IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)
e-ISSN:2278-487X, p-ISSN: 2319-7668. Volume 27, Issue 5. Ser. 3 (May. 2025), PP 29-36
www.iosrjournals.org

Motores Elétricos Para Aplicações Militares: Critérios De Seleção E Vantagens Para As Forças Armadas E Indústria De Defesa

Márcio Almeida Gama[1,2], Felix Alberto Farret[1], Marcelo Hemp Gama[3]
[1](PPGEE, UFSM, Brasil)
[2](EE, FURG, Brasil)
[3](CCOMP, UFPEL, Brasil)

Resumo:
Este trabalho apresenta um estudo sobre a seleção de motores elétricos para aplicações em mobilidade militar, fornecendo subsídios técnicos para as Forças Armadas e indústria de defesa na escolha da tecnologia mais adequada. A análise considera diversos parâmetros técnicos e requisitos operacionais específicos para uso bélico. Os resultados obtidos permitem orientar empresas desenvolvedoras na implementação de soluções baseadas em tecnologias maduras e consolidadas no mercado, garantindo estabilidade operacional e eficácia em longo prazo. Além disso, o estudo contribui para o desenvolvimento de projetos sustentáveis, com planejamento estratégico a médio e longo prazo. A seleção criteriosa de motores elétricos não apenas atende às demandas militares, mas também beneficia o setor civil, viabilizando a adoção de soluções robustas e economicamente viáveis.

Palavras-Chave: *Motores elétricos, veículos militares, mobilidade elétrica, indústria bélica, gestão de projetos, planejamento estratégico.*

Date of Submission: 27-04-2025 Date of Acceptance: 07-05-2025

I. Introdução

Uma máquina elétrica é um dispositivo que pode converter tanto a energia mecânica em energia elétrica como a energia elétrica em energia mecânica [1]. Quando tal dispositivo é usado para converter energia mecânica em energia elétrica, ele é denominado gerador elétrico. Quando converte energia elétrica em energia mecânica, ele é denominado motor elétrico. Como qualquer máquina elétrica é capaz de fazer a conversão da energia em ambos os sentidos, então qualquer máquina pode ser usada como gerador ou como motor. Na prática, quase todos os motores fazem a conversão da energia de uma forma em outra pela ação de um campo magnético [1].

Os motores elétricos têm um amplo leque de aplicações em diversos setores da sociedade. São encontrados em diversas áreas de aplicações tais como: indústria, mobilidade, agricultura, construção civil, residencial, etc. Em relação ao consumo mundial de energia elétrica, os motores elétricos representam uma parcela significativa, sendo responsável por mais de 50% deste consumo geral de eletricidade [2].

No contexto da mobilidade elétrica, o motor elétrico em um veículo tem a função principal de converter energia elétrica em energia mecânica para a propulsão. No entanto, ele também pode operar no sentido inverso, convertendo energia mecânica em elétrica, atuando assim como um gerador. Essa característica é amplamente explorada nos veículos elétricos, onde a máquina elétrica impulsiona o veículo durante a condução e, nas frenagens, funciona como gerador, recuperando parte da energia cinética para carregar as baterias [3].

Em relação aos motores a combustão, os motores elétricos se destacam por fornecerem torque e potência de forma instantânea, o que, em alguns casos, pode dispensar o uso de sistemas de transmissão nos veículos elétricos [4]. Além disso, apresentam alta eficiência energética: motores elétricos podem atingir até 96% de eficiência, enquanto os motores a combustão alcançam, no máximo, 40% [5].

O emprego de motores elétricos em veículos militares tem despertado interesse das forças armadas de diversos países. Segundo [6], essa tecnologia oferece diversas vantagens em aplicações militares. Entre elas, destaca-se a redução significativa na emissão de calor e ruído em comparação com veículos equipados com motores a combustão interna. Como resultado, a assinatura térmica é menor, reduzindo a detectabilidade por sistemas de visão termal de inimigos. Além disso, a propulsão elétrica, por ser mais silenciosa, permite operações com maior furtividade. Esses benefícios (acústicos e térmicos) tornam os veículos elétricos especialmente vantajosos para uso em combate. Outras vantagens incluem a maior confiabilidade, eficiência e menor necessidade de manutenção dos motores elétricos em relação aos tradicionais motores a combustão. Isso se traduz em redução de custos operacionais, maior disponibilidade dos veículos e melhor desempenho em campo.

Para as Forças Armadas, há também economia de recursos ao longo da vida útil da viatura, especialmente em períodos de paz, quando os veículos consomem grandes quantidades de combustível em treinamentos,

exercícios e manutenção. Adicionalmente, os custos logísticos associados ao transporte de combustível são minimizados. Conforme [3], no Exército Americano, o transporte de derivados de petróleo corresponde a mais de 38% do volume de itens movimentados em operações de combate. Por consequência, a diminuição no consumo de combustíveis fósseis também reduz a emissão de poluentes, trazendo benefícios ambientais.

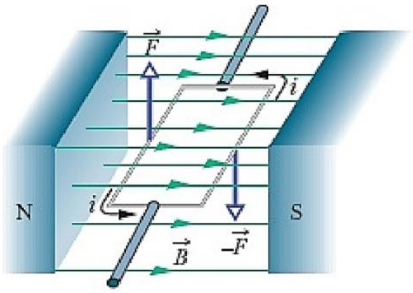
Esses fatores, somados à integração com sistemas de energia modernos, fortalecem o interesse estratégico na adoção de veículos militares elétricos como uma solução inovadora e eficiente [7]. De acordo com [4], diferentes tipos de motores elétricos podem ser usados na propulsão dos veículos elétricos. Uma escolha adequada de um motor elétrico deve considerar diversos requisitos, tais como, desempenho, eficiência energética, confiabilidade, custo, controle, etc.

Os investimentos militares globais, impulsionados por conflitos e rivalidades geopolíticas, são de valores elevadíssimos e receptivo a novas tecnologias. Dessa forma, prospecta-se que mercado de motores elétricos para aplicações militares receberá investimentos expressivos principalmente dos EUA, China e países da Europa [8]. Nesse sentido, este estudo realiza uma avaliação abrangente de diferentes tipos de motores elétricos para aplicação em veículos elétricos, tanto de uso civil quanto militar. A metodologia inclui uma revisão bibliográfica sobre os diversos tipos de motores elétricos disponíveis no mercado, uma análise comparativa entre motores elétricos e motores a combustão, uma descrição detalhada dos principais tipos de motores elétricos utilizados em veículos elétricos e finaliza com uma seleção dos motores elétricos mais adequados para aplicações militares.

II. Revisão Da Literatura

A Figura 1 ilustra um motor elementar composto por uma espira retangular de fio condutor, percorrida por uma corrente elétrica (i) e livre para girar em torno de um eixo, imersa em um campo magnético $\vec{B}$. As Forças magnéticas ($\vec{F}$ e $-\vec{F}$) geradas sobre a espira produzem um torque que induz seu movimento rotacional em torno do eixo central [9]. Um comutador (não representado na figura) inverte o sentido da corrente a cada meia volta, garantindo que o torque resultante mantenha sempre o mesmo sentido de rotação. Embora diversos detalhes técnicos tenham sido omitidos, a Figura 1 ilustra o princípio fundamental de funcionamento de um motor elétrico: a geração de movimento rotacional a partir da interação entre uma corrente elétrica e um campo magnético.

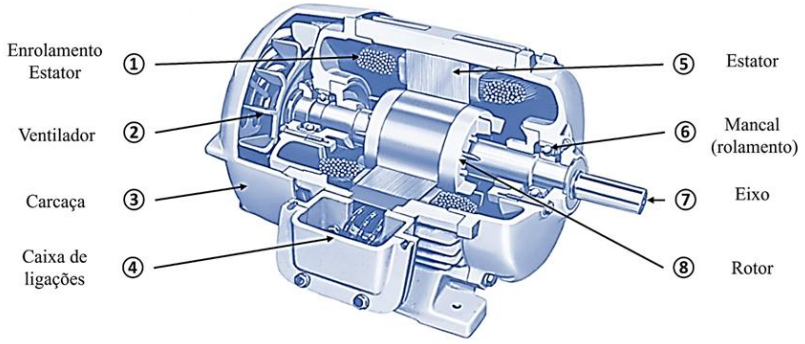
Figura 1 – Motor elétrico elementar.



Fonte: Adaptado de [9].

Na Figura 1, identificam-se duas partes físicas principais em uma máquina elétrica (motor elétrico). O estator é a parte estacionária (fixa) da máquina e o rotor é a parte giratória ou rotativa da máquina. Além dessas partes, um motor elétrico é formado por diversos outros elementos, como os enrolamentos, eixo, caixa de ligações, mancais, carcaça, ventilador, entre outros. A figura 2 apresenta um motor de indução e a indicação das principais partes desse motor elétrico.

Figura 2 – Principais partes de um motor de indução.



Fonte: adaptado de [1].

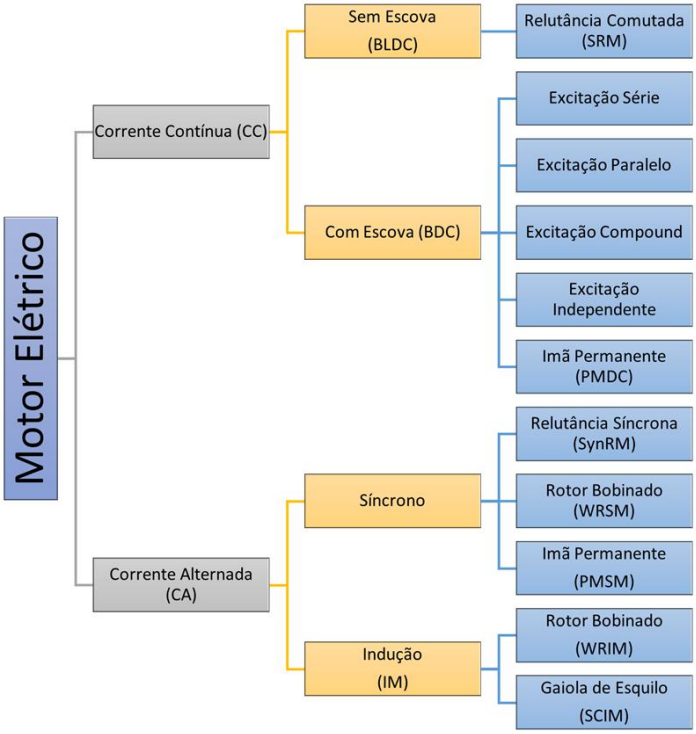
A classificação dos motores elétricos pode ser realizada com base em diversos critérios relacionados às características elétricas e mecânicas, como o tipo de alimentação, princípio de funcionamento, aspecto construtivo, controle de velocidade, rendimento, aplicação, etc. Quanto ao tipo de alimentação, existem duas classes amplas de motores elétricos [10]: os motores alimentados por corrente alternada (CA) e os alimentados por corrente contínua (CC). Ainda há uma classe de motor elétrico que pode operar tanto com corrente alternada quanto com corrente contínua e são chamados de motores elétricos universais. De acordo com [2], [10], [11] e [12], os principais tipos de motores elétricos utilizados nas mais diversas aplicações são listados a seguir e ilustrados na Figura 3:

- Motor CC sem escova (do inglês, *Brushless Direct Current* - BLDC);
- Motor de relutância comutada (do inglês, *Switched Reluctance Motor* - SRM);
- Motor CC com escova (do inglês, *Brushed Direct Current* - BDC);
- Motor CC com excitação série;
- Motor CC com excitação paralelo;
- Motor CC com excitação *compound*;
- Motor CC com excitação independente;
- Motor CC com escova de imã permanente (do inglês, *Permanent Magnet Direct Current* - PMDC);
- Motor de relutância síncrona (do inglês, *Synchronous reluctance Motor* - SynRM);
- Motor síncrono com rotor bobinado (do inglês, *Wound Rotor Synchronous Motor* – WRSM);
- Motor síncrono de imã permanente (do inglês, *Permanent Magnet Synchronous Motor* - PMSM);
- Motor de indução (do inglês, *Induction Motor* – IM);
- Motor de indutância com rotor bobinado (do inglês, *Wound Rotor Induction Motor* – WRIM);
- Motor de indução com rotor gaiola de esquilo (do inglês, *Squirrel Cage Induction Motor* – SCIM).

Os motores elétricos de corrente alternada apresentam estrutura simples, robustez, confiabilidade, menor necessidade de manutenção, custo moderado e ampla faixa de velocidade [13]. Em razão destas características, os motores elétricos de corrente alternada são utilizados em diversas aplicações (industriais, comerciais, domésticas, etc.). Quanto à alimentação elétrica, podem operar em sistemas monofásicos ou trifásicos. Esses motores classificam-se em dois tipos principais: síncronos, nos quais o rotor gira em sincronia com o campo magnético girante, e assíncronos, ou de indução, nos quais o rotor gira a uma velocidade ligeiramente inferior à do campo magnético, diferença conhecida como escorregamento. O controle de velocidade dos motores CA pode ser obtido pela alteração do número de polos da máquina, pela mudança da frequência da corrente de alimentação, pela variação da tensão de alimentação ou pela modificação da resistência do rotor no caso de um motor de indução de rotor bobinado. Dentre essas opções, a técnica mais amplamente utilizada atualmente é a variação da frequência por meio de inversores de frequência (acionamentos eletrônicos de estado sólido), que proporcionam controle mais preciso da velocidade e do torque [1].

Embora os motores de corrente alternada sejam amplamente utilizados, os motores de corrente contínua ainda mantêm grande relevância, especialmente em aplicações industriais, devido à sua operação simples e à facilidade no controle de velocidade [14]. Através de diferentes configurações de excitação (derivação, série ou independente), os motores CC podem ser projetados para oferecer uma ampla gama de características de tensão versus corrente ou de velocidade versus torque, adequando-se tanto a operações dinâmicas quanto a regimes permanentes [15]. No entanto, em comparação com os motores CA, os motores CC apresentam algumas desvantagens, como maior volume, menor confiabilidade e necessidade de manutenção mais frequente.

Figura 3 – Principais motores elétricos utilizados.



Fonte: Próprio Autor.

Além destas características apresentadas, os motores elétricos em geral apresentam diversas outras características que são importantes na seleção de motores elétricos para atender as exigências de qualquer aplicação. As principais características a serem consideradas estão resumidas na Tabela 1. Essas informações foram compiladas com base em [1], [15], [16] e [17].

Tabela 1 – Características gerais dos motores elétricos.

Características	**Observação**
Tipo do Motor:	Ver figura 3.
Alimentação:	Corrente contínua ou corrente alternada (monofásico ou trifásico).
Tensão Nominal:	Tensão aplicada ao motor para operação nas condições nominais do mesmo.
Frequência Nominal:	Frequência da tensão aplicada ao motor para operação nas condições nominais do mesmo.
Potência Nominal:	Potência que o motor pode fornecer no eixo, em regime contínuo, sem que os limites de temperatura dos enrolamentos sejam excedidos aos valores máximos permitidos por norma, dentro de sua classe de isolamento.
Corrente Nominal:	Corrente solicitada da rede de alimentação pelo motor, trabalhando à potência nominal, com frequência e tensões nominais.
Velocidade Nominal:	Velocidade (RPM) do eixo do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais.
Corrente de Partida:	Corrente inicial que circula no momento da partida do motor, sendo muito superior a corrente nominal.
Fator de Potência:	A relação entre a potência ativa, medida em W e a potência aparente medida em VA. Aplicado somente para motor CA.
Conjugado nominal:	Conjugado que o motor desenvolve, à potência nominal, quando submetido à tensão e frequência nominais.
Conjugado de partida:	Também conhecido como conjugado com rotor bloqueado ou conjugado de arranque, é aquele desenvolvido pelo motor sob condições de tensão e frequência nominais durante a partida.
Rendimento:	O rendimento depende do projeto e do tipo do motor, sendo definido pela a razão da potência útil no eixo pela potência absorvida da rede. A diferença entre estas duas grandezas representa as perdas elétricas e mecânicas do motor.
Fator de Serviço:	É um número que pode ser multiplicado pela potência nominal do motor, a fim de se obter a carga permissível que o mesmo pode acionar, em regime contínuo, dentro de condições estabelecidas por norma.
Classe de Isolamento:	Maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil.
Grau de Proteção:	Refletem a proteção do motor quanto à entrada de corpos estranhos e penetração de água pelos orifícios destinados à entrada e saída do ar refrigerante.
Regime de Serviço:	Grau de regularidade da carga a que o motor é submetido.

Fonte: [1], [15], [16] e [17].

III. Tipos De Motores Elétricos Empregados Em Veículos Elétricos

Requisitos Gerais

O uso de motores elétricos nos sistemas de propulsão de veículos elétricos é amplamente abordado e comparado na literatura especializada. Segundo [18] e [19], a escolha do tipo de motor a ser empregado em um veículo elétrico — seja ele BEV, HEV, PHEV ou FCEV — deve considerar aspectos operacionais, técnicos e econômicos. Essa análise é fundamental para garantir que o motor selecionado atenda aos requisitos de desempenho, eficiência, custo, entre outros. Conforme apontado por [18], [19], [20] e [21], esses requisitos incluem, por exemplo:

- Alta eficiência em uma ampla faixa de velocidades e torques, contribuindo para a maximização da autonomia do veículo;
- Excelente resposta de torque, garantindo aceleração rápida e bom desempenho dinâmico;
- Baixo custo de fabricação e operação;
- Alta confiabilidade e longa vida útil;
- Reduzida necessidade de manutenção preventiva e corretiva;
- Elevada densidade de potência (kW/m^3) e densidade de torque (Nm/m^3);
- Capacidade de fornecer potência instantânea de forma eficaz;
- Alto desempenho em baixas velocidades, com disponibilidade de potência adequada;
- Capacidade de fornecer potência de sobrecarga quando necessário;
- Sustentação de operação contínua sob altas cargas por longos períodos;
- Baixos níveis de vibração e ruído, favorecendo o conforto do usuário, a percepção de qualidade e aplicações em setores como o militar;
- Dimensões compactas e baixo peso, facilitando a integração no projeto veicular;
- Compatibilidade com sistemas de recuperação de energia (frenagem regenerativa), atuando também como gerador durante a desaceleração;
- Operação confiável dentro dos limites térmicos do sistema;
- Desempenho consistente sob diferentes condições climáticas e de terreno (temperaturas extremas, umidade, poeira, entre outros).

Comparação entre motores elétricos e motores a combustão interna

O uso de motores elétricos em veículos elétricos apresenta vantagens e desvantagens em relação aos motores a combustão interna, sendo que ambos possuem características que os tornam mais adequados a diferentes contextos de aplicação. A diferença mais notável é em relação as fontes de energia que alimentam esses motores. Os motores elétricos operam com eletricidade, que pode ser proveniente de diferentes fontes, como rede elétrica, baterias ou células a combustível. Já os motores a combustão interna dependem da queima de combustíveis fósseis ou biocombustíveis para seu funcionamento. Atualmente, essa diferença tem impacto direto na autonomia dos veículos e na facilidade de reabastecimento. Veículos com motor a combustão tendem a apresentar maior autonomia e contam com uma infraestrutura de abastecimento consolidada e amplamente distribuída (postos de combustíveis), permitindo reabastecimento rápido. Por outro lado, a autonomia dos veículos elétricos, especialmente os movidos exclusivamente a baterias (BEVs), é geralmente inferior e depende diretamente da capacidade das baterias. Além disso, o tempo necessário para recarga é significativamente maior do que o tempo de reabastecimento de um veículo a combustão. A infraestrutura de recarga ainda é limitada tanto em número de pontos quanto em sua distribuição geográfica. No caso dos veículos elétricos com célula a combustível (FCEVs), a autonomia e o tempo de abastecimento são comparáveis aos dos veículos a combustão. No entanto, o principal entrave à sua popularização é a infraestrutura de abastecimento de hidrogênio, que é extremamente restrita ou praticamente inexistente em muitos países. Já os veículos híbridos (HEVs), que combinam motores elétricos e a combustão, conseguem mitigar parcialmente essas limitações, oferecendo melhor autonomia e facilidade de reabastecimento em comparação com os BEVs.

Em termos de manutenção, os motores a combustão apresentam maior complexidade mecânica e operam em temperaturas mais elevadas, exigindo manutenção mais frequente. Em contraste, os motores elétricos possuem uma estrutura mais simples, composta principalmente por um estator (parte fixa) e um rotor com eixo (parte móvel), o que resulta em menor necessidade de manutenção.

No que diz respeito às emissões, os motores a combustão interna têm maior impacto ambiental, pois emitem gases de efeito estufa e outros poluentes durante a operação. Os motores elétricos, por sua vez, não produzem emissões diretas durante o funcionamento, sendo ambientalmente mais vantajosos, especialmente quando a eletricidade utilizada é proveniente de fontes renováveis.

Quanto à eficiência energética, os motores elétricos apresentam desempenho significativamente superior. A maior parte da energia elétrica fornecida é convertida em energia mecânica útil, enquanto nos motores a combustão uma fração considerável da energia do combustível é dissipada na forma de calor.

Em relação ao desempenho dinâmico, os motores elétricos se destacam por oferecer torque instantâneo e praticamente constante, o que garante aceleração rápida e eficiente [22]. Em contraste, os motores a combustão geram torque de forma gradual, dependente da rotação do motor (RPM), o que limita sua resposta em baixas velocidades.

Motores elétricos utilizados em veículos elétricos

Atualmente, veículos elétricos utilizam diferentes tipos de motores de tração, cuja escolha depende de diversos fatores, como a configuração do veículo, aplicação pretendida, velocidade e torque máximos, potência nominal, capacidade e tensão da bateria, além de considerações econômicas [22]. Diante da diversidade de tecnologias disponíveis, a seleção do motor mais adequado exige uma análise criteriosa de múltiplos aspectos.

Segundo [23], os motores de corrente alternada (CA) dominam as aplicações em sistemas de propulsão eletrificados. Dentro desse grupo, destacam-se as máquinas síncronas de ímã permanente (PMSM), utilizadas em modelos como Toyota Prius, Nissan Leaf e Chevrolet Bolt. Já os motores de indução (IM) são amplamente adotados em veículos como o Tesla Model S e Model X. O estudo também menciona os motores de relutância comutada (SRM) como opções promissoras para tração veicular, devido às suas características robustas.

De acordo com [24], os motores de corrente contínua (tanto os com escovas - BDC, quanto os sem escovas - BLDC), os motores de relutância comutada (SRM) e os motores de ímã permanente (PMSM) são alternativas viáveis para propulsão em veículos elétricos. O autor enfatiza que os motores de indução (IM) vêm se destacando como principais candidatos para essa aplicação, devido à sua robustez, confiabilidade, baixo custo de manutenção, elevada eficiência e boa densidade de potência, sendo utilizados por fabricantes como a Nissan. Os motores SRM também demonstram elevado desempenho de torque, enquanto os motores BLDC são apontados como uma das melhores opções em função da ausência de escovas, alta eficiência energética, compacto e com elevada densidade de energia.

Em [25] o artigo destaca que os motores de corrente contínua, indução e motores de relutância comutada são usados principalmente em veículos elétricos e híbridos [5], indicando que os motores de indução e de ímã permanente são os mais comuns nessas aplicações, destacando-se por sua robustez, confiabilidade, boa relação custo-benefício e elevada densidade de potência.

Em [26] o artigo destaca que as tecnologias de acionamento de motor elétrico são essenciais no desenvolvimento dos veículos elétricos, com vários tipos de motores oferecendo vantagens e desafios distintos. Nessa variedade estão incluídos os motores de corrente contínua, indução, ímã permanente e motores de relutância, cada um com seu próprio conjunto de vantagens e limitações. O artigo ainda destaca que os motores de indução são amplamente utilizados em veículos elétricos devido à sua simplicidade, confiabilidade e baixo custo, particularmente os motores gaiola de esquilo. Esses motores possuem tecnologias bem estabelecidas, tornando-os apropriados para veículos elétricos de grande porte.

Assim, embora não haja um consenso definitivo na literatura especializada sobre qual motor elétrico é mais adequado para veículos elétricos, verifica-se uma clara predominância no uso dos motores de indução (IM). Essa preferência se deve, sobretudo, à sua robustez, alta confiabilidade, custo competitivo, maturidade tecnológica e ampla aplicabilidade, sendo viável tanto para veículos leves quanto pesados. Além disso, sua adoção por diversas montadoras — como Tesla, Audi, Hyundai, Renault, General Motors e BMW — reforça sua relevância no cenário atual da mobilidade elétrica.

A tabela 2 apresenta de maneira resumida diversos parâmetros e a respectivas avaliações para os motores CC, indução (IM), imã permanente (PMSM) e relutância comutada (SRM).

Tabela 2 – Parâmetros dos motores elétricos utilizados em veículos elétricos.

Parâmetro	Motor Elétrico			
	CC	IM	PMSM	SRM
Eficiência	Média	Alta	Alta	Média
Densidade de Potência	Baixa	Média	Alta	Média
Maturidade Tecnológica	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Alta
Nível de Ruído	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Confiabilidade	Média	Alta	Alta	Alta
Controle de Torque	Bom	Bom	Excelente	Bom
Custo	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Média	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: adaptado de [22] e [26].

IV. Seleção De Motores Elétricos Para Uso Em Veículos Militares

A escolha do tipo de motor elétrico para o sistema de propulsão de veículos elétricos representa uma etapa fundamental, pois influencia diretamente o desempenho final do veículo. A Tabela 2 apresenta quatro tipos de motores amplamente utilizados em sistemas de propulsão elétrica, acompanhados de diversos parâmetros técnicos e suas respectivas avaliações. De forma geral, todos os motores listados atendem ao propósito em questão.

Entretanto, a seleção de motores elétricos destinados a veículos militares requer uma análise mais rigorosa, levando em conta as condições operacionais específicas, requisitos técnicos e conformidade com normas militares. De acordo com [7], [27], [28] e [29], os principais fatores a serem considerados na escolha de motores elétricos para aplicações militares incluem:

- Condições do ambiente operacional, incluindo umidade, temperaturas extremas, presença de poeira, vibrações, entre outros fatores ambientais adversos;
- Especificações técnicas (torque, potência, velocidade, controle, etc.);
- Conformidade com normas e padrões militares vigentes;
- Níveis reduzidos de ruído, especialmente em operações que exigem discrição;
- Facilidade de integração ao sistema veicular e aos demais subsistemas eletrônicos e mecânicos;
- Facilidade de manutenção, com foco em intervenções rápidas e de baixo custo;
- Baixa complexidade de operação e instalação;
- Alta confiabilidade operacional, mesmo em condições extremas;
- Longa vida útil, adequada aos ciclos de uso militar;
- Disponibilidade de suporte técnico especializado;
- Facilidade de acesso a peças sobressalentes e logística de reposição eficiente.

Estabelecendo uma correlação entre os fatores mencionados anteriormente e os dados apresentados na Tabela 2, os motores de indução e os motores síncronos de ímã permanente destacam-se como as opções mais adequadas para a aplicação em veículos militares.

Dentre esses, o motor de indução se sobressai especialmente pelos aspectos de eficiência, custo e confiabilidade, posicionando-se como a alternativa mais vantajosa em relação aos demais tipos analisados. Além disso, um diferencial importante dos motores de indução é que todos os componentes necessários para sua operação e controle já se encontram amplamente consolidados, sendo baseados em tecnologias maduras e disponíveis comercialmente.

V. Conclusão

Este estudo teve como objetivo principal analisar as tecnologias disponíveis para motores elétricos aplicados à mobilidade militar, identificando as melhores opções para veículos de propulsão elétrica em uso bélico. Para isso, foram avaliados diversos parâmetros técnicos.

Dentre as opções analisadas — motores de corrente contínua (CC), de indução (IM), síncronos de ímã permanente (PMSM) e de relutância comutada (SRM) —, todas demonstraram potencial para aplicação militar. No entanto, os motores de indução (IM) e os síncronos de ímã permanente (PMSM) destacaram-se como as alternativas mais promissoras. Sob a ótica de eficiência energética, custo-benefício e confiabilidade operacional, o motor de indução emergiu como a melhor escolha. Além disso, esse tipo de motor possui uma vantagem adicional crucial: todos os componentes necessários para seu funcionamento e controle são baseados em tecnologias maduras e amplamente disponíveis no mercado.

A adoção de tecnologias consolidadas é um fator estratégico tanto para as Forças Armadas quanto para a indústria de defesa. Essa abordagem garante estabilidade operacional e eficácia em longo prazo, além de permitir que empresas fornecedoras desenvolvam projetos sustentáveis com planejamento a médio e longo prazo. Por fim, esta análise não apenas auxilia na seleção de motores elétricos para aplicações militares, mas também oferece subsídios para o setor civil. As conclusões apresentadas permitem que empresas tomem decisões mais assertivas, atendendo a diversos segmentos de mercado com soluções tecnologicamente robustas e economicamente viáveis.

Referências

[1]. Chapman, S. J. Fundamentos De Máquinas Elétricas. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
[2]. De Almeida, A. T. Et Al, J. Perspectives On Electric Motor Market Transformation For A Net Zero Carbon Economy. Energies, V. 16, N. 3, P. 1248, 24 Jan. 2023.
[3]. Ehsani, M. Et Al. State Of The Art And Trends In Electric And Hybrid Electric Vehicles. Proceedings Of The IEEE, V. 109, N. 6, P. 967–984, Jun. 2021.
[4]. Wahid, M. R. Et Al. A Review On Drive Train Technologies For Passenger Electric Vehicles. Energies, V. 14, N. 20, P. 6742, 16 Out. 2021.
[5]. Fesakis, N. Et Al. Integration And Optimization Of Multisource Electric Vehicles: A Critical Review Of Hybrid Energy Systems, Topologies, And Control Algorithms. Energies, V. 17, N. 17, P. 4364–4364, 31 Ago. 2024.
[6]. Farret, F. A. Et Al. Design Aspects Of The Electric Propulsion Of Brazilian Army Leopard Vehicles With Fuel Cells. 14º Seminário De Eletrônica De Potência E Controle (SEPOC), Pp. 1-6, 2022. Disponível Em: Https://Ieeexplore.Ieee.Org/Document/9976443.
[7]. National Academies Of Sciences, Engineering, And Medicine. Powering The U.S. Army Of The Future. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2021. Disponível Em: Https://Doi.Org/10.17226/26052. Acesso Em: 12 De Fevereiro De 2025.
[8]. Stockholm International Peace Research Institute. SIPRI Yearbook 2024: Armaments, Disarmament And International Security. Oxford: Oxford University Press, 2024.
[9]. Halliday, D Et Al. Fundamentos De Física – Vol. 3 - Eletromagnetismo. 10. Ed. Rio De Janeiro: LTC, 2016.
[10]. Elgowainy, A. (ED.). Electric, Hybrid, And Fuel Cell Vehicles. 2021.

[11]. Cao, Z. Et Al. An Overview Of Electric Motors For Electric Vehicles. Disponível Em: <Https://Ieeexplore.Ieee.Org/Abstract/Document/9597739>.
[12]. Sayed, H Et Al. Recent Trends Of Electric Vehicles Drive Systems. 20 Mar. 2024.
[13]. Ramesh, P.; Lenin, N. C. High Power Density Electrical Machines For Electric Vehicles—Comprehensive Review Based On Material Technology. IEEE Transactions On Magnetics, V. 55, N. 11, P. 1–21, Nov. 2019.
[14]. Sadiku, M. N. O. Et Al. Fundamentals Of Electric Machines: A Primer With MATLAB. [S.L.] CRC Press, 2019.
[15]. Fitzgerald, A. E. Et Al. Máquinas Elétricas. 7. Ed. São Paulo: Mcgraw-Hill, 2014.
[16]. Mamede Filho, João. Instalações Elétricas Industriais: De Acordo Com A Norma Brasileira NBR 5419:2015. 9. Ed. Rio De Janeiro: LTC, 2017.
[17]. WEG Equipamentos Elétricos S.A. Guia De Especificação - Motores Elétricos. Jaraguá Do Sul, SC: WEG, 2024. Disponível Em: Https://Static.Weg.Net/Medias/Downloadcenter/H32/Hc5/WEG-Motores-Eletricos-Guia-De-Especificacao-50032749-Brochure-Portuguese-Web.Pdf. Acesso Em: 7 Jan. 2025.
[18]. Gmyrek, Z. Optimal Electric Motor Designs Of Light Electric Vehicles: A Review. Energies, V. 17, N. 14, P. 3462, 14 Jul. 2024.
[19]. Gobbi, M. Et Al. Traction Motors For Electric Vehicles: Maximization Of Mechanical Efficiency – A Review. Applied Energy, V. 357, P. 122496, 1 Mar. 2024.
[20]. Agamloh, E. Et Al. An Overview Of Electric Machine Trends In Modern Electric Vehicles. Machines, V. 8, N. 2, P. 20, 17 Abr. 2020.
[21]. Krishnamoorthy, S. Et Al. A Comprehensive Review Of Different Electric Motors For Electric Vehicles Application. International Journal Of Power Electronics And Drive Systems/International Journal Of Electrical And Computer Engineering, V. 15, N. 1, P. 74–74, 1 Mar. 2024
[22]. Raj, Y. Et Al. A Review On Components Of Electric Vehicle And Indian Scenario Of Electric Vehicles. Disponível Em: <Https://Ieeexplore.Ieee.Org/Abstract/Document/10236052/>. Acesso Em: 19 Set. 2023.
[23]. Barroso, D. G. Et Al. Electrified Automotive Propulsion Systems: State-Of-The-Art Review. IEEE Transactions On Transportation Electrification, P. 1–1, 2021.
[24]. Selvakumar, S. G. Electric And Hybrid Vehicles – A Comprehensive Overview. 2021 IEEE 2nd International Conference On Electrical Power And Energy Systems (ICEPES), 10 Dez. 2021.
[25]. Yadav, D. S.; Manisha, M. Electric Propulsion Motors: A Comparative Review For Electric And Hybrid Electric Vehicles.2022. International Conference On Distributed Computing And Electrical Circuits And Electronics (ICDCECE).
[26]. Kinoti, E.; Et Al. Multi-Criteria Analysis Of Electric Vehicle Motor Technologies: A Review. World Electric Vehicle Journal, V. 15, N. 12, P. 541, 21 Nov. 2024.
[27]. Khalil, G. Challenges Of Hybrid Electric Vehicles For Military Applications. Disponível Em: <Https://Ieeexplore.Ieee.Org/Abstract/Document/5289878>. Acesso Em: 22 Jun. 2020.
[28]. North Atlantic Treaty Organization. Research And Technology Organization. All Electric Combat Vehicles (AECV) For Future Applications. Neuilly-Sur-Seine: RTO, 2004.
[29]. Van Den Belt, E. W. R. Optimisation Approach Of A Hybrid Multi-Axle Heavy-Duty Military Vehicle. 2021. 72 P. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Mecânica) – Eindhoven University Of Technology, Eindhoven, 2021.