

MAGLEV-COBRA: UM VEÍCULO PARA TRANSPORTE URBANO ENERGETICAMENTE EFICIENTE E AMBIENTALMENTE CORRETO.

Richard M. Stephan & Eduardo G. David

SOBRAEP – Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, ocorreu uma significativa alteração no perfil demográfico brasileiro. Atualmente, os centros urbanos concentram mais de 80% da população.

Infelizmente, esta mudança não veio acompanhada pela desejável modernização dos meios de transporte. Os metrô apresentam-se como a solução mais conveniente para o problema de mobilidade nas grandes cidades, no entanto, os custos superiores a R\$100 Milhões/km inviabilizam sua implantação em larga escala.

Na ausência de opções, a necessidade de locomoção vem sendo suprida por ônibus e automóveis que dependem, em grande parte, de combustíveis fósseis poluentes.

Este trabalho apresenta um veículo de levitação magnética (MagLev), baseado em **tecnologia inovadora** empregando a propriedade diamagnética de supercondutores de elevada temperatura crítica, como uma alternativa **economicamente viável** (1/3 de custo do Metrô) para a crise no transporte urbano.

A proposta **respeita imposições energéticas, ambientais e ecológicas** e abre oportunidades para o **desenvolvimento tecnológico e científico nacional**. A tecnologia foi testada em um protótipo de escala reduzida em trajetória fechada de 30m de comprimento pelo grupo proponente.

Por ser totalmente articulado, inserir-se em **curvas de 30m de raio** e ser capaz de vencer **declividades de 15%**, o veículo foi apelidado de **MagLev-Cobra**.

Nesta apresentação, faz-se uma retrospectiva das técnicas de levitação magnética, destacando-se as vantagens da aqui apresentada,

comparativamente ao sistema roda-trilho e os VLT's (Veículos Leves sobre Trilhos).

2. BREVE HISTÓRICO DA LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

Os estudos de transporte empregando levitação remontam mais de meio século. A série de congressos MAGLEV, cuja primeira edição ocorreu nos anos 60, reúne, a cada dois anos, os principais especialistas neste campo.

As técnicas de levitação magnética podem ser subdivididas em três grupos, descritos abaixo.

2.1 Levitação Eletrodinâmica (EDL)

Este método necessita do movimento de um campo magnético nas proximidades de um material condutor, onde correntes elétricas serão induzidas. Estas correntes geram um outro campo magnético o qual, pela lei de Lenz, opor-se-á à variação do campo criado pelo material magnético. A interação entre ambos gerará uma **força de repulsão** responsável pela levitação.

A proposta japonesa (RTRI) de trem de levitação está calcada neste princípio. Neste sistema, um trem com características convencionais (rodas e trilhos) viaja ao longo de corredores onde estão instaladas bobinas condutoras. Após atingir cerca de 120 km/h, o trem começa a levantar. Uma linha experimental de 18,4 km foi inaugurada em abril de 1997, local onde este trem bateu o recorde de velocidade terrestre (581 km/h) em dezembro de 2003.

2.2 Levitação Eletromagnética (EML)

Esta abordagem tem na proposta alemã Transrapid, que está atualmente implantada em Xangai, na China, numa conexão de 30 km entre o aeroporto internacional de Pudong e o centro da cidade, seu maior exemplo de sucesso. Velocidades de até 480 km/h são alcançadas. O fundamento físico básico explora a **força de atração** que existe entre um eletro-ímã e um material ferromagnético. A estabilização só é possível com uma malha de realimentação e regulador devidamente sintonizado.

2.3 Levitação Magnética Supercondutora (SML)

Esta tecnologia baseia-se na propriedade diamagnética dos supercondutores para exclusão do campo magnético do interior dos supercondutores. No caso dos supercondutores do tipo II, esta exclusão é parcial, o que diminui a força de levitação, mas conduz à estabilidade, dispensando sistemas de controle sofisticados ou rodas. Esta propriedade, que representa o grande diferencial em relação aos métodos EDL e EML, só pôde ser devidamente explorado a partir do final do século XX com o advento de novos materiais magnéticos, como o $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (NdFeB), e de pastilhas supercondutoras de alta temperatura crítica, como o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (YBCO). Nesta ocasião, os projetos japonês e alemão mencionados anteriormente estavam muito avançados para serem redirecionados. Os novos supercondutores de alta temperatura crítica podem ser resfriados com nitrogênio líquido (temperatura de ebulição -196°C) enquanto os supercondutores convencionais necessitam de hélio líquido (temperatura de ebulição -269°C), o que torna a refrigeração onerosa. Por se tratar da tecnologia mais recente, ainda não existe linha de teste em escala real. Em outros países, como no Brasil, existem linhas em modelo reduzido. No protótipo brasileiro, construído pelo grupo proponente deste projeto, o formato oval tem 30 metros de extensão, com guia linear formada por ímãs de NdFeB compondo o circuito magnético e interagindo com os supercondutores de YBCO para levitação. O MagLev é acionado por motor linear síncrono (LSM) de armadura longa, alimentado com inversor de frequência.

Propõe-se a construção de um protótipo em escala real para o aprofundamento e validação desta nova modalidade aplicada ao transporte urbano de média velocidade (<70 km/h).

3. VANTAGENS DO PROJETO PROPOSTO

As vantagens deste projeto são de três naturezas:

- Construção Civil e Arquitetura;
- Racionalização Energética com Menores Emissões Gasosas;
- Desenvolvimento de Indústria Nacional de Alta Tecnologia.

1 Construção Civil e Arquitetura

3.1.1 Vantagem da Carga Distribuída em relação à Carga Concentrada

Os veículos rodoviários e ferroviários utilizados no transporte público têm seu peso total transmitido ao solo através dos eixos, resultando em cargas concentradas. No MagLev, o peso total é distribuído ao longo dos blocos supercondutores, resultando em cargas distribuídas. Esta configuração tem grande efeito no dimensionamento à flexão das vigas para veículos que circulem sobre vias elevadas, pois o momento devido à flexão para uma mesma carga P , concentrada no centro de uma viga bi-apoiada de vão L , é o dobro do valor com a mesma carga distribuída ($q = P/L$).

3.1.2 Peso Total do MagLev reduzido à metade do VLT

Como consequência de prescindir de rodas, motores e truques, o MagLev tem um peso total equivalente à metade do VLT.

3.1.3 Peso Menor da Superestrutura da Via Permanente

O VLT é um veículo que está sujeito às normas ferroviárias e, portanto, a superestrutura da via não é muito diferente dos sistemas ferroviários convencionais. Considerando uma linha assentada sobre lastro de brita, dormentes de concreto bi-bloco, trilho TR-45, o peso deste conjunto por metro linear é superior a 1.500 kg. Comparativamente, a superestrutura de um veículo MagLev compõe-se de duas linhas de ímãs com 50 mm de altura e 100 mm de largura, correspondendo a um peso por metro linear inferior a 10% do peso da superestrutura do VLT.

3.1.4 Redução no Custo das Estruturas

As estruturas de concreto armado, pré-moldada e metálica, apesar de possibilitarem diferentes desenhos e projetos, têm como referência básica para orçamento $\$/kg$. Logo, uma estrutura mais leve custa muito menos.

Para uso do MagLev em vias elevadas, foi desenvolvido um projeto que utiliza estrutura mista: aço e concreto. A possibilidade de utilizar estruturas industrializadas tem grande efeito na redução do custo total dos projetos, pois a engenharia civil responde por mais de 60% nos sistemas convencionais.

3.1.5 Redução de Custo na Abertura de Túneis

Em relação ao veículo metroviário tradicional (de seção retangular), o MagLev (de seção quadrada), que se inscreve em um círculo, possui características que podem gerar grandes reduções de custos, principalmente nos túneis em curva. Nessas trechos, onde se exige superelevação da linha, a escavação do túnel dos sistemas convencionais necessita acompanhar esta exigência, constituindo uma obra mais sofisticada do que um simples túnel circular.

3.1.6 Redução na Necessidade de Túneis e Viadutos

Decorrente da utilização de motores lineares para a tração do MagLev, a limitação técnica e econômica de 4% de rampa máxima dos veículos, que necessitam do atrito da roda sobre trilho para trafegarem, é superada facilmente, sendo o limite máximo fixado pelo conforto dos passageiros (15%).

Desta forma, a necessidade de construção de túneis e viadutos, bem como de estações subterrâneas, fica reduzido em regiões de topografia acidentada.

3.1.7 Raio Mínimo de Curva de 30 m

Além da limitação de rampas até 4%, os sistemas metroviários tradicionais exigem raios de curva superiores a 250 m. Como o MagLev projetado tem múltipla articulação, este grande limite técnico para projetos de engenharia é também rompido, propiciando aos arquitetos maior liberdade para projetos inovadores. Nas aplicações urbanas, o MagLev pode, portanto, acompanhar perfeitamente as vias existentes, inserindo-se de maneira integrada no ambiente.

2 Racionalização Energética com Menores Emissões Gasosas

3.2.1 Economia de Energia no Transporte

O Quadro 1 apresenta o custo energético do transporte urbano medido em unidades monetárias por mil passageiro-quilometro (Kpkm). Observa-se que o MagLev apresenta um custo energético por passageiro-quilômetro equivalente a apenas 13% do consumo médio do ônibus urbano, gerando uma economia

de 87% no item que representa cerca de 30% do custo operacional. A comparação com o transporte individual apresenta valores ainda mais significativos.

Quadro 1 – Custo Energético Comparativo no Transporte Urbano

3.2.2 Redução nas Emissões de Gases do Efeito Estufa

Os benefícios para o meio ambiente, decorrentes da substituição de parte do transporte individual pelo MagLev, serão imediatos, pois opera com energia elétrica. A emissão de CO₂ devido às usinas termelétricas movidas a combustível é de apenas 0,4 kg/kWh e tais usinas estão localizadas afastadas dos centros urbanos.

3 Desenvolvimento de Indústria Nacional de Alta Tecnologia

3.3.1 Engenharia Veicular Inovadora

O MagLev do presente projeto, visando aproveitar ao máximo a infra-estrutura urbana existente, teve como princípio a possibilidade de realizar curvas de pequeno raio mantendo a carga uniformemente distribuída ao longo da via.

A Figura 1 demonstra as possibilidades deste conceito, com o veículo sendo formado por vários anéis interligados através de juntas flexíveis, como se fossem as articulações de uma serpente – daí a sua denominação: MagLev-Cobra. A capacidade de cada trem cresce com a adição de anéis, ajustando-se à demanda. O componente fundamental do veículo é a “base de levitação”, onde se apóiam os módulos de passageiros e estão situados os

criostatos (em azul), mostrado na Figura 2, no interior dos quais se encontram os supercondutores, refrigerados com nitrogênio em estado líquido (-196°C). Na parte central, encontram-se as bobinas que são alimentadas com energia elétrica e permite a movimentação do veículo através de um motor linear instalado na via.

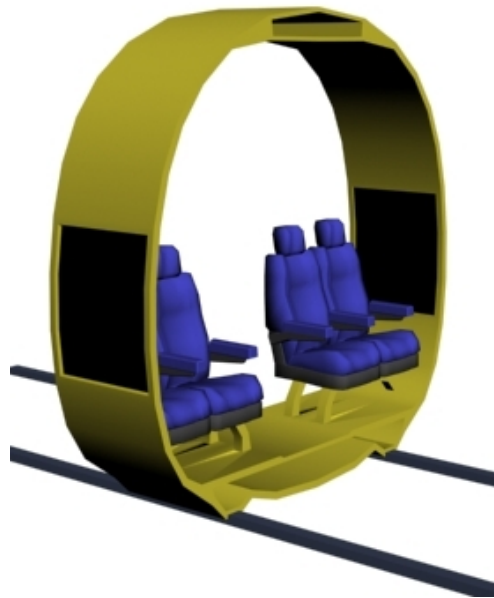


Fig. 1 – Anel do MagLev-Cobra com bancos no sentido transversal

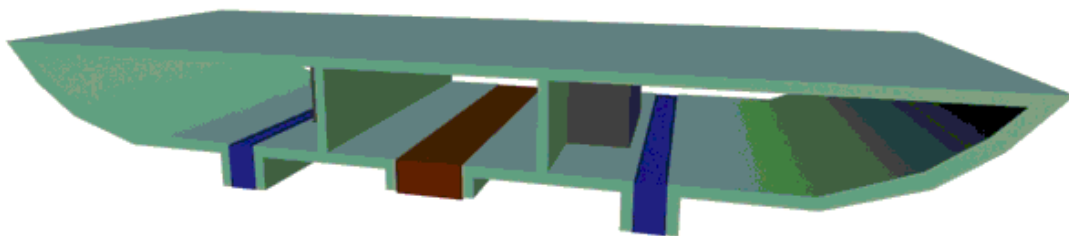


Fig. 2 – Base de Levitação do MagLev-Cobra

3.3.2 Fabricação de Ímãs de Terras Raras

Os ímãs de Terras Raras, especialmente os fabricados a partir de uma combinação de Neodímio, Ferro e Boro ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), são muito poderosos. A opção para suprir o mercado nacional tem sido importar este produto da Alemanha ou da China, como foi feito pelos proponentes para a construção do protótipo em escala reduzida.

Felizmente, o Brasil é um país muito rico em reservas de terras raras. Da mesma forma, pesquisas acadêmicas para a produção de super-ímãs são realizadas em vários locais, obtendo-se resultados inovadores como a recente descoberta de que a adição de uma pequena quantidade de carbeto de titânio (TiC) melhora o desempenho do NdFeB.

Para a implantação do MagLev, a via composta de ímãs permanentes constitui o maior item de custo. Um bloco de NdFeB, de 50 mm x 50 mm x 100 mm, capaz de garantir uma força de levitação de 4 a 6N/cm², com “gap” (altura de levitação) de 8 a 10 mm, tem um custo FOB China de US\$ 55.

A indústria brasileira de alta tecnologia poderá se sentir estimulada a desenvolver um produto de grande valor agregado e excelente potencial de aplicação futura.

3.3.3 Fabricação de Supercondutores de Alta Temperatura Crítica

Trata-se de outro componente fundamental para a viabilização do MagLev-Cobra. Atualmente, o estado da arte na fabricação de supercondutores do Tipo II, que não excluem totalmente o campo magnético e se comportam como diamagnéticos imperfeitos, encontra-se na Alemanha, especialmente no Leibniz-Institut für Festkörper und Werkstofforschung (IFW) em Dresden, com quem mantemos cooperação através de projeto PROBRAL-CAPES/DAAD.

O Centro de Pesquisa da Eletrobrás (CEPEL), localizado na Ilha do Fundão, chegou a produzir supercondutores do Tipo II em fita, mas não com a finalidade de aplicações na área de transportes. Entendimentos realizados pela equipe com o referido CEPEL evidenciou um grande interesse pelo sucesso do MagLev-Cobra.

3.3.4 Fabricação de Motores Lineares

Os motores utilizados no protótipo em escala reduzida da UFRJ foram de construção artesanal, já que o motor linear não é um produto de linha de nenhum grande fabricante nacional. Foram criados dois modelos para teste: de primário curto, que trabalha com bobinas instaladas no veículo e de primário longo, onde as bobinas estão dispostas ao longo da via.

A nova demanda poderá também estimular empresas já instaladas e de grande liderança mundial, como a WEG, na criação de uma linha especial de motores lineares – dando mais profissionalismo e certeza de peças de reposição para manutenção ao futuro sistema.

4. CONCLUSÃO

As linhas anteriores demonstraram as vantagens que podem ser obtidas na nova modalidade de transporte oferecida pela levitação. Trata-se de uma quebra de paradigmas: um meio de transporte que voa (sem asas) em trajetórias pré-estabelecidas (sem rodas). A proposta destaca-se por ser:

Ecologicamente correta, com menor poluição sonora e ambiental e menor consumo de energia.

Economicamente correta, pois apresenta menor custo de implantação e manutenção.

Tecnicamente correta, tendo em vista que a levitação magnética supercondutora é mais vantajosa que o método eletromagnético ou eletrodinâmico.

Politicamente correta, uma vez que está calcada em tecnologia nacional com oportunidades para crescimento industrial e científico.

Socialmente correta, já que facilitará a mobilidade nas grandes cidades.

Agradecimentos. Os autores agradecem ao apoio financeiro recebido pela FAPERJ, CNPq e CAPES. Agradecem também aos colegas, técnicos e estudantes do LASUP (Laboratório de Aplicações de Supercondutores /UFRJ), especialmente a Rubens de Andrade Jr., Guilherme Gonçalves Sotelo e Ocione José Machado, sem os quais este projeto seria inviável.