2017	1.0 TSI	Automática	Não comercializado

Fonte: Adaptado de Tabela FIPE, julho de 2026.

De forma geral, os veículos equipados com o motor 1.0 TSI apresentam maior valor de aquisição quando comparados às versões 1.6 MSI. Em contrapartida, essa diferença inicial é acompanhada por maior desempenho, menor consumo médio e melhor valorização de determinadas versões no mercado de usados. Dessa forma, o menor preço do 1.6 MSI representa uma vantagem imediata no momento da compra, enquanto o investimento adicional no 1.0 TSI deve ser analisado em conjunto com os custos de combustível, manutenção e o perfil de utilização do proprietário.

4.2 Comparativo de Desempenho: Torque e Potência

Ao analisar os dados técnicos dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI, a primeira diferença que se nota não é apenas a potência final, mas a forma como essa potência chega até o motorista. Enquanto o motor aspirado depende de altas rotações para "acordar", o motor *downsized* utiliza a sobrealimentação para oferecer o máximo de torque logo nos primeiros regimes de trabalho.

Para uma análise técnica com maior precisão, o Volkswagen Golf é o modelo ideal para esse estudo, uma vez que foi comercializado no mercado brasileiro utilizando ambas as motorizações (1.0 TSI e 1.6 MSI) sob a mesma plataforma e carroceria com câmbios automático (1.0 TSI e 1.6 MSI de 6 marchas) e manual (1.0 TSI de 6 marchas e 1.6 MSI de 5 marchas). Essa similaridade permite isolar as variáveis de peso e aerodinâmica, focando exclusivamente na eficiência e no comportamento dinâmico de cada motor.

O tipo de transmissão também deve ser considerado nessa comparação, pois os resultados de aceleração e retomada não dependem apenas das características do motor. O Golf 1.0 TSI utiliza uma transmissão manual de seis marchas, enquanto o 1.6 MSI possui um câmbio manual de cinco marchas. No modelo turbo, as cinco primeiras relações são mais curtas e permitem aproveitar melhor o torque disponível em baixas rotações, enquanto a sexta marcha é utilizada principalmente para reduzir a rotação do motor em velocidades mais elevadas. Já no 1.6 MSI, a menor quantidade de marchas resulta em um espaçamento maior entre as relações, fazendo com que a rotação apresente uma queda mais acentuada durante as trocas. Como o torque máximo desse motor ocorre somente aos 4.000 rpm, essa característica exige maior utilização das marchas inferiores para manter o motor em sua faixa de melhor desempenho (COMPRECAR, 2017), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparativo da relação de marchas do Golf 1.0 TSI e 1.6 MSI, ambos manuais.

Marcha	Golf 1.0 TSI	Golf 1.6 MSI
	Câmbio MQ200-A 6F	Câmbio MQ250
1ª marcha	3,769:1	3,770:1
2ª marcha	1,955:1	2,060:1
3ª marcha	1,281:1	1,270:1
4ª marcha	0,973:1	0,900:1
5ª marcha	0,778:1	0,720:1
6ª marcha	0,646:1	Não possui

Fonte: Adaptado de Quatro Rodas (2016) e O Mecânico (2018).

A Tabela 4 demonstra que as três primeiras relações são relativamente próximas entre os dois câmbios. Entretanto, o Golf 1.0 TSI possui relações mais curtas na quarta e na quinta marcha, além de contar com uma sexta marcha destinada principalmente à redução da rotação em velocidades constantes. Já o câmbio de cinco marchas do 1.6 MSI apresenta maior espaçamento entre as relações finais, o que contribui para uma queda mais acentuada da rotação durante as trocas e exige maior utilização das marchas inferiores para manter o motor próximo da faixa de torque máximo.

A Tabela 5 apresenta os dados de desempenho obtidos em testes realizados pela revista Quatro Rodas (2016), comparando o Golf 1.0 TSI e o Golf 1.6 MSI ambos manuais em condições de pesos distintos (vazio e carregado), o que evidencia a superioridade da sobrealimentação em situações de maior demanda.

Tabela 5 – Comparativo de Desempenho: Golf 1.0 TSI vs. Golf 1.6 MSI.

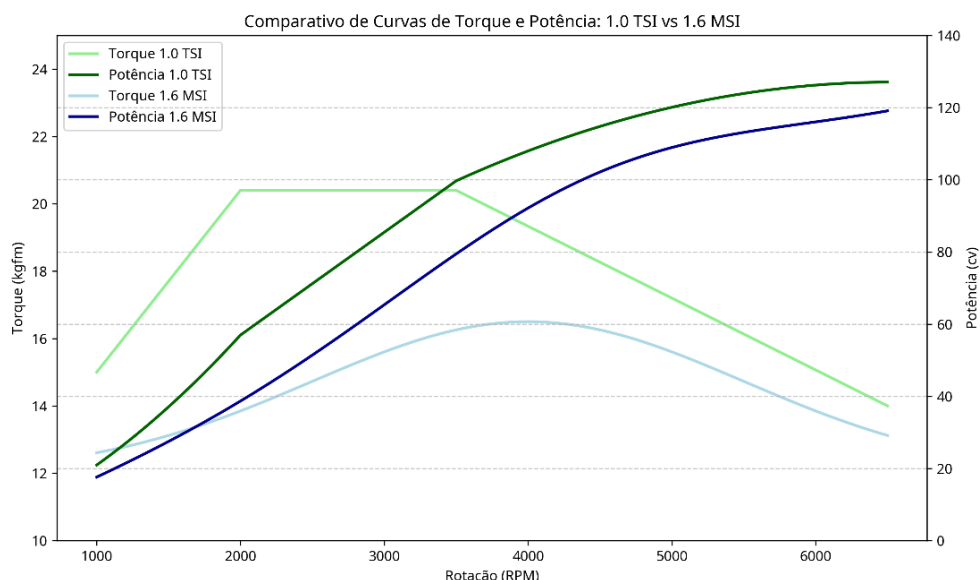
Teste de Desempenho	Golf 1.0 TSI (Vazio)	Golf 1.6 MSI (Vazio)	Golf 1.0 TSI (Carregado)	Golf 1.6 MSI (Carregado)
Aceleração 0-100 km/h	10,4 s	13,0 s	12,2 s	15,0 s
Retomada 40-80 km/h (3ª)	6,3 s	7,6 s	7,3 s	8,8 s
Retomada 80-120 km/h (5ª)	12,6 s	18,5 s	15,8 s	22,5 s
Torque Máximo	20,4 kgfm a 2.000 rpm	16,5 kgfm a 4.000 rpm	20,4 kgfm a 2.000 rpm	16,5 kgfm a 4.000 rpm
Potência Máxima	125 cv a 5.500 rpm	120 cv a 5.750 rpm	125 cv a 5.500 rpm	120 cv a 5.750 rpm

Fonte: Adaptado de Quatro Rodas (2016).

Os resultados demonstram que, mesmo com uma cilindrada menor, o motor 1.0 TSI supera o 1.6 MSI em todas as provas de aceleração e retomada. A diferença torna-se ainda mais perceptível quando o veículo está carregado. Na prova de 0 a 100 km/h, o motor *downsized* carregado (12,2 s) consegue ser mais rápido do que o motor aspirado vazio (13,0 s). Esse ocorrido pode ser explicado pela curva de torque e potência. Enquanto o 1.0 TSI entrega seus 20,4 kgfm já aos 2.000 rpm, o 1.6

MSI atinge seu pico de 16,5 kgfm apenas aos 4.000 rpm, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Comparativo de Curvas de Torque e Potência: Motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.



Fonte: Adaptado de Auto Entusiastas (2016) com auxílio de Inteligência Artificial, 2026.

Na prática, essa característica técnica é traduzida em uma dirigibilidade mais confortável, segura e até esportiva. Em situações de ultrapassagem (retomada de 80 a 120 km/h), o Golf 1.0 TSI vazio é quase 6 segundos mais rápido que o 1.6 MSI na mesma condição. Pode-se dizer que essa agilidade vem da combinação entre a injeção direta e o turbocompressor, que garantem o enchimento rápido dos cilindros e uma resposta quase imediata ao acelerador. Por outro lado, o motor 1.6 MSI demanda mais interação do motorista com o câmbio, exigindo reduções de marcha para alcançar rotações mais altas e obter a força necessária. Isso acaba gerando mais ruído e comprometendo o conforto ao dirigir em relação ao conjunto turboalimentado.

4.3 Eficiência Energética e Consumo

A eficiência energética se destaca como um dos pilares fundamentais do conceito de *downsizing*. Com a finalidade de avaliar como essa tecnologia é convertida em economia para o consumidor brasileiro, foram analisados os dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular do INMETRO. A Tabela 6 apresenta o

consumo dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI aplicados aos modelos Polo, Virtus e Golf, todos equipados com transmissão automática de seis marchas. Dessa forma, a comparação ocorre entre veículos com a mesma carroceria e o mesmo tipo de câmbio, reduzindo a influência de outras variáveis sobre os resultados. Os veículos são apresentados nas Figuras 31, 32 e 33.

Figura 31 – Polo 1.0 TSI Automático 2021.



Fonte: Mobiauto, 2021.

Figura 32 – Virtus 1.0 TSI Automático 2021.



Fonte: Mobiauto, 2021.

Figura 33 – Golf 1.0 TSI Automático 2018.



Fonte: Revista Carro, 2018.

Tabela 6 – Comparativo de consumo entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI com transmissões equivalentes.

Modelo e motorização	Transmissão	Etanol cidade	Etanol estrada	Gasolina cidade	Gasolina estrada
Polo 1.0 TSI	Automática, 6 marchas	8,0 km/l	9,8 km/l	11,6 km/l	14,1 km/l
Polo 1.6 MSI	Automática, 6 marchas	7,9 km/l	9,6 km/l	11,0 km/l	13,8 km/l
Virtus 1.0 TSI	Automática, 6 marchas	7,8 km/l	10,2 km/l	11,2 km/l	14,6 km/l
Virtus 1.6 MSI	Automática, 6 marchas	7,8 km/l	9,8 km/l	10,8 km/l	13,8 km/l
Golf 1.0 TSI	Automática, 6 marchas	8,4 km/l	10,1 km/l	11,9 km/l	14,3 km/l
Golf 1.6 MSI	Automática, 6 marchas	6,8 km/l	8,9 km/l	10,0 km/l	12,6 km/l

Fonte: Adaptado de INMETRO (2018; 2021).

Ao analisar os dados do Polo, observa-se que o motor 1.0 TSI apresentou consumo ligeiramente melhor em todos os ciclos. Com gasolina, o modelo turbo alcançou 11,6 km/l na cidade e 14,1 km/l na estrada, enquanto o 1.6 MSI registrou

11,0 km/l e 13,8 km/l, respectivamente. Embora a diferença seja pequena, os resultados demonstram que o motor de menor cilindrada consegue entregar maior desempenho sem comprometer o consumo de combustível.

No Virtus, os dois motores apresentaram o mesmo consumo urbano com etanol, atingindo 7,8 km/l. Entretanto, o 1.0 TSI apresentou vantagem nos demais ciclos, principalmente no consumo rodoviário com gasolina, alcançando 14,6 km/l contra 13,8 km/l do motor 1.6 MSI. Como ambos utilizam a mesma transmissão automática, essa diferença está ligada principalmente às características dos motores, como a menor cilindrada, a injeção direta e a capacidade de operar em uma faixa de maior eficiência durante velocidades constantes.

A maior diferença apresentada foi no Golf. Com gasolina, o 1.0 TSI registrou 11,9 km/l na cidade e 14,3 km/l na estrada, enquanto o 1.6 MSI alcançou 10,0 km/l e 12,6 km/l. Isso representa uma vantagem aproximada de 19% no ciclo urbano e 13% no rodoviário para o motor turbo. Com etanol, essa diferença também foi significativa, principalmente na cidade, onde o TSI apresentou 8,4 km/l contra 6,8 km/l do MSI.

Como todas as versões apresentadas utilizam transmissão automática de seis marchas, as diferenças de consumo não podem ser atribuídas apenas à quantidade de marchas ou ao tipo de câmbio. Nesse caso, os resultados evidenciam diretamente os efeitos das características construtivas de cada motor.

De forma geral, o motor 1.0 TSI apresentou consumo igual ou superior ao 1.6 MSI em todos os modelos e ciclos analisados. As diferenças foram menores no Polo e no Virtus, mas se tornaram mais expressivas no Golf. Dessa forma, os dados confirmam que o *downsizing* não proporciona apenas maior torque e desempenho, mas também pode oferecer ganhos de eficiência energética quando comparado a um motor aspirado utilizando condições semelhantes de transmissão e carroceria.

4.3.1 Análise da Eficiência: Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

Seguindo o apresentado na Tabela 6, os motores downsized demonstram claramente uma superioridade no quesito eficiência energética. Entretanto, essa eficiência não está relacionada apenas à redução da cilindrada, mas principalmente ao Consumo Específico de Combustível, conhecido como BSFC (Brake Specific Fuel Consumption). Esse parâmetro representa a massa de combustível consumida para

produzir uma unidade de potência útil, geralmente expressa em g/kWh. Assim, quanto menor o valor de BSFC, maior é a eficiência com que o motor converte a energia química do combustível em trabalho mecânico (HEYWOOD, 2018).

Nos motores de combustão interna, o BSFC varia conforme a rotação e a carga aplicada ao motor, formando regiões de maior e menor eficiência em seus mapas de desempenho. De acordo com Heywood (2018), motores sobrealimentados e de menor cilindrada tendem a operar com maior frequência em regiões de elevada eficiência térmica quando corretamente dimensionados para a aplicação. Isso ocorre porque a sobrealimentação permite atingir níveis de torque elevados sem a necessidade de aumentar o deslocamento volumétrico do motor, reduzindo as perdas inerentes ao funcionamento em cargas parciais.

Dessa forma, os menores valores de consumo observados para o motor 1.0 TSI na Tabela 6 podem ser compreendidos como consequência de uma estratégia de projeto voltada para a melhoria da eficiência global do motor. Embora o presente trabalho não apresente mapas experimentais de BSFC para os motores analisados, os resultados de consumo obtidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular do INMETRO são compatíveis com o comportamento esperado para motores downsized descrito por Heywood (2018).

4.4 Análise de Custos de Manutenção

Um dos principais questionamentos relacionados aos motores *downsized* sobrealimentados diz respeito aos seus custos de manutenção. A presença de turbocompressor ou supercharger, sistema de injeção direta e componentes dimensionados para maiores pressões e temperaturas pode elevar o preço de determinadas peças e exigir maior atenção ao cumprimento do plano de manutenção. Para avaliar esse aspecto, a Tabela 7 apresenta os custos das revisões programadas até os 60.000 km dos modelos Polo, Virtus e Golf equipados com os motores 1.6 MSI e 1.0 TSI. Considerando uma utilização média de 12.000 km por ano, essa quilometragem corresponde a aproximadamente cinco anos de uso.

Tabela 7 – Comparativo de Custos de Revisões (Até 60.000 km).

Revisão	Polo/Virtus 1.6 MSI 2021	Polo/Virtus 1.0 TSI 2021	Diferença Polo/Virtus	Golf 1.6 MSI 2017	Golf 1.0 TSI 2017	Diferença Golf
10.000 km	R\$ 962,30	R\$ 919,64	-R\$ 42,66	R\$ 536,64	R\$ 536,64	R\$ 0,00
20.000 km	R\$ 1.068,89	R\$ 1.026,23	-R\$ 42,66	R\$ 623,59	R\$ 1.407,85	R\$ 784,26
30.000 km	R\$ 953,99	R\$ 911,33	-R\$ 42,66	R\$ 1.254,65	R\$ 911,33	-R\$ 343,32
40.000 km	R\$ 1.500,31	R\$ 1.875,02	R\$ 374,71	R\$ 1.312,99	R\$ 1.407,85	R\$ 94,86
50.000 km	R\$ 953,99	R\$ 911,33	-R\$ 42,66	R\$ 873,03	R\$ 911,33	R\$ 38,30
60.000 km	R\$ 1.068,89	R\$ 1.026,23	-R\$ 42,66	R\$ 1.656,31	R\$ 1.407,85	-R\$ 248,46
Total	R\$ 6.508,37	R\$ 6.669,78	R\$ 161,41	R\$ 6.257,21	R\$ 6.582,85	R\$ 325,64

Fonte: Adaptado de Volkswagen do Brasil (2026).

Os resultados mostram que, no Polo e no Virtus 2021, o custo acumulado das revisões é de R\$ 6.508,37 para o motor 1.6 MSI e de R\$ 6.669,78 para o 1.0 TSI. Dessa forma, a versão sobrealimentada apresenta um acréscimo de R\$ 161,41, equivalente a aproximadamente 2,5% durante os cinco anos analisados. No Golf 2017, o custo passa de R\$ 6.257,21 no 1.6 MSI para R\$ 6.582,85 no 1.0 TSI, representando uma diferença de R\$ 325,64, ou aproximadamente 5,2%. Portanto, embora os motores TSI apresentem custos superiores, a diferença acumulada nas revisões programadas permanece relativamente pequena diante do período e da quilometragem considerados.

As variações observadas entre as revisões estão relacionadas principalmente aos componentes substituídos em cada intervalo. Nas revisões de menor custo, são realizadas normalmente as trocas do óleo do motor, filtro de óleo, filtro de combustível, filtro de ar e anel de vedação do bujão do cárter. Na primeira revisão (10.000km) também ocorre a substituição do próprio bujão. Já as revisões de maior valor podem incluir o filtro de poeira e pólen do sistema de ventilação da cabine. Nos modelos Polo e Virtus, a revisão dos 40.000 km também inclui a substituição das velas de ignição e a aplicação da pasta específica utilizada na montagem das bobinas, o que explica o aumento para R\$ 1.500,31 no motor 1.6 MSI e R\$ 1.875,02 no 1.0 TSI.

A diferença nessa revisão está associada, entre outros fatores, às características das velas utilizadas em cada motorização. O motor 1.0 TSI opera com maiores pressões no interior da câmara de combustão e utiliza componentes de ignição adequados a essas condições, conforme já apresentado anteriormente neste trabalho. Um exemplo claro é o valor do jogo de velas de ignição originais: enquanto o motor 1.6 MSI utiliza velas convencionais com custo médio de R\$ 160,00, o 1.0 TSI exige velas de irídio, que podem ultrapassar os R\$ 450,00 (Volkswagen, 2026, pesquisa realizada em 04 jul. 2026). Além do preço das peças, a manutenção deve respeitar os procedimentos de montagem, o torque de aperto e as especificações estabelecidas pela fabricante. Por esse motivo, oficinas especializadas ou concessionárias podem apresentar maior custo de mão de obra, mas tendem a executar o serviço de maneira mais próxima aos procedimentos determinados pela Volkswagen. A afirmação de que o eletrodo da vela deve permanecer orientado em uma posição específica, entretanto, somente deve ser incluída caso seja localizada uma orientação expressa da fabricante para o motor analisado.

A injeção direta também representa uma diferença importante entre as motorizações analisadas. No motor 1.0 TSI, o combustível é introduzido diretamente na câmara de combustão sob alta pressão, o que exige a utilização de uma bomba e de injetores específicos. Embora esses componentes não estejam incluídos nas substituições programadas apresentadas na Tabela 7, eles podem gerar custos elevados em uma eventual manutenção corretiva. No motor 1.6 MSI, por outro lado, a injeção ocorre no coletor de admissão, por meio de um sistema de menor pressão e construção relativamente mais simples.

Essa diferença também se reflete no preço das peças. No 1.0 TSI, o conjunto de injetores originais pode ultrapassar R\$ 1.500,00, enquanto os componentes equivalentes aplicados ao 1.6 MSI custam, em média, cerca de R\$ 300,00 (VOLKSWAGEN, 2026, pesquisa realizada em 4 jul. 2026). Essa diferença também está presente no sistema de arrefecimento, como bomba d'água, radiador e intercooler que podem elevar os custos de manutenção para o motor sobrealimentado. Dessa forma, os valores apresentados nas revisões programadas não abrangem todos os possíveis gastos de manutenção ao longo da vida útil dos veículos, especialmente aqueles relacionados a falhas não previstas no plano de manutenção.

Para relacionar os custos de manutenção à economia de combustível, foi realizada uma estimativa para 60.000 km, divididos igualmente entre percursos

urbanos e rodoviários. Com gasolina comum a R\$ 6,00 por litro em ambas as motorizações e também com a gasolina aditivada a R\$ 6,60 por litro. Essa comparação foi apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo do gasto com gasolina em 60.000 km.

Modelo	Gasto do 1.6 MSI com gasolina comum	Gasto do 1.0 TSI com gasolina comum	Δ Gasto Economia do TSI	Gasto do TSI com gasolina aditivada	Δ Gasto x MSI Resultado em relação ao MSI
Polo	R\$29.407,11	R\$ 28.283,20	-R\$ 1.123,92	R\$31.111,52	+R\$ 1.704,40
Virtus	R\$ 29.710,14	R\$ 28.400,20	-R\$ 1.309,95	R\$ 31.240,22	+R\$ 1.530,07
Golf	R\$ 32.285,71	R\$27.713,46	-R\$ 4.572,25	R\$ 30.484,81	-R\$ 1.800,90

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

O 1.0 TSI proporciona uma economia estimada de R\$ 1.123,92 no Polo, R\$ 1.309,95 no Virtus e R\$ 4.572,25 no Golf com gasolina comum. A redução no volume de combustível consumido corresponde, respectivamente, a aproximadamente 3,8%, 4,4% e 14,2%. Mesmo descontando a diferença no custo das revisões, o TSI ainda apresenta vantagem de R\$ 962,50 no Polo, R\$ 1.148,53 no Virtus e R\$ 4.246,61 no Golf ao final dos 60.000 km.

Também foi analisado um segundo cenário, no qual o motor 1.6 MSI utiliza gasolina comum a R\$ 6,00 por litro, enquanto o 1.0 TSI é abastecido com gasolina aditivada a R\$ 6,60 por litro. Nesse caso, o maior preço do combustível elimina a vantagem econômica do TSI no Polo e no Virtus. Ao final dos 60.000 km, o gasto com combustível da versão TSI seria R\$ 1.704,40 superior no Polo e R\$ 1.530,07 superior no Virtus. No Golf, entretanto, a maior diferença de consumo entre as motorizações mantém uma economia de aproximadamente R\$ 1.800,90 a favor do 1.0 TSI. Considerando também as revisões, essa vantagem seria reduzida para cerca de R\$ 1.475,26, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo do gasto utilizando gasolina aditivada no TSI e comum no MSI somado aos custos de revisões até 60.000 km.

Modelo	Gasto do 1.6 MSI com revisões e gasolina comum	Gasto do 1.0 TSI com revisões e gasolina comum	Δ Gasto Economia do TSI	Gasto do 1.0 TSI com revisões e gasolina aditivada	Δ Gasto Resultado em relação ao MSI com gasolina comum
Polo	R\$ 35.915,48	R\$ 34.952,98	+R\$ 962,50	R\$ 37.781,30	-R\$ 1.865,82
Virtus	R\$ 36.218,51	R\$ 35.069,98	+R\$ 1.148,53	R\$ 37.910,00	-R\$ 1.691,49
Golf	R\$ 38.542,92	R\$ 34.296,31	+R\$ 4.246,61	R\$ 37.067,66	+R\$ 1.475,26

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Os resultados demonstram que não é adequado afirmar de maneira generalizada que a economia de combustível sempre compensa os maiores custos de manutenção do motor *downsized*. Essa conclusão depende do modelo analisado, do tipo de percurso, do preço dos combustíveis e da escolha entre gasolina comum ou aditivada. Quando ambos utilizam gasolina de mesmo preço, o motor 1.0 TSI apresenta vantagem financeira nos três veículos. Entretanto, quando a versão TSI é abastecida exclusivamente com um combustível aditivado, essa vantagem permanece apenas no Golf, modelo no qual a diferença de eficiência em relação ao 1.6 MSI é mais elevada. Apesar do custo superior, recomenda-se a utilização de gasolina aditivada nos motores turboalimentados, principalmente por sua capacidade de auxiliar na limpeza do sistema de alimentação e reduzir a formação de depósitos, contribuindo para a conservação dos componentes e para o funcionamento adequado do motor ao longo do tempo.

4.5 Durabilidade e Percepção de Mercado

Assim como a implementação de uma nova tecnologia em um mercado consolidado é vista com uma certa resistência, os motores *downsized* também enfrentaram certa resistência quando começaram a se popularizar. A percepção de que os motores de três cilindros e turbo seriam “descartáveis” ou teriam uma vida útil muito inferior à dos tradicionais quatro cilindros aspirados contribuiu para uma visão negativa entre parte dos consumidores.

Os motores aspirados, como o 1.6 MSI, são frequentemente vistos como conjuntos mais robustos devido à menor complexidade dos sistemas de alimentação e à ausência do turbocompressor. Já o 1.0 TSI trabalha com maiores pressões de combustão e utiliza componentes de maior custo, como o turbocompressor, a bomba de combustível de alta pressão, os injetores da injeção direta e os componentes do sistema de arrefecimento. Dessa forma, eventuais falhas provocadas por manutenção inadequada ou utilização de produtos fora das especificações podem gerar custos de reparação mais elevados.

Em relação ao bloco do motor, tanto o 1.0 TSI quanto o 1.6 MSI da família EA211 utilizam construção em alumínio com camisas metálicas nos cilindros. Esse tipo de construção reduz o peso do conjunto e melhora a transferência de calor, mas exige maior precisão durante os processos de usinagem e recuperação. Diferentemente dos antigos blocos de ferro fundido, que normalmente permitem maiores sobremedidas durante a retífica, os blocos de alumínio possuem limites mais restritos e podem exigir encamisamento ou equipamentos especializados. Por esse motivo, dependendo da extensão do dano, a substituição do motor parcial pode ser economicamente mais interessante do que sua recuperação (O MECÂNICO, 2015; OFICINA BRASIL, 2026).

Em pesquisa de mercado realizada em julho de 2026, foram encontrados motores novos originais 1.0 TSI e 1.6 MSI por valores próximos de R\$ 16.990,00, enquanto uma versão completa do motor 1.6 MSI, incluindo coletor e outros componentes, foi anunciada por aproximadamente R\$ 21.990,00. Esses valores variam conforme a configuração do conjunto, o código da peça e os componentes incluídos, não representando necessariamente o custo final de instalação (JS SANTORO, 2026a; JS SANTORO, 2026b).

A Tabela 10 apresenta os principais pontos de atenção encontrados nos dois motores. É importante destacar que esses problemas não possuem uma quilometragem fixa para ocorrer e não devem ser tratados como falhas inevitáveis. Sua incidência depende das condições de uso, da qualidade do combustível e dos lubrificantes, do histórico de manutenção e da forma de utilização do veículo.

Tabela 10 – Principais pontos de atenção: 1.6 MSI vs. 1.0 TSI.

Componente / sistema	1.6 MSI aspirado	1.0 TSI turbo GDI
Ignição	Desgaste de velas e possíveis falhas em bobinas	Desgaste de velas e maior exigência sobre as bobinas
Aspiração	Acúmulo de resíduos no corpo de borboleta e no coletor	Acúmulo de resíduos na admissão e carbonização das válvulas
Injeção	Obstrução ou desgaste dos injetores MPI	Desgaste dos injetores GDI e da bomba de alta pressão
Sobrealimentação	Não se aplica	Desgaste do turbocompressor ou de seu atuador
Sensores e sistema elétrico	Falhas decorrentes de envelhecimento, calor ou umidade	Falhas decorrentes de envelhecimento, calor ou umidade
Distribuição	Desgaste natural da correia, tensionador e polias	Desgaste natural da correia, tensionador e polias
Arrefecimento	Vazamentos na carcaça da válvula termostática ou bomba d'água	Vazamentos ou falhas no módulo da bomba d'água e válvulas termostáticas

Fonte: Elaborado pelo autor (2026) com base em literaturas técnicas.

A ocorrência de falhas prematuras em injetores, bobinas, sensores ou bombas é possível, mas não corresponde ao comportamento esperado desses componentes. Sua vida útil depende diretamente das condições de uso do veículo, da

qualidade do combustível utilizado e do cumprimento das manutenções preventivas. Quando esses cuidados são respeitados, o desgaste tende a ocorrer de forma mais gradual, contribuindo para o prolongamento da durabilidade do sistema como um todo.

O mesmo raciocínio deve ser aplicado à correia dentada. Ruídos, contaminação ou desgaste antes do intervalo previsto não são características normais do motor, mas podem estar relacionados ao uso severo, vazamentos de óleo, instalação incorreta ou falhas no tensionador. A recomendação de substituição por volta de 60 mil quilômetros adotada por algumas oficinas deve ser apresentada como uma prática preventiva independente, e não como uma falha esperada ou uma determinação universal da Volkswagen.

Entre os principais pontos de atenção do motor 1.0 TSI está a carbonização das válvulas de admissão, característica que pode ocorrer mais em sistemas de injeção direta. Como o combustível é injetado dentro da câmara de combustão, ele não passa pela parte traseira das válvulas para realizar sua limpeza. Dessa forma, vapores de óleo provenientes do sistema de ventilação do cárter podem formar depósitos ao longo do tempo independente do combustível utilizado, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Carbonização das válvulas de admissão do motor 1.0 TSI.



Fonte: Quatro Rodas, 2019.

No 1.6 MSI, as falhas normalmente estão relacionadas a componentes convencionais de desgaste, como velas, bobinas, sensores e injetores. Isso não significa que o motor opere em uma condição crítica, mas que esses componentes podem apresentar falhas por envelhecimento, exposição ao calor, umidade ou utilização prolongada. Dessa forma, não devem ser classificados automaticamente como problemas decorrentes de uso severo.

Essa diferença na complexidade dos sistemas influencia diretamente a percepção do mercado. O consumidor tende a considerar o 1.6 MSI mais simples e previsível de reparar, enquanto o 1.0 TSI é visto como um conjunto mais sensível e com componentes de maior custo. Entretanto, essa percepção não significa necessariamente que o motor turbo possua menor durabilidade. Quando abastecido corretamente e mantido conforme as especificações, ele pode apresentar vida útil compatível com o determinado pela fabricante. O principal contraste está no custo e na complexidade de uma eventual manutenção corretiva.

4.6 Impacto Ambiental e Emissões

O desenvolvimento do *downsizing* também foi impulsionado pelo aumento das exigências ambientais. No Brasil, a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), em 1986, estabeleceu limites progressivamente mais rigorosos para gases como monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado. Com isso, as montadoras passaram a investir em motores menores, mais eficientes e com sistemas eletrônicos de controle mais avançados (ANFAVEA, 2025).

Nesse processo, os motores de baixa cilindrada ganharam espaço no mercado brasileiro. Um exemplo foi o Volkswagen Gol 1000, lançado no início da década de 1990, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Volkswagen Gol 1000.



Fonte: Quatro Rodas, 2026.

A redução das emissões de CO₂ está diretamente ligada ao consumo de combustível. Como apresentado anteriormente, o motor 1.0 TSI apresentou menor consumo que o 1.6 MSI em grande parte das condições analisadas. Basicamente, ao consumir menos combustível para percorrer a mesma distância, o motor também tende a emitir menos CO₂.

Entretanto, o consumo não representa sozinho todas as emissões produzidas. A injeção direta pode favorecer a formação de material particulado e, em determinadas condições de carga, também de NO_x e hidrocarbonetos, pois a injeção do combustível diretamente na câmara pode gerar regiões com mistura pouco homogênea, combustão incompleta e temperaturas elevadas em pontos específicos do cilindro. Por isso, o 1.0 TSI depende de um controle eletrônico mais preciso e de um sistema de pós-tratamento eficiente para manter as emissões dentro dos limites exigidos (SANTOS; POLICARPO; SOUSA, 2022). Comparando os dois motores, as emissões de CO₂, NO_x e HC estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Comparativo de Emissões de CO₂, NO_x e HC entre os motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.

Modelo	Emissão de CO ₂	Emissão de NO _x	Emissão de HC
1.0 TSI	99 g/km a 105 g/km	0,01 g/km a 0,03 g/km	0,027 g/km a 0,030 g/km
1.6 MSI	150 g/km a 160 g/km	0,01 g/km a 0,02 g/km	

Fonte: Adaptado de Anfavea ([s.d.]), 2026.

Nos motores turboalimentados, os gases de escape atingem temperaturas elevadas, principalmente em condições de alta carga. Parte dessa energia é aproveitada pela turbina, mas o conjunto do escape continua submetido a grande solicitação térmica. Isso ajuda o catalisador a atingir mais rapidamente sua temperatura de funcionamento, porém também exige maior controle para evitar seu envelhecimento prematuro.

Em pesquisa de mercado realizada em julho de 2026, foram encontrados catalisadores para o Golf 1.0 TSI por valores entre aproximadamente R\$ 1.000,00 e R\$ 2.000,00, enquanto para o Golf 1.6 MSI os valores ficaram próximos de R\$ 900,00. Esses preços variam conforme a procedência, o estado da peça e o código de aplicação.

Dessa forma, o downsizing apresenta vantagem na redução do consumo e das emissões de CO₂. Entretanto, a injeção direta e as maiores pressões de funcionamento exigem sistemas mais avançados para controlar outros poluentes, como HC, NO_x e material particulado. Portanto, o 1.0 TSI pode ser mais eficiente, mas depende de uma tecnologia de controle de emissões mais complexa que o 1.6 MSI.

4.7 Análise do TCO (Total Cost of Ownership)

A análise de viabilidade de um motor não deve considerar apenas o custo inicial de aquisição ou o valor das revisões periódicas. Para uma avaliação mais completa, é necessário analisar o Custo Total de Propriedade, conhecido como TCO (Total Cost of Ownership), que representa todos os gastos envolvidos durante o período de utilização de um veículo. Dessa forma, além da manutenção preventiva, fatores como consumo de combustível, peças de desgaste, complexidade mecânica

e possíveis custos corretivos devem ser considerados para determinar qual tecnologia apresenta a melhor relação custo-benefício ao longo do tempo para o consumidor brasileiro.

No caso dos motores analisados neste trabalho, o 1.0 TSI apresenta uma maior complexidade construtiva devido à presença do turbocompressor, sistema de injeção direta de combustível (GDI), bomba de alta pressão e outros conjuntos avançados de gerenciamento térmico. Naturalmente, esses componentes possuem maior valor agregado e exigem cuidados específicos de manutenção. Por outro lado, essa complexidade é acompanhada por uma maior eficiência energética, principalmente em situações de estrada e utilização com maior demanda de carga, onde o motor consegue transformar uma quantidade menor de combustível em trabalho útil.

Já o motor 1.6 MSI apresenta uma construção mais simples, utilizando aspiração natural e injeção indireta de combustível. Essa característica reduz a quantidade de componentes sujeitos a falhas e torna a manutenção mais acessível, principalmente em regiões onde existe menor disponibilidade de mão de obra especializada. Por outro lado, sua menor eficiência térmica faz com que o consumo de combustível seja geralmente superior, aumentando os custos operacionais conforme a quilometragem percorrida pelo proprietário.

Considerando uma utilização de longo prazo, percebe-se que a diferença entre os motores não está necessariamente no custo de manutenção preventiva, mas sim no perfil de utilização do veículo. Conforme apresentado anteriormente, as revisões programadas do 1.0 TSI possuem valores próximos aos do 1.6 MSI, apresentando uma diferença relativamente pequena no acumulado de 60.000 km. Entretanto, quando analisado o consumo de combustível, principalmente em trajetos rodoviários, o motor *downsized* apresenta vantagem devido ao menor consumo específico e à capacidade de operar em uma faixa de maior eficiência.

Além disso, o comportamento do proprietário possui influência direta no custo total. O motor 1.0 TSI tende a apresentar maior retorno financeiro quando submetido a uma rotina de manutenção adequada, utilização de lubrificantes especificados e abastecimento em locais confiáveis. Quando esses cuidados são ignorados, os sistemas envolvidos podem resultar em reparos de maior valor, principalmente quando há necessidade de substituição do turbocompressor, do sistema de injeção ou do próprio motor. Em contrapartida, o 1.6 MSI apresenta maior

tolerância a condições inadequadas de uso devido à sua construção mais simples, característica que contribuiu para sua boa aceitação no mercado brasileiro.

Essa diferença também pode ser observada no custo de substituição do motor. Em pesquisa de mercado realizada em julho 2026, motores 1.0 TSI parciais ou usados foram encontrados por valores entre aproximadamente R\$ 6.200,00 e R\$ 10.900,00, enquanto um conjunto completo, novo e original, pode custar entre R\$ 16.000,00 e R\$ 17.000,00. No caso do 1.6 MSI, motores parciais ou usados apresentam valores próximos de R\$ 5.000,00 a R\$ 9.000,00, enquanto os conjuntos novos e completos variam entre aproximadamente R\$ 9.000,00 e R\$ 22.000,00, dependendo da configuração e dos componentes fornecidos. Esses valores demonstram que, em ambos os motores, uma falha de maior gravidade pode representar um custo elevado aos proprietários (JS SANTORO, 2026a; JS SANTORO, 2026b).

Portanto, a análise do TCO demonstra que a escolha entre as duas motorizações depende principalmente do perfil de utilização. Para usuários que percorrem maiores distâncias, utilizam o veículo em rodovias ou buscam maior eficiência energética, o 1.0 TSI tende a apresentar melhor retorno econômico ao longo da vida útil. Entretanto, para aplicações onde a prioridade é simplicidade mecânica, menor exigência de manutenção e maior tolerância ao uso severo, o 1.6 MSI ainda apresenta características competitivas.

Dessa forma, o *downsizing* não representa apenas uma redução de cilindrada, mas uma mudança na forma como o custo de um veículo deve ser analisado. A maior eficiência do motor turbo pode compensar sua maior complexidade, desde que o proprietário utilize corretamente a tecnologia. A Tabela 12, faz o comparativo entre os motores analisados.

Tabela 12 – Análise Comparativa do Custo Total de Propriedade (TCO): Motores 1.0 TSI e 1.6 MSI.

Fator Analisado	1.6 MSI (Aspirado)	1.0 TSI (Turbo GDI)	Impacto no TCO
Consumo de combustível	Maior consumo médio	Menor consumo médio	Pequena vantagem 1.0 TSI
Custo das revisões programadas	Menor	Ligeiramente maior	Pequena vantagem 1.6 MSI
Custo de lubrificantes	Menor	Maior (óleos com especificações mais rigorosas)	Vantagem 1.6 MSI
Custo de velas de ignição	Menor	Maior (velas de irídio)	Vantagem 1.6 MSI
Complexidade mecânica	Baixa	Elevada	Vantagem 1.6 MSI
Facilidade de manutenção	Alta	Média	Vantagem 1.6 MSI
Disponibilidade de mão de obra especializada	Alta	Média	Vantagem 1.6 MSI
Probabilidade de reparos de alto valor	Menor	Maior (turbo, bomba de alta pressão e injetores GDI)	Vantagem 1.6 MSI
Desempenho em ultrapassagens	Inferior	Superior	Vantagem 1.0 TSI
Eficiência energética	Menor	Superior	Vantagem 1.0 TSI
Emissões de CO₂	Maiores	Menores	Vantagem 1.0 TSI
Tolerância à manutenção inadequada	Maior	Menor	Vantagem 1.6 MSI
Viabilidade para uso rodoviário intenso	Boa	Excelente	Vantagem 1.0 TSI
Viabilidade para uso urbano simples	Boa	Ligeiramente maior	Pequena vantagem 1.0 TSI

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A análise comparativa demonstra que o motor 1.6 MSI apresenta vantagens relacionadas à simplicidade construtiva, facilidade de manutenção e menor sensibilidade a falhas decorrentes de negligência do proprietário. Em contrapartida, o

motor 1.0 TSI destaca-se pela superior eficiência energética, melhor desempenho e menor consumo de combustível. Dessa forma, o custo total de propriedade não depende exclusivamente dos gastos com manutenção, mas principalmente do perfil de utilização do veículo e da disciplina do proprietário em seguir as recomendações de manutenção estabelecidas pela fabricante.

4.8 Síntese da Viabilidade por Perfil de Usuário

Tendo como base todos os aspectos técnicos, econômicos e ambientais dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI, torna-se evidente que não existe uma tecnologia que seja superior em todos os cenários de utilização. Embora o *downsizing* represente um grande avanço na engenharia automotiva, a escolha entre um motor turbo de menor cilindrada e um motor aspirado tradicional depende diretamente da forma como o usuário utiliza o veículo, seu perfil de manutenção e expectativas criadas.

Para usuários que utilizam o veículo principalmente em trajetos rodoviários, realizam longos deslocamentos ou buscam maior desempenho sem abrir mão da economia de combustível, o motor 1.0 TSI apresenta vantagens significativas. A combinação entre turbocompressor, injeção direta e gerenciamento eletrônico permite entregar maior torque em baixas rotações, melhor capacidade de retomada e maior eficiência energética. Dessa forma, para esse perfil de utilização, a tecnologia *downsized* consegue trazer um benefício prático, reduzindo o consumo e proporcionando uma experiência de condução superior.

Por outro lado, para usuários que priorizam simplicidade mecânica, baixo custo de manutenção e maior tolerância a condições severas de uso, o motor 1.6 MSI apresenta superioridade em relação aos motores *downsized*. Sua construção mais tradicional, com menor quantidade de componentes de alta complexidade, torna o sistema mais fácil de reparar e menos dependente de mão de obra especializada. Essa característica explica por que motores aspirados continuam sendo valorizados principalmente por consumidores que pretendem permanecer muitos anos com o veículo ou que possuem uma rotina de manutenção mais básica.

No caso de aplicações profissionais, como veículos utilizados em frotas ou trabalhos que exigem alta disponibilidade, a escolha torna-se ainda mais dependente do modo de utilização dos veículos. O 1.0 TSI pode apresentar vantagem quando a redução de consumo representa uma economia significativa ao longo de grandes

distâncias percorridas. Entretanto, em operações onde o veículo passa por diferentes condutores, possui manutenção preventiva menos controlada ou enfrenta condições extremas de utilização, a simplicidade do 1.6 MSI pode representar uma vantagem operacional.

Para consumidores que buscam desempenho e tecnologia, o motor 1.0 TSI se destaca como uma evolução clara em relação aos motores aspirados de maior cilindrada. A capacidade de entregar valores de torque superiores enquanto utiliza menor quantidade de combustível demonstra a eficiência da aplicação do *downsizing*. Porém, essa tecnologia exige um perfil de proprietário mais consciente, que compreenda a necessidade de seguir corretamente com as manutenções nos intervalos corretos e utilizar peças para reposição de melhor qualidade.

Em resumo, o motor 1.0 TSI representa uma solução mais avançada e eficiente, adequada para usuários que valorizam desempenho, economia e tecnologia. Já o motor 1.6 MSI permanece como uma alternativa racional para aqueles que priorizam simplicidade, previsibilidade de manutenção e menor complexidade mecânica. Portanto, a viabilidade do *downsizing* não deve ser avaliada apenas pela superioridade técnica, mas pela capacidade da tecnologia atender corretamente ao perfil de utilização ao qual será submetida.

Sob a perspectiva econômica, também deve ser considerado o payback do investimento adicional necessário para adquirir a versão 1.0 TSI. A Equação 3 apresenta a fórmula para calcular o payback.

(EQ. 03)

$$\text{Payback (km)} = \frac{\text{Diferença no valor de aquisição}}{\text{Diferença de economia de combustível em 60.000km}} \times 60.000$$

Com base na diferença entre os valores de aquisição e na economia de combustível estimada para 60.000 km, o retorno ocorreria aproximadamente aos 384 mil km no Polo, 200 mil km no Virtus e 100 mil km no Golf, considerando gasolina de mesmo preço para ambas as motorizações e desconsiderando variações de manutenção, desvalorização e financiamento. Dessa forma, nos modelos Polo e Virtus, a economia de combustível isoladamente exige uma quilometragem elevada para compensar o maior valor de compra, enquanto no Golf o retorno ocorre em um período comparativamente menor devido à maior diferença de consumo entre as

versões. Caso o motor TSI seja abastecido exclusivamente com gasolina aditivada de maior preço, o payback pode ser prolongado ou até mesmo não ocorrer nos modelos em que o custo adicional do combustível supera a economia gerada pelo menor consumo. Assim, a compra do 1.0 TSI não deve ser justificada apenas pelo retorno financeiro, mas também pelos ganhos de desempenho, eficiência e tecnologia oferecidos ao proprietário.

A Tabela 13 apresenta uma síntese das principais características de cada motorização de acordo com diferentes perfis de usuário.

Tabela 13 – Viabilidade dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI conforme perfil de usuário.

Perfil de Usuário	Motor mais indicado	Justificativa
Usuário que percorre longas distâncias	1.0 TSI	Maior eficiência energética e menor consumo em rodovias
Usuário urbano com baixa quilometragem	1.6 MSI	Simplicidade mecânica e menor custo de manutenção
Entusiasta de desempenho	1.0 TSI	Maior torque em baixas rotações e melhor resposta dinâmica
Frotista com controle rigoroso de manutenção	1.0 TSI	Economia operacional ao longo da vida útil
Usuário que busca máxima simplicidade	1.6 MSI	Menor complexidade e maior facilidade de reparo
Proprietário que pretende ficar muitos anos com o veículo	Depende do uso, km percorrido e combustível utilizado	Ambos podem apresentar boa durabilidade quando corretamente mantidos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou a viabilidade técnica e econômica da tecnologia downsizing por meio da comparação entre os motores Volkswagen 1.0 TSI e 1.6 MSI. Os resultados demonstraram que o motor 1.0 TSI apresenta melhor desempenho e menor consumo de combustível, principalmente devido à sobrealimentação, à injeção direta e ao gerenciamento eletrônico mais avançado.

Em relação à manutenção preventiva, as diferenças de custo entre as motorizações foram relativamente pequenas até os 60.000 km. Entretanto, o motor TSI possui maior complexidade construtiva, com componentes como turbocompressor, bomba de alta pressão e injetores diretos, que podem elevar os custos em eventuais manutenções corretivas. O motor 1.6 MSI, por sua vez, apresenta maior simplicidade mecânica e maior facilidade de reparo.

A análise econômica mostrou que a redução no consumo do motor 1.0 TSI pode compensar os maiores custos de aquisição quando os dois motores utilizam combustíveis de preços semelhantes. Contudo, o período de retorno do investimento, ou payback, varia de forma significativa entre os veículos analisados. Considerando apenas a economia de combustível, o retorno estimado ocorre em aproximadamente 384 mil km no Polo, 200 mil km no Virtus e 100 mil km no Golf. Esses resultados demonstram que, no Polo e no Virtus, é necessária uma quilometragem elevada para que a economia de combustível compense o maior valor de aquisição, enquanto no Golf o retorno ocorre em uma distância menor devido à maior diferença de consumo entre as versões.

Quando o motor TSI é abastecido exclusivamente com gasolina aditivada de maior preço, esse payback pode ser prolongado ou até mesmo não ocorrer, dependendo do modelo e do perfil de utilização. Além disso, a estimativa considera apenas os gastos com combustível, não incluindo possíveis diferenças de manutenção corretiva, seguro, financiamento e desvalorização.

Dessa forma, conclui-se que a tecnologia downsizing é tecnicamente viável no mercado brasileiro, mas não representa necessariamente a melhor escolha econômica para todos os consumidores. O motor 1.0 TSI é mais indicado para usuários que priorizam desempenho, eficiência e maior utilização do veículo. Já o 1.6 MSI permanece como uma alternativa adequada para quem valoriza simplicidade, previsibilidade de manutenção e menor complexidade mecânica.

Portanto, a escolha entre as duas motorizações deve considerar não apenas potência e consumo, mas também o tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial, a quilometragem anual, o tipo de percurso, os custos de combustível, a manutenção e o perfil do proprietário.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- **Análise Experimental em Bancada:** Propõe-se a realização de ensaios práticos em dinamômetro dos motores 1.0 TSI e 1.6 MSI novos com e 60.000 km rodados, avaliando parâmetros como torque, potência, consumo específico de combustível (BSFC), eficiência térmica e comportamento em diferentes regimes de funcionamento, a fim de validar os dados obtidos por meio de literatura e especificações técnicas.
- **Estudo de Durabilidade em Condições Severas de Uso:** Sugere-se uma análise aprofundada dos impactos causados por diferentes condições de utilização nos motores downsized, considerando fatores como manutenção preventiva, qualidade do combustível, uso urbano intenso e longos períodos de funcionamento, buscando avaliar a influência desses fatores na confiabilidade dos componentes.
- **Análise Econômica de Longo Prazo (TCO):** Recomenda-se ampliar o estudo do Custo Total de Propriedade (Total Cost of Ownership), considerando períodos maiores de utilização, como 10 anos ou 200.000 km, incluindo fatores como desvalorização do veículo, seguro, custos de reparos fora da garantia e valor de revenda, para uma avaliação econômica mais completa.
- **Avaliação das Emissões em Motores com Injeção Direta:** Propõe-se um estudo experimental das emissões geradas por motores turboalimentados com injeção direta, analisando parâmetros como CO₂, NO_x, hidrocarbonetos e material particulado, buscando compreender o equilíbrio entre eficiência energética e impacto ambiental.
- **Comparação entre Diferentes Tecnologias Downsized:** Sugere-se uma análise comparativa entre motores turbo de baixa cilindrada de diferentes fabricantes presentes no mercado brasileiro, avaliando se os benefícios e desafios identificados no motor 1.0 TSI são características gerais da tecnologia downsizing ou específicas de determinada solução de engenharia.

7 REFERÊNCIAS

AFTON CHEMICAL. **Understanding Low Speed Pre-Ignition (LSPI)**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.aftonchemical.com/resources-events/industry-trends/api-sn-plus-lubricant-specifications/understanding-low-speed-pre-ignition/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

ALUGA GERA. **Diferenças entre motores do ciclo Otto e ciclo Diesel**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>. Acesso em: 12 maio 2026.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2025**. São Paulo, 2025. Disponível em: https://anfavea.com.br/site/wp-content/uploads/2025/06/DIGITAL-ANUARIO-2025ALT.CAP_4_compressed.pdf. Acesso em: 8 jun. 2026.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Veículos leves do ciclo Otto: emissões de modelos Volkswagen**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.anfavea.com.br/Emissoes/TabelaVolkswagenEmissoes.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

AUTOENTUSIASTAS. **Golf TSI: uma ótica diferente**. [S. l.], 7 set. 2016. Disponível em: <https://autoentusiastas.com.br/2016/09/golf-tsi-uma-otica-diferente/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

AUTOENTUSIASTAS. **VW up! 1.0 TSI: alta diversão, baixo consumo**. [S. l.], 30 jul. 2015. Disponível em: <https://autoentusiastas.com.br/2015/07/vw-up-10-tsi-alta-diversao-baixo-consumo/>. Acesso em: 8 jun. 2026.

AUTOESPORTE. **Gasolina premium: quando faz sentido? Entenda as vantagens do combustível**. 23 jan. 2026. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/combustivel-consciente/noticia/2026/01/gasolina-premium-quando-faz-sentido-vantagens.ghtml>. Acesso em: 15 jun. 2026.

AUTOPARTSWD. **Motor VW EA211: especificações, problemas comuns e manutenção**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://autopartswd.com/pt/volkswagen-ea211-engine-guide/>. Acesso em: 1 jun. 2026.

BENAZIO, Yago Levi Acypreste; LISBOA, Fábio Cordeiro de. **Análise comparativa da curva de torque e potência do motor EA211 1.0 L TSI e MPI**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA, 29., 2023, Goiânia. Anais do XXIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM). Goiânia: ABCM, 2023. Disponível em: <https://www.sistema.abcm.org.br/articleFiles/download/38181>. Acesso em: 15 jun. 2026.

BITU, Felipe. **VW Gol 1000 era simples, apertado e “pé de boi”, mas fez sucesso**. Quatro Rodas, São Paulo, 30 set. 2023. Atualizado em: 4 jun. 2026. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carros-classicos/classicos-o-popular-vw-gol-1000/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

BOMPREGO AUTOPEÇAS. **Coxim motor VW Polo 1.6 MSI manual 01/2018 até 12/2021, lado direito, Nakata NB31011**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.bomprecopecas.com.br/produto/coxim-motor-vw-polo-1-6-msi-manual-01-2018-ate-12-2021-lado-direito-nakata-nb31011>. Acesso em: 6 jul. 2026.

BRING A TRAILER. **1979 Honda Civic CVCC Hatchback**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://bringatrailer.com/listing/1979-honda-civic-10/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. v. 1. São Paulo: Blucher, 2012.

CANAL DA PEÇA. **Embreagem: como funciona? Entenda tudo!** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.canaldapeca.com.br/blog/embreagem-como-funciona-entenda-tudo/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

CARROS E GARAGEM. **Ford Fiesta Supercharger: o nacional pioneiro no uso de compressor mecânico**. [S. l.], 14 nov. 2024. Disponível em: <https://www.carrosegareagem.com.br/ford-fiesta-supercharger-o-nacional-pioneiro-no-uso-de-compressor-mecanico/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

EBERHARDT, Leonardo Dresch; PINA, José Augusto; STOTZ, Eduardo Navarro. **O princípio da precaução e a promoção da saúde: impactos sociais da indústria automobilística**. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 43, n. esp. 8, p. 302-313, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/yK59fQ6Zz4TrJG9VxC6cKSm/?lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2026.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS (FIPE). **Tabela Fipe: preço médio de veículos**. São Paulo, [s. d.]. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

GILES, Chris. **Novo choque de gás e petróleo eleva o risco de estagflação**. Valor Econômico, São Paulo, 9 mar. 2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/mundo/noticia/2022/03/09/novo-choque-de-gas-e-petroleo-eleva-o-risco-de-estagflacao.ghtml>. Acesso em: 8 jun. 2026.

HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

HYDRO-THERMAL. **Direct Steam Injection**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.hydro-thermal.com/direct-steam-injection/>. Acesso em: 20 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE)**. Brasília, DF, [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em: 8 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Proposta CONAMA L7/L8: versão 3**. Brasília, DF, [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/centrais-de-conteudo/arquivos/arquivos-pdf/2017-10-proposta-conama-l7-l8-v3-m-pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE Veicular)**. Brasília, DF, [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular>. Acesso em: 15 jun. 2026.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). **Downsized, boosted gasoline engines: can they deliver real-world CO₂ reductions and fuel savings?** Washington, DC, 2016. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Downsized-boosted-gasoline-engines_working-paper_ICCT_27102016.pdf. Acesso em: 8 jun. 2026.

JS SANTORO. **Motor 1.0 TSI 3 cilindros EA211 Polo Virtus 04C100034**. [S. l.], 2026a. Disponível em: <https://www.jssantoro.com.br/04c100034>. Acesso em: 5 jul. 2026.

JS SANTORO. **Motor Volkswagen 1.6 16V MSI EA211 0 km completo com coletor**. [S. l.], 2026b. Disponível em: <https://www.jssantoro.com.br/04e100012am>. Acesso em: 5 jul. 2026.

LD AUTO. **Motores de combustão interna: downsizing.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://ldauto.net>. Acesso em: 12 maio 2026.

LD AUTO. **Sobrealimentação e o turbocompressor.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://ldauto.net/pt/sobrealimentacao-e-o-turbocompressor>. Acesso em: 12 maio 2026.

MARGONATO, Caio Henrique. **Downsizing dos motores de combustão interna na indústria automotiva.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/55208/1/Caio%20Henrique%20Margonato.pdf>. Acesso em: 6 maio 2026.

MARTIN, S.; BEIDL, C.; MUELLER, R. **Responsiveness of a 30 bar BMEP 3-cylinder engine: opportunities and limits of turbocharged downsizing.** SAE Technical Paper 2014-01-1646. Warrendale, PA: SAE International, 2014.

MERCADO LIVRE. **Coxim hidráulico do motor VW Up 1.0 TSI 2016, 2017 e 2018.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/coxim-hidraulico-do-motor-vw-up-10-tsi-2016-2017-2018/up/MLBU3192520187>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MOTOR MAGAZINE. **Resolving Low-Speed Pre-Ignition.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.motor.com/magazine-summary/resolving-low-speed-pre-ignition/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

MOTOR1.COM. **Briga em casa: VW Golf 1.0 TSI x Golf 1.6 MSI.** 1 abr. 2017. Disponível em: <https://motor1.uol.com.br/news/140848/melhor-compra-vw-golf-10-tsi-x-golf-16-msi/>. Acesso em: 6 maio 2026.

MOTOR1.COM. **VW Polo e Virtus 1.6 automáticos fazem até 13,8 km/l, segundo Inmetro.** 20 jul. 2018. Disponível em: <https://motor1.uol.com.br/news/253772/volkswagen-polo-virtus-16-automatico-consumo/>. Acesso em: 8 jun. 2026.

NGK. **Velas especiais: confira os benefícios para os motores turbo.** São Paulo, jun. 2022. Disponível em: <https://automotivo.ngkntk.com.br/velas-especiais-confira-os-beneficios-para-os-motores-turbo/>. Acesso em: 5 jul. 2026.

O GLOBO. **Retrovisor: downsizing para fugir da crise do petróleo.** Rio de Janeiro, 29 nov. 2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/carros/retrovisor-downsizing-para-fugir-da-crise-do-petroleo-20471976>. Acesso em: 8 jun. 2026.

O MECÂNICO. **Correia dentada dos motores EA211 possui vida útil estendida.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://omecanico.com.br/correia-dentada-dos-motores-ea211-possui-vida-util-estendida/>. Acesso em: 1 jun. 2026.

O MECÂNICO. **Detalhes mecânicos do motor VW 1.0 TSI EA211.** 2 fev. 2018. Disponível em: <https://omecanico.com.br/ed-286-motor-detalhes-mecanicos-do-motor-vw-10-tsi-ea211/>. Acesso em: 6 maio 2026.

O MECÂNICO. **Novo motor EA211: tecnologia mais leve, com menos atrito.** [S. l.], 19 ago. 2015. Disponível em: <https://omecanico.com.br/novo-motor-ea211-tecnologia-mais-leve-com-menos-atrito/>. Acesso em: 5 jul. 2026.

O MECÂNICO. **Volkswagen equipa o Golf com motor 1.0 TSI de 125 cv.** [S. l.], 8 mar. 2017. Disponível em: <https://omecanico.com.br/volkswagen-equipa-o-golf-com-motor-1-0-tsi-de-125-cv/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

OFICINA BRASIL. **Motor EA211 3 cilindros 1.0 TSI: tecnologia e eficiência.** [S. l.], 5 jul. 2024. Disponível em: <https://oficinabrasil.com.br/noticia/volkswagen/motor-ea211-3-cilindros-1-0-tsi-tecnologia-eficiencia>. Acesso em: 13 maio 2026.

OFICINA BRASIL. **Motor VW EA211: mitos e verdades.** São Paulo, 12 fev. 2026. Disponível em: <https://oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/motor-vw-ea211-mitos-e-verdades>. Acesso em: 5 jul. 2026.

PEDAL COMMANDER. **Motores de 3 cilindros vs 4 cilindros: qual vence em desempenho, eficiência e confiabilidade?** Pedal Commander Blog, 26 nov. 2025. Disponível em: <https://pedalcommander.com/pt-br/blogs/garage/3-cylinder-vs-4-cylinder-engines-which-is-better>. Acesso em: 20 maio 2026.

QUATRO RODAS. **Golf 1.0 TSI x Golf 1.6 MSI: dois pesos, duas medidas.** São Paulo, 26 out. 2016. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/testes/golf-1-0-tsi-x-golf-1-6-msi-dois-pesos-duas-medidas/>. Acesso em: 10 maio 2026.

QUATRO RODAS. **Quais as vantagens das velas de irídio?** São Paulo, 15 fev. 2017. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/auto-servico/quais-as-vantagens-das-velas-de-iridio/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

QUATRO RODAS. **Todos os motores turbo precisam de intercooler?** São Paulo, 14 out. 2016. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/noticias/todos-os-motores-turbo-precisam-de-intercooler/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

QUATRO RODAS. **VW Golf vira nacional e parte de R\$ 74.590 com motor 1.6 MSI.** São Paulo, 22 jan. 2016. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/noticias/vw-golf-vira-nacional-e-parte-de-r-74-590-com-motor-1-6-msi/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

SAE INTERNATIONAL. **Experimental studies on the occurrence of low-speed pre-ignition in turbocharged GDI engines.** SAE Technical Paper 2015-01-0753. Warrendale, PA: SAE International, 2015.

SAE INTERNATIONAL. **Understanding low speed pre-ignition phenomena across turbo-charged GDI engines and impact on future engine oil design.** SAE Technical Paper 2015-01-2028. Warrendale, PA: SAE International, 2015.

SANTOS, L. G. F.; POLICARPO, L. S.; SOUSA, N. S. **Comparação de emissões entre veículos de injeção direta e indireta.** 2022. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/29763>. Acesso em: 15 jun. 2026.

SCHÜMANN, Bernd. **The downsizing potential of gasoline engines.** MTZ Worldwide, Wiesbaden, v. 75, n. 11, p. 40–45, 2014. DOI: 10.1007/s38313-014-0246-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s38313-014-0246-1>. Acesso em: 16 jun. 2026.

VELMURGAN, V.; KUMAR, J. V. N. Rajesh; THANIKAIKARSAN, S. **A survey NVH analysis of three cylinder passenger vehicle.** Materials Today: Proceedings, [S. l.], v. 45, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320340220>. Acesso em: 16 jun. 2026.

VIANA, L. B. N. S. **Motor Flex: análise comparativa de performance e emissão de gases com diferentes combustíveis.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Ficha técnica: Novo Polo 1.0 MPI.** São Bernardo do Campo, SP, 2017. Disponível em: <https://vw-digital-cdn-br.itd.vw.com.br/assets/newsroom-cdn-br-ps/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Novo%20Polo%201.0.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Ficha técnica: Novo Polo 1.6 MSI.** São Bernardo do Campo, SP, 2017. Disponível em: <https://vw-digital-cdn-br.itd.vw.com.br/assets/newsroom-cdn-br-ps/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Novo%20Polo%201.6%20MSI.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Ficha técnica: Polo 200 TSI automático.** São Bernardo do Campo, SP, 2017. Disponível em: <https://vw-digital-cdn-br.itd.vw.com.br/assets/newsroom-cdn-br-ps/Ficha%20T%C3%A9cnica%20%20200%20TSI%20autom%C3%A1tico.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Ficha técnica: T-Cross Highline 250 TSI.** São Bernardo do Campo, SP, [s. d.]. Disponível em: <https://vw-digital-cdn-br.itd.vw.com.br/assets/newsroom-cdn-br-ps/Ficha%20T%C3%A9cnica%20T-Cross%20Highline%20250%20TSI.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Revisões Volkswagen.** São Bernardo do Campo, SP, [s. d.]. Disponível em: <https://www.vwbr.com.br/revisao/default/revisao>. Acesso em: 8 jun. 2026.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Tabela de lubrificação Maxi Performance: versão 13.** São Bernardo do Campo, SP, abr. 2020. Disponível em: https://www.vw.com.br/idhub/content/dam/onehub_pkw/importers/br/oleos-e-fluidos/docs/Tabela-de-lubs-VW-13.pdf. Acesso em: 15 jun. 2026.