

## MOTORES A COMBUSTÃO TÊM FUTURO?

Artur Sabino de Andrade<sup>1</sup>

Alfredo Müllen da Paz<sup>2</sup>

**Resumo:** O motor a combustão, mesmo após 150 anos de sua invenção, se mantém como principal propulsor das necessidades energéticas e logísticas do mundo. Analisando a relação entre as demandas a que são submetidos e as alternativas energéticas desejadas pelo mercado, percebe-se o início de uma transição para um modelo mais eficiente e econômico de propulsão nos meios civis, empresariais e militares. As desvantagens técnicas, somadas às instabilidades constantes que o mercado petrolífero é submetido, estão abrindo caminho para os motores elétricos nas mais diversas áreas dos mais diversos mercados. O mais notável é o automobilístico, que já apresenta parcela expressiva de veículos híbridos e elétricos nas vendas dos principais mercados do mundo, evidenciando um despertar do mercado para as vantagens econômicas (menor custo por quilômetro rodado), ambientais (emissão de poluentes nula em veículos 100% elétricos e muito reduzida em híbridos) e de qualidade de vida (sem ruídos e visitas ao posto de gasolina) proporcionadas pelo motor elétrico. Porém setores como o aeronáutico e o naval têm demandas que ainda não conseguem ser supridas por esse tipo de motorização devido a limitações técnicas ainda a serem superadas, tendo então que operar com os motores a jato, que suprem as grandes demandas por potência dos cargueiros e jumbos.

---

<sup>1</sup> Aluno do Ensino Médio do Colégio de Aplicação da UFSC. Bolsista do CNPq, PIBIC-EM. Contato: [sabinoartur@outlook.com](mailto:sabinoartur@outlook.com)

<sup>2</sup> Professor de Física do Colégio de Aplicação da UFSC. Pesquisador e orientador do PIBIC-EM. Contato: [alfredo.paz@ufsc.br](mailto:alfredo.paz@ufsc.br)

**Palavras-chave:** Carro elétrico. Motor a combustão. Novas tecnologias. Indústria Automotiva.

**Abstract:** The combustion engine, even after 150 years of its invention, is still the main propulsion source of logistic and energetic needs of the world. Analyzing the relation between its current demands with alternative energy sources desired by the market, it becomes evident that transitional process has begun to a more efficient and cheaper model of propulsion sources for civilian, military and corporate applications. Its technical disadvantages, plus the constant instabilities of oil market, are the main factors that make the combustion engine be replaced by the electrical engine in many projects around the world. We can clearly see this on automotive manufacturers, where hybrid and electric vehicles already represent a considerable share on sells of the main markets of the world, showing that buyers are even more seeking lower costs for keeping the vehicle, no gas emotions, and life quality (no noise and refuel at gas stations), provided by the use of the electrical engine. However, the aviation and naval markets have power demands that are incompatible with those that the current electrical engines can provide, having to operate with jet engines in order to fulfill its duties.

**Keywords:** Electric Vehicle; Combustion Engine; New Technologies; Automotive Industrie

## **Introdução**

Durante o ano de 2012, sob coordenação do Sr. Prof. Dr. Alfredo Müllen da Paz, foram feitos encontros no intuito de elaborar com maior precisão o desenvolvimento dessa pesquisa financiada pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Dentre os mais relevantes, pode-se destacar os ocorridos no final de setembro e começo de outubro de 2012 para elaboração relatório preliminar e elaboração do cartaz a ser exposto e apresentado no Seminário de Iniciação Científica (SIC) da UFSC/CNPQ, ocorrido em 19 de outubro de 2012.

No mês seguinte ao SIC, o trabalho já finalizado foi apresentado no Colégio de Aplicação da UFSC por meio de slides, também desenvolvidos sob supervisão do Prof. Alfredo Mullen da Paz, a estudantes, professores, funcionários do Colégio de Aplicação e a comunidade interessada.

O relatório resultante desse ano de pesquisas, apresentações e encontros pode ser conferido na íntegra abaixo, trazendo uma reflexão acerca dos motivos que impulsionam a transição da indústria automotiva para o uso de veículos elétricos

## **1 O motor a combustão interna**

### **1.1 História**

O polêmico motor a combustão interna, protagonista dos meios de transporte e do aquecimento global, se vê em uma situação delicada. Todos dizem que está ultrapassado, porém ninguém arrisca substituí-lo. Há mais de cem anos a ideia de transformar energia química em mecânica vem evoluindo e, junto com ela, as facilidades para o meio industrial e cotidiano.

Concebidos com o propósito de facilitar a vida da sociedade, motores a combustão interna acabaram diretamente ligados ao progresso tecnológico de vários setores. No meio da revolução industrial, substituiu os motores a vapor por, além de terem melhor desempenho, serem mais baratos de manter. Esteve presente desde a produção de energia elétrica para as fábricas até como propulsor de veículos.

Existem diversos modelos de motores a combustão interna para várias finalidades. Na aviação comercial e militar a turbina é mais

utilizada, já na área de transporte terrestre os ciclos Diesel e Otto predominam, apesar de estarem perdendo espaço para o motor elétrico aos poucos.

## 1.2 Ciclo Otto

O motor que temos em nossos automóveis apresentam ciclo de quatro tempos, inventado pelo alemão Nikolaus Otto, em 1876. O termo “quatro tempos” se refere as etapas que o motor precisa fazer para completar um ciclo, ou seja, terminar da mesma forma que começou (veja figura 1).

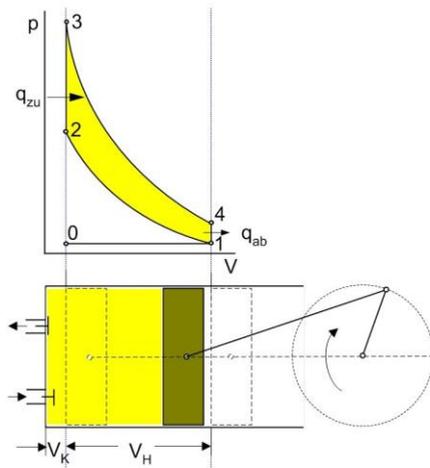


Figura 1 – Diagrama Pressão versus volume de um ciclo Otto.

Na primeira ocorre a admissão de combustível e gás atmosférico, que é então comprimido na etapa dois. Na terceira etapa um componente denominado “vela” cria uma centelha que inicia a reação de combustão no combustível compactado, expandindo o ar idealmente de forma adiabática. A energia da explosão é transferida do pistão para o virabrequim, que por sua vez segue para a caixa de câmbio e, por fim, para as rodas. Na última etapa o CO<sub>2</sub> (gás

carbônico) é expelido junto com outros gases residuais e água, pois sua presença na câmara de combustão suprime as futuras explosões.

Esse tipo de motor funciona com vários tipos de combustíveis contanto que seja regulado para o mesmo. O mais usado é a gasolina, porém biocombustíveis como o etanol têm uma fatia considerável no mercado de alguns países, como Brasil, Estados Unidos, Canadá.

### **1.3 Ciclo Diesel**

Os motores com ciclo Diesel têm um funcionamento muito semelhante aos de ciclo Otto, porém não necessitam de uma centelha para queimar a mistura ar/combustível. A mesma explode com a pressão gerada pelo pistão ao se aproximar de seu ponto morto superior. A expansão do ar no ciclo diesel ocorre em duas etapas, a primeira de forma isobárica e a segunda adiabática. Por trabalhar com taxas de compressão mais elevadas os motores Diesel costumam ser mais robustos e pesados que os motores Otto. Além de claro, só funcionarem com diesel ou biodiesel.

No Brasil, veículos leves (automóveis, motos, etc) são proibidos de serem vendidos com motorização Diesel, restringindo suas aplicações principalmente a veículos pesados (ônibus, caminhões, locomotivas) e geradores de energia elétrica. Isso se deve a uma lei antiga de 1976 onde o governo optou por proibir a comercialização de carros movidos a diesel para proteger o mercado da crise do petróleo dos anos 70. Também se usou o argumento que esse tipo de motorização era mais barulhenta e poluidora. A crise passou e os motores evoluíram, porém a lei não foi atualizada. Apesar disso, algumas montadoras de automóveis fabricam veículos com esse tipo de motorização no Brasil para exportação, principalmente para a Argentina.

### **1.4 Ciclos alternativos**

Existem diversos ciclos alternativos que, a primeira vista, apresentam rendimento consideravelmente superior ao atual ciclo

quatro tempos porém, por não haverem investimentos pesados nesses projetos, não se sabe como esses novos

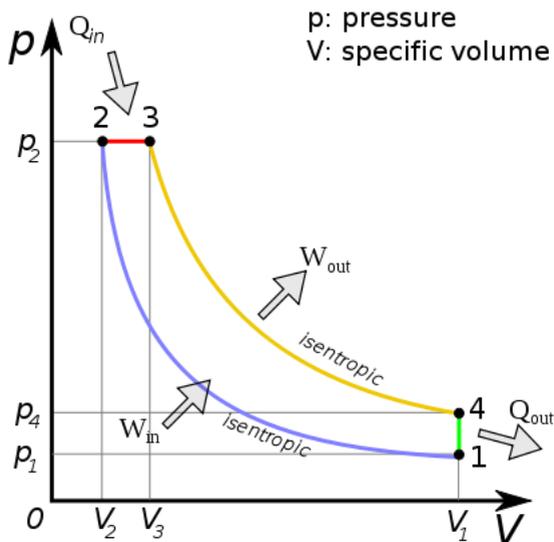


Figura 2 – Diagrama pressão versus volume de um ciclo Diesel. ciclos/motores vão se comportar a longo prazo e em todas as situações de uso que o atual ciclo quatro tempos é aplicado.

O ciclo alternativo que mais fez sucesso foi o Wankel, idealizado pelo alemão Felix Heinrich Wankel em 1933. Mas nessa época ele ainda não estava “maduro” o suficiente para ser usado na indústria e a segunda guerra mundial atrasou muito o seu desenvolvimento.

Somente em 1957 ele passou a ser usado em automóveis (no NSU spider) e adquiriu as formas atuais. O funcionamento do motor Wankel é simples (como mostra a figura 8) e consiste em um motor rotatório que usa um rotor parecido com um triângulo em vez de pistões. Têm como principais vantagens em relação ao motor convencional a quase ausência de vibrações por só existir movimento

rotatório, menor desgaste dos componentes, conseqüentemente aumentando a vida útil do conjunto.

Entre os pontos negativos estão problemas de vedação gerado pela dilatação térmica e sempre operar em temperatura e rotações mais elevadas, além de maior consumo de combustível.

As quatro etapas que o motor Wankel realiza são as mesmas do motor quatro tempos (admissão, compressão, combustão, exaustão), porém por ser rotatório e ter um rotor com três lados, há sempre três dessas etapas acontecendo simultaneamente em regime permanente.

Mesmo sendo considerado o motor mais avançada da época, ele nunca teve uma parcela muito grande do mercado apesar de ser usado por grandes marcas como BMW, RollsRoyce, General Motors e principalmente Mazda. O motor wankel e outros ciclos alternativos foram aos poucos sendo descontinuados devido a atual resistência do mercado às emissões de carbono. Com isso as montadoras começaram a investir em outros tipos de energia para mover seus veículos.

## **2 Aviação**

### **2.1 História**

No setor da aviação, as primeiras aeronaves possuíam propulsores de ciclo 4 tempos adaptados para as condições de uso de voo. Os engenheiros da época chegaram a conclusão que os motores rotatórios (como mostra a figura 2) diminuiriam o

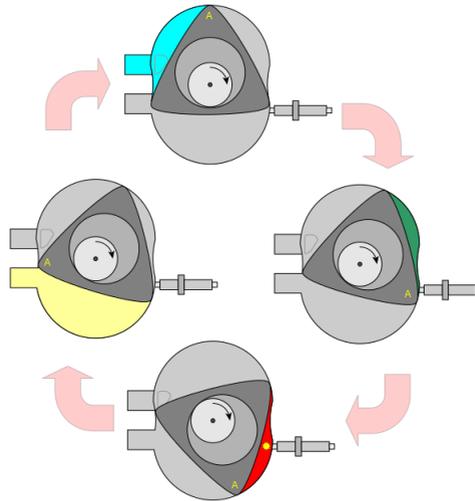


Figura 3 – Esquemático do ciclo Wankel.

peso e o espaço necessário para posicioná-lo na aeronave. Sua estreia aconteceu nas aeronaves de combate durante a primeira guerra mundial.

Apesar de sua facilidade de instalação e baixo peso, as exigências do setor aeroviário se tornaram mais complexas e os pontos fracos desse tipo de propulsor o tornou tecnicamente inviável. O mais grave deles era a incapacidade de controlar o nível de aceleração, cabendo ao piloto ter que desligá-lo por alguns instantes se quisesse reduzir a velocidade ou altitude, resultando em um processo pouco preciso e relativamente perigoso.

Passou-se então a serem utilizados motores em V (geralmente nas aeronaves de guerra) e radiais (em aeronaves de grande porte). Os motores em V eram basicamente os mesmos utilizados em automóveis, porém seus pistões possuíam uma inclinação entre 90° e 180°. Já o motor radial é a evolução do motor rotatório.

O grande avanço foi conectar os pistões a um virabrequim, que era por sua vez conectado a hélice. Isso possibilitou não só ter um controle maior sobre a aceleração, como também diminuir as

vibrações e ruídos. No motor rotatório, os pistões eram ligados diretamente no eixo da hélice.

## 2.2 Ciclo Brayton - Turbina

Atualmente a turbina é mais utilizado em aeronaves militares e de médio a grande porte por conseguir operar em grandes altitudes e entregar grande potência. A utilização desse tipo de motor revolucionou a aviação por viabilizar a criação de aeronaves maiores e mais rápidas, reduzindo drasticamente

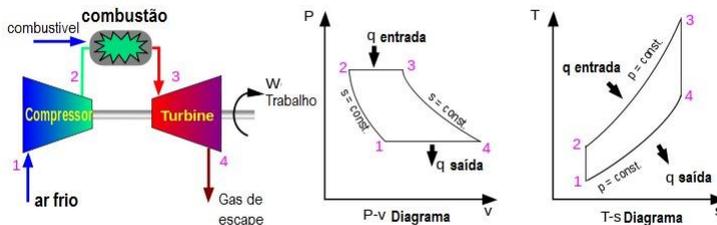


Figura 4 – Esquemático do funcionamento do ciclo Brayton.

o tempo dos voos e aumentar a capacidade de carga.

Seu funcionamento (como mostra a figura 5) tem como objetivo expelir um fluido em alta velocidade para gerar força de propulsão. No caso da aviação o fluido usado é o ar atmosférico.

O ciclo termodinâmico que descreve o funcionamento desse motor é o ciclo Brayton, caracterizado por quatro etapas. Na primeira ocorre a compressão de ar atmosférico de forma isentrópica que, em seguida, recebe o combustível. Idealmente a queima promove uma expansão isobárica do ar na turbina, sendo expelido em alta velocidade.

A energia do fluido expelido movimenta as pás e permite que o processo continue a funcionar em regime permanente. Esse tipo de

motor também é usado em usinas termoelétricas, embarcações de grande porte e tanques de guerra. Nesses dois últimos casos, os veículos não se movimentam devido ao empuxo, mas pela energia mecânica resultante da rotação do eixo central do motor. Nas embarcações esse eixo acaba ligado a

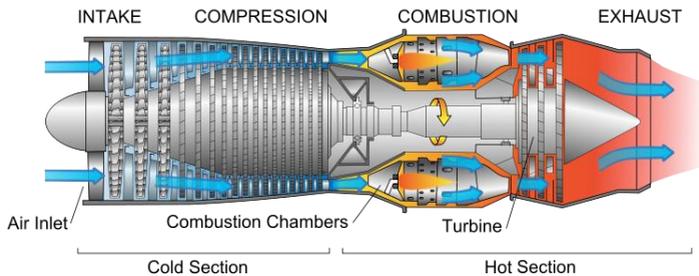


Figura 5 – Esquemático de uma turbina.

uma hélice submersa que impulsiona o navio, e nos tanques de guerra esse eixo é conectado a uma caixa de câmbio que acaba conectada as rodas.

### 2.3 Resistência a inovação

Apesar de ter se adaptado para atender a novas exigências de mercado, o setor de motores a combustão interna é muito conservador ao se tratar de inovação. Nos últimos 100 anos, as grandes revoluções que aconteceram nele foram o uso da eletrônica para administrar o funcionamento do motor e materiais mais leves e resistentes, porém a “alma do negócio” continua a mesma.

## 3 Mobilidade Elétrica

Atualmente os motores elétricos são os mais utilizados nos protótipos e modelos “verdes” por poder ter sua energia adquirida de várias maneiras, desde hidrelétricas até energia solar.

### 3.1 Motor Elétrico

A manutenção mais barata devido a maior simplicidade dos motores elétricos também facilita sua aceitação pelo mercado e pelas montadoras. Seu funcionamento consiste na interação entre um campo magnético e condutores de corrente elétrica com um eixo central. Ao passar pelos condutores a corrente gera um campo eletro magnético que gira o eixo produzindo a energia mecânica necessária para realizar sua função.

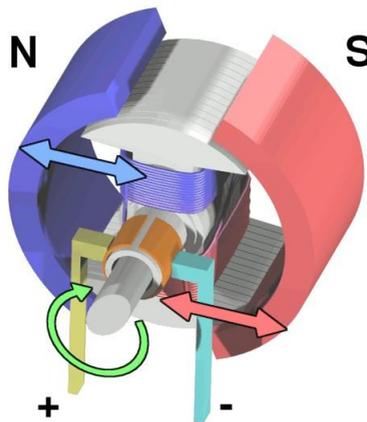


Figura 6 – Interação do campo magnético com o eixo de saída em um motor elétrico

## 4 Perspectivas para a eletrificação da frota

Os constantes conflitos somados ao despertar dos principais mercados pelos problemas ambientais aceleram o processo de substituição do petróleo como fonte de energia e facilitam o caminho do motor elétrico como futuro da propulsão dos transportes terrestres civis.

Já amplamente utilizado em trens, o caminho dos motores elétricos no mercado automotivo vem acontecendo aos poucos, dividindo espaço com os motores a combustão em veículos híbridos.

No mercado europeu, mais de 22% dos veículos vendidos são híbridos em países como a Noruega, com tendência aumento a cada ano. As estimativas apontam que, se o mercado de veículos elétricos/híbridos continuar a crescer dessa forma, em menos de 20 anos eles já serão dominantes na Europa e em alguns estados dos Estados Unidos.

Na aviação, os motores elétricos já são testados em aviões de pequeno porte porém de maneira muito discreta. Nas aeronaves de grande e médio porte, onde as demandas por potência são muito grandes, o motor a jato tem grandes chances de continuar sendo usado por muitos anos. O mesmo vale para grandes embarcações e outros veículos que demandam muita potência para operarem corretamente.

### **Considerações finais**

A transição para a eletrificação dos modais de transporte é uma realidade. Veículos elétricos hoje representam mais do que uma alternativa ecológica ao motor a combustão interna, eles performam melhor e entregam melhor qualidade de vida aos usuários e às pessoas ao seu redor.

Empresas como a Tesla Motors aceleram ao processo ao romper com o panorama atual ao desenvolver apenas veículos elétricos, forçando as outras montadoras a reagirem uma vez que seus veículos a combustão são inferiores em performance, espaço e segurança em relação do Model S da Tesla.

Com eficiência inferior a 30%, os motores a combustão não têm mais como competir com os mais de 90% do motor elétrico e devemos ficar atentos como essa transição poderá impactar a economia e a hegemonia mundial.

## **Referências**

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michal A.; **Termodinâmica** 7. ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2013.

WIKIPÉDIA (Comp.). **Wankel Engine**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine)>. Acesso em: 06 ago. 2012.

WIKIPÉDIA (Comp.). **History of the internal combustion engine**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_internal\\_combustion\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_internal_combustion_engine)>. Acesso em: 16 jul. 2012.

WIKIPÉDIA (Comp.). **Ciclo Otto**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/ciclo\\_de\\_otto](https://en.wikipedia.org/wiki/ciclo_de_otto)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

SQUIDOO (Comp.). **Rotary Engine**. Disponível em: <<http://www.squidoo.com/rotary-engine>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

WIKIPÉDIA (Comp.). **Jet Engine**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_Engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_Engine)>. Acesso em: 27 jul. 2012.

WIKIPÉDIA (Comp.). **Brayton Cycle**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle)>. Acesso em: 03 jul. 2017.

WIKIPÉDIA (Comp.). **Aircraft Engine**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_engine)>. Acesso em: 24 jul. 2017.