



## Motion para mísseis: Otimização do desempenho

**Os sistemas de mísseis continuam a evoluir para satisfazer necessidades especializadas – desde mísseis táticos guiados até armas estratégicas de longo alcance, cada um projetado para ser lançado a partir de uma plataforma específica a fim de atingir um alvo pretendido. É um fato da vida moderna que essas armas são necessárias para promover a segurança nacional e global. Num mundo incerto, elas são necessárias em quantidades cada vez maiores, com funcionalidades mais inovadoras do que nunca.**

Prevê-se que o mercado global de foguetes e mísseis se expanda a uma taxa composta de crescimento anual de mais de 6% durante muitos anos ainda, atingindo um valor de 77,4 bilhões de dólares até 2028.<sup>1</sup> Grande parte desse crescimento se deve à necessidade e ao desenvolvimento contínuo de novos sistemas avançados, como os mísseis hipersônicos, que deverão crescer a uma CAGR de 7,4%.

Embora os mísseis sejam projetados para permanecer no ar por um tempo relativamente curto, os motores elétricos que controlam os atuadores de aletas, os cardans da cabeça orientadora e outros sistemas eletromecânicos devem funcionar com absoluta confiabilidade. E devem estar prontos para apresentar esse desempenho a qualquer momento, passando instantaneamente do estado de espera até condições extremas de choque, vibração e temperatura.

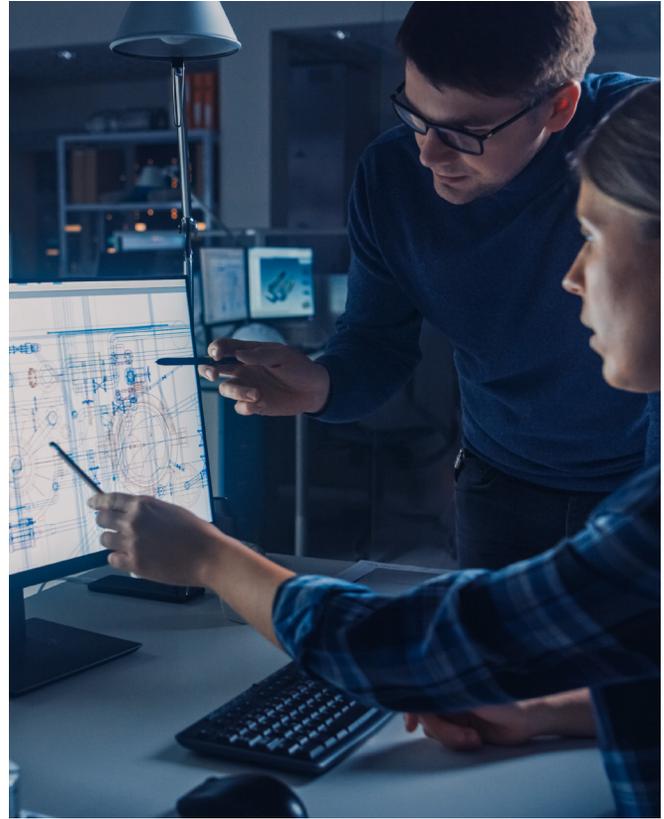
Os engenheiros e desenvolvedores de mísseis enfrentam múltiplos desafios: criar mísseis cada vez mais especializados, satisfazer uma demanda crescente em quantidade e, em alguns casos, ajudar a aumentar as capacidades de implantação em combate, fornecendo mísseis que sejam mais compactos e que possam voar mais rápido e mais longe sem sacrificar o desempenho. Para enfrentar esses desafios, os sistemas em Motion devem ser especificados visando atender aos requisitos exclusivos de desempenho, ambientais e de fator de forma de cada aplicação.

## Um processo colaborativo

Na Kollmorgen, nossos engenheiros colaboram com clientes das áreas aeroespaciais e de defesa desde o início de cada projeto, para garantir que cada solução em Motion seja ideal para a respectiva aplicação. Esse relacionamento colaborativo se baseia na extensa experiência na indústria, conhecimento em design eletromecânico e ciência de materiais, além da capacidade comprovada de prototipar, fabricar, entregar e dar suporte a motores no prazo e nas quantidades necessárias para o sucesso do programa de mísseis.

O processo colaborativo começa com a descoberta e a documentação dos requisitos técnicos de cada aplicação em Motion elétrico no míssil todo. Essas informações podem então ser usadas para criar especificações do motor, incluindo área ocupada da instalação, requisitos de desempenho, materiais dos componentes, classificações térmicas e muito mais.

A seguir é apresentada uma visão geral de alto nível do processo de especificação. Observe que estas etapas, embora apresentadas em ordem sequencial, estão, na verdade, intensamente inter-relacionadas. Como cada decisão afeta as demais, todas devem ser abordadas como parte de um todo orgânico.



## Entendendo os requisitos do sistema em Motion

**O maior desafio, e a maior oportunidade de garantir um programa bem-sucedido, é analisar todos os parâmetros dentro dos quais os sistemas em Motion devem operar e as características de desempenho que devem fornecer. Responda às perguntas a seguir, da forma mais detalhada possível, no início do processo de design.**

### Conheça qual é o espaço disponível

Dado o design geral do míssil e o espaço disponível para cada aplicação em Motion, quais são o comprimento e diâmetro ideais do motor? Como o motor será integrado ao sistema do atuador? O motor adequado é com ou sem carcaça? Considere que um motor com carcaça significa uma instalação mais simples, mas um motor sem carcaça integrado diretamente ao projeto mecânico da aplicação pode proporcionar a maior densidade de torque no pacote mais compacto.

Um motor sem carcaça é ideal para uso com engrenagens harmônicas (strain wave), um equipamento extremamente compacto, tecnologia de transmissão sem folga, ideal para uso em sistemas de cardan e outras aplicações de mísseis. Um motor sem carcaça também fornece um furo passante central para acomodar componentes como juntas rotativas de micro-ondas e anéis coletores, que permitem um design geral de aplicação ainda mais compacto.

Qual é o tamanho do furo passante que você precisa? A Kollmorgen oferece uma ampla variedade de tecnologias de motores sem carcaça, incluindo modelos que maximizam a relação de aspecto do furo passante, além da experiência para ajudá-lo a escolher o fator de forma e as características de desempenho ideais para sua aplicação específica.

## Conheça a potência de entrada disponível

Se o seu míssil utiliza baterias térmicas convencionais ou uma fonte de energia alternativa, conheça todas as aplicações que utilizarão essa energia e o que isso significa para a faixa de tensão e a corrente, contínua e de pico, que estarão disponíveis para cada aplicação individual. A Kollmorgen oferece motores de baixa tensão projetados para aplicações alimentadas por bateria, que fornecem o mesmo desempenho dinâmico que os motores padrão.

## Conheça os perfis de desempenho alvo

Quais são os requisitos de velocidade e torque da aplicação, tanto os contínuos quanto aqueles necessários durante os picos das cargas? Devido às forças atmosféricas adversas e imprevisíveis encontradas em voos subsônicos, supersônicos e hipersônicos, as demandas de torque máximo dos componentes de controle podem ser extremas e, ao mesmo tempo, as correções de curso devem ser realizadas instantaneamente. Os atuadores de aleta requerem motores que possam acelerar rapidamente sem nenhuma perda significativa de torque em altas velocidades. A Kollmorgen fornece ferramentas analíticas e otimizações de motor, para ajudar você a alcançar as curvas de desempenho ideais para sua aplicação.

## Conheça os requisitos térmicos da aplicação

Qualquer míssil provavelmente experimentará uma faixa de temperaturas muito mais ampla do que jamais seria encontrada em um ambiente típico de fábrica. Um exemplo extremo é um míssil hipersônico implantado num ambiente subártico a uma temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  ou menor, que quando disparado pela atmosfera pode atingir temperaturas superficiais de centenas de graus.

Embora tal míssil deva ser projetado para fornecer proteção térmica para componentes sensíveis à temperatura, os sistemas em Motion ainda precisam operar de forma confiável em uma ampla faixa de

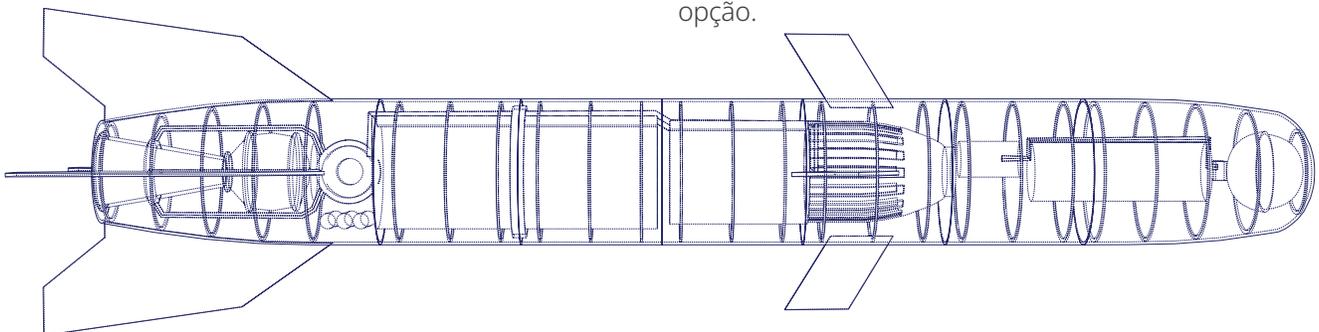
temperatura. Como esses extremos de temperatura, combinados com o aumento térmico inerente do motor, afetarão o desempenho? Com base em seus requisitos, a Kollmorgen pode calcular rapidamente o desempenho de um projeto de protótipo nas temperaturas extremas da sua aplicação, e temos as instalações para testar esse desempenho nos primeiros protótipos físicos.

## Conheça o verdadeiro ciclo de trabalho da aplicação

Obviamente, os motores dos mísseis devem ter um funcionamento perfeito durante os segundos ou minutos entre o lançamento e o impacto. É fácil imaginar que essa curta janela de desempenho signifique muito pouco risco de falha, em comparação com as exigências impostas aos motores num ambiente industrial 24 horas por dia, 7 dias por semana. No entanto, é importante compreender o que acontecerá ao longo do ciclo de vida do míssil, desde o momento em que é implantado pela primeira vez no campo até o momento em que é utilizado ou finalmente desativado.

Esse intervalo de tempo pode variar de dias a décadas, e o míssil deve estar sempre nas melhores condições. Compreender o que acontecerá ao longo do ciclo de vida ajudará a garantir a seleção e o dimensionamento ideais do motor, sem o risco de especificações insuficientes ou excessivas. Por exemplo, os mísseis de bordo costumam estar constantemente prontos, com aletas de controle, sistemas de orientação e outros componentes dependentes do sistema em Motion testados rotineiramente para verificar se estão operando corretamente.

Você fará exercícios com seu míssil diariamente? Ele precisa estar sempre funcionando, tanto no modo de espera, quanto pronto ou em pré-disparo? Considerando esses requisitos, além das condições reais de voo, por quanto tempo se espera que os motores funcionem com cargas e velocidades específicas? Os motores Kollmorgen são projetados para resistir em aplicações em que a falha não é uma opção.



## Especifique o design e os materiais do motor para atender às suas metas ambientais e de desempenho

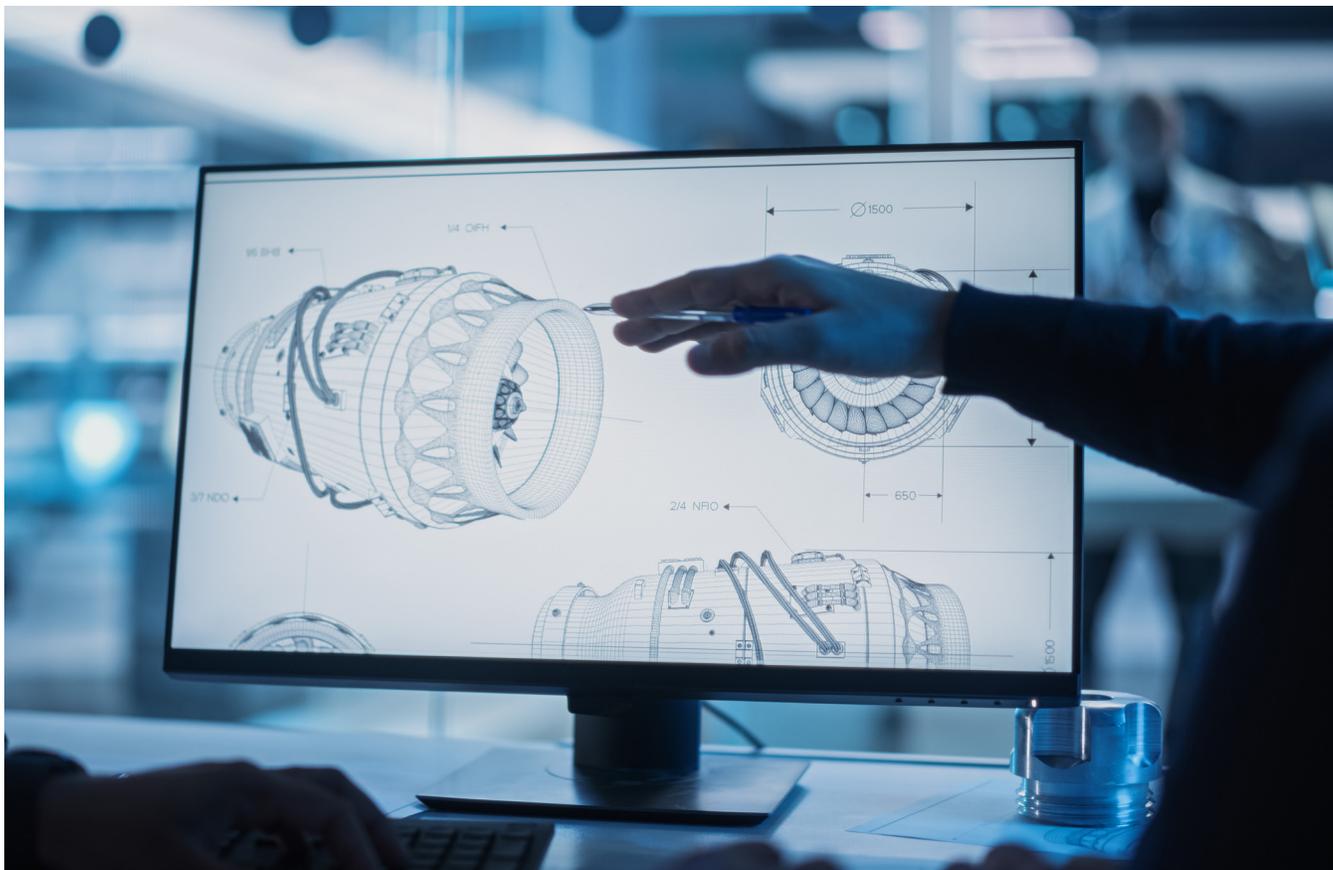
Todos os aspectos do design e dos materiais do motor podem ser otimizados para atingir metas ambientais e de desempenho específicas. Para atender aos requisitos exclusivos dos sistemas de mísseis em Motion, que devem oferecer desempenho extremo sob condições extremas, os elementos mais importantes a serem otimizados são os enrolamentos e a pilha de laminação do estator, os ímãs permanentes do rotor e os materiais de encapsulamento e isolamento.

As classificações de temperatura são importantes para motores empregados em mísseis. No entanto, observe que a classificação geral do motor pode ser inferior à classificação dos materiais dos componentes. Por exemplo, um motor classificado para 155 °C pode ser composto de materiais classificados individualmente para 180 °C ou até mesmo 200 °C. Isso proporciona uma margem de segurança quando o motor ultrapassa a sua classificação geral, ajudando a garantir que ele possa lidar com demandas extremas de desempenho por um tempo limitado, sem comprometimento. Além disso, observe que as classificações do motor podem ser baseadas na operação contínua por um tempo mais longo que o voo de um míssil.

### Laminados

O desempenho do motor varia, dependendo se o fabricante utiliza laminações de estatores de alto desempenho ou o padrão. O projeto da laminação afeta as propriedades do fluxo magnético gerado em reação às mudanças nas correntes elétricas aplicadas aos enrolamentos do estator. As laminações podem ser projetadas para minimizar as correntes parasitas produzidas pelos campos magnéticos que giram através do estator.

Laminações mais finas podem melhorar a eficiência e minimizar a elevação da temperatura, reduzindo as perdas de energia por calor, especialmente quando são necessárias altas frequências de comutação para operar o motor em velocidades mais altas. Materiais de laminação especializados maximizam o fluxo que pode ser produzido sem saturar o estator, permitindo que o motor gere um torque mais alto. Uma ou ambas as técnicas de design podem ser vantajosas, dependendo das necessidades da aplicação.



## Enrolamentos

Os enrolamentos do estator podem ser ajustados para otimizar o desempenho do motor em tensões de barramento específicas, incluindo aplicações de mísseis operados por bateria, bem como em níveis específicos de torque e velocidade. Ao combinar precisamente o design do enrolamento com a potência de entrada disponível e os requisitos de desempenho da aplicação, os engenheiros evitam os riscos de um motor subdimensionado, que não consegue lidar com as cargas dinâmicas encontradas em voo, ou os de um motor superdimensionado, que adiciona tamanho e peso desnecessários ao design do míssil.

## Isolamento e ímãs permanentes

Uma questão fundamental para qualquer projeto de míssil é saber até que ponto os motores podem se aproximar das demandas de desempenho absolutas e a curto prazo que lhes são impostas antes de ficarem comprometidos. Isso inclui maximizar a constante de tempo térmico, que é o tempo que o motor demora para atingir 63% de sua temperatura total em estado estacionário, enquanto leva as

características de desempenho do motor aos limites exigidos pela aplicação.

Quanto mais tempo um motor funcionar além de suas classificações de desempenho, maior será o risco de degradação dos materiais e de possibilidade de falha. O risco pode ser exacerbado pelo cenário de uso do míssil e mitigado pelo design.

Por exemplo, o míssil opera exclusivamente na atmosfera, ou é lançado debaixo d'água, onde as superfícies de controle encontram uma resistência muito maior? Se for lançado de uma aeronave, os atuadores das aletas precisam lutar contra as forças do turbilhão ou existe uma trava mecânica que só é liberada no lançamento?

Se os motores forem levados ao seu limite ou até os ultrapassem, a confiabilidade máxima poderá ser alcançada usando soldas de alta temperatura, encapsulamento de alta temperatura e sistemas de isolamento, até, em alguns casos, ímãs de alta temperatura. Ligas especializadas de ímã permanente também podem aumentar o torque com o qual um motor pode funcionar sem exceder sua classificação térmica.

## Colabore com um especialista em Motion

A escolha do parceiro é tão importante quanto a tecnologia de Motion. A Kollmorgen trabalha com você na fase de projeto inicial para entender exatamente seus requisitos e, então, fornecer o suporte de engenharia necessário para simplificar a seleção, o dimensionamento, a configuração e a otimização do produto. A prototipagem, entrega e iteração rápidas da sua solução podem economizar meses no processo de desenvolvimento.

Quando o projeto final estiver pronto, a unidade de fabricação certificada AS9100 da Kollmorgen aplica processos de fabricação enxuta e repetíveis, além de controles de qualidade, para permitir uma transição

rápida do protótipo para a produção completa total. Espere soluções de Motion entregues sempre dentro do prazo, bem como suporte de longo prazo na região/para a região e durante todo o ciclo de vida do seu programa de mísseis.

A parceria com a Kollmorgen, na qualidade de marca Regal Rexnord, também permitirá seu acesso à líder em componentes altamente especializados da indústria aeroespacial e de defesa. A Regal Rexnord fornece experiência para praticamente todos os subsistemas de mísseis, além de rolamentos aeroespaciais, soluções de vedação, componentes elétricos, sistemas de engrenagens e muito mais, tudo da mais alta qualidade.

## Coloque seu programa de mísseis no alvo

[Entre em contato com a Kollmorgen](#) para tratar das suas necessidades e objetivos, conversando com um dos nossos especialistas em mísseis e em outras aplicações aeroespaciais e de defesa.

1 "Rocket and Missile Market," Markets and Markets, setembro de 2023. As especificações estão sujeitas a alterações sem aviso prévio. É de responsabilidade do usuário do produto determinar a adequação desse produto a uma aplicação específica. Todas as marcas registradas são propriedade dos seus respectivos proprietários.

## Sobre a Kollmorgen

A Kollmorgen, uma marca Regal Rexnord, tem mais de 100 anos de experiência em Motion, comprovada com motores, drives, soluções de controle para AGV e plataformas de controle de automação de maior desempenho e confiabilidade do setor. Oferecemos soluções inovadoras que são inigualáveis em desempenho, confiabilidade e facilidade de uso, dando aos fabricantes de máquinas uma vantagem inquestionável no mercado.