



## **Projeto estrutural e de fundações da Via Elevada e Estações do MAGLEV-COBRA no Campus da UFRJ**

**Augusto Cláudio Paiva e Silva, Oswaldo Marques Horta Barbosa**  
Tecton Engenharia / [augusto@tectonengenharia.com.br](mailto:augusto@tectonengenharia.com.br)  
Tecton Engenharia / [oswaldo@tectonengenharia.com.br](mailto:oswaldo@tectonengenharia.com.br)

### **Resumo**

A primeira linha de cerca de 200 metros do trem urbano de levitação magnética da Coppe/UFRJ, o MAGLEV-COBRA, foi instalada na Cidade Universitária, na Ilha do Fundão. O MAGLEV-COBRA tem tecnologia de ponta desenvolvida pioneiramente pelo Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da COPPE-UFRJ, no Brasil, e baseada em características de supercondutividade elétrica de certos materiais cerâmicos em baixa temperatura. O MAGLEV-COBRA é o primeiro veículo no mundo a transportar passageiros utilizando a tecnologia de levitação magnética por supercondutividade. As fundações das Estações e Via Elevada são em blocos de concreto com estacas de aço. As colunas, travessas e treliças principais são em estrutura de aço e foram fabricadas e soldadas em fábrica, transportadas em módulos e montadas no local com ligações parafusadas. A laje é mista com deque de aço. Foram usados perfis tubulares sem costura e perfis laminados de aba larga nas estruturas da Via Elevada e das Estações. A equipe da TECTON interagiu durante todo o desenvolvimento dos projetos com a equipe de pesquisadores e arquitetos da COPPE para produzir as melhores soluções estruturais, compatíveis com as exigências tecnológicas (isolamento magnético) e de leveza e elegância desejadas pela equipe de arquitetos. Além das análises tradicionais (lineares e não lineares, nas fases construtivas e final) foi feita uma verificação específica de estabilidade à flambagem para determinar o nível de segurança quanto a estabilidade lateral do banzo superior da treliça da via elevada, que não é travado lateralmente, como usualmente se faz, para não interferir com a passagem do veículo por entre as 2 treliças longitudinais. Estes banzos superiores das treliças dependem da rigidez à flexão das diagonais na seção transversal e da ligação destas diagonais com a estrutura do piso da via elevada para impedir o seu deslocamento e flambagem lateral. Trata-se de uma solução não usual e que resultou numa estrutura visualmente esbelta e elegante, sem perder a segurança.

### **Palavras-chave**

Maglev-Cobra; Trem de Levitação Magnética; Via Elevada; Estrutura de aço; Análise de Estabilidade.

## Introdução

Nos últimos anos foram desenvolvidos, em diversos países, sistemas de transporte urbano com trens baseados em levitação magnética e que estão operando comercialmente. Entre eles podemos citar os sistemas de Nagoya no Japão, Shangsha e Beijing na China e Seul na Coreia do Sul (ver imagens abaixo). Estas linhas utilizam tecnologia de levitação eletromagnética (EML). Na COPPE/UFRJ foi desenvolvida a primeira linha experimental de cerca de 200 metros do trem urbano com tecnologia de levitação magnética por supercondutividade (SML), o MAGLEV-COBRA, que foi instalada na Cidade Universitária, na Ilha do Fundão. O MAGLEV-COBRA tem tecnologia de ponta (SML) desenvolvida pioneiramente pelo Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da COPPE-UFRJ, no Brasil. Esta tecnologia (SML) é diversa das tecnologias usadas em outros países e é baseada em características de supercondutividade elétrica de certos materiais cerâmicos em baixa temperatura. O MAGLEV-COBRA é o primeiro veículo no mundo a transportar passageiros utilizando a tecnologia de levitação magnética por supercondutividade. O MAGLEV-COBRA é silencioso e a não emite poluentes porque é movido a energia elétrica da rede convencional. A TECTON participou do desenvolvimento desta linha pioneira projetando as estruturas e fundações da Via Elevada e das Estações e fiscalizando a fabricação e montagem das estruturas e fundações. A principal diferença entre as estruturas projetadas pela TECTON com tecnologia SML e as estruturas das linhas que usam tecnologia EML é que o veículo MAGLEV-COBRA é bem mais leve e as estruturas e fundações podem ser muito mais leves, econômicas e elegantes que as outras. As fotos abaixo esclarecem esta questão.



**Figura 1 – Linha EML em Nagoya, Japão (esquerda); Linha EML em Changsha, China (direita)**



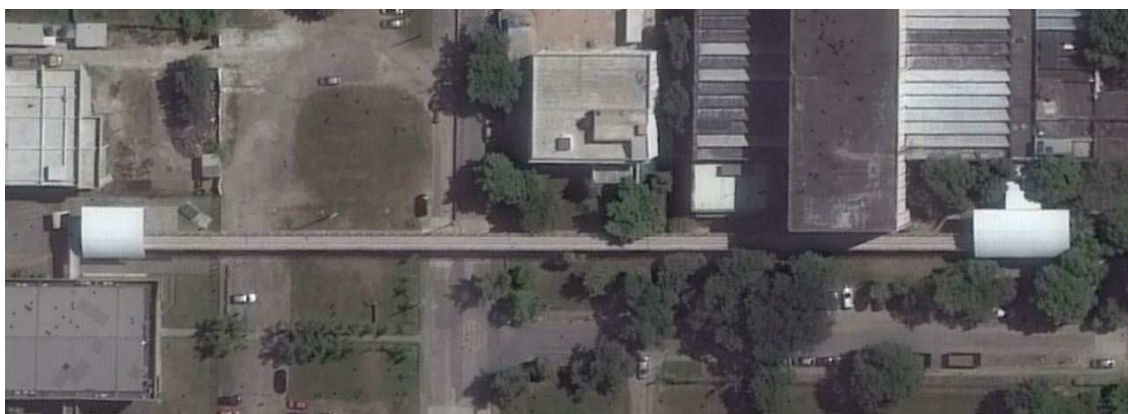
**Figura 2 – Linha EML em Beijing, China (esquerda); Linha EML em Seul, Coreia do Sul (direita)**



**Figura 3 – MAGLEV-COBRA (SML) trafegando e a via elevada do Campus da UFRJ**

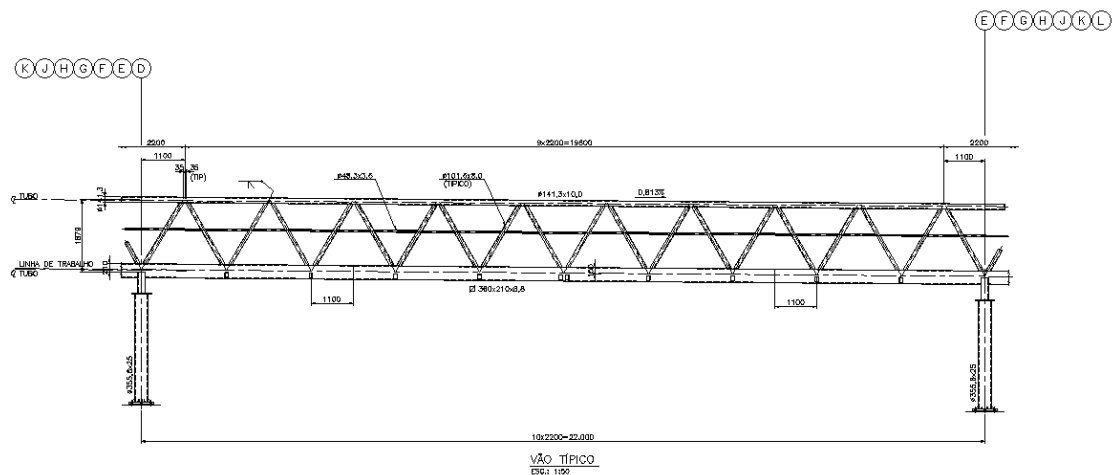
As fotos acima permitem comparar as estruturas das vias elevadas para os dois sistemas e é possível verificar que a via elevada para o sistema SML é muito mais leve, econômica e elegante. Mais significativa ainda é a diferença entre o custo de implantação de uma linha de MAGLEV-COBRA e uma linha de metrô subterrâneo. O custo da linha de metrô subterrâneo é cerca de três vezes o custo da linha do MAGLEV.

#### **Descrição geral das estruturas e fundações**

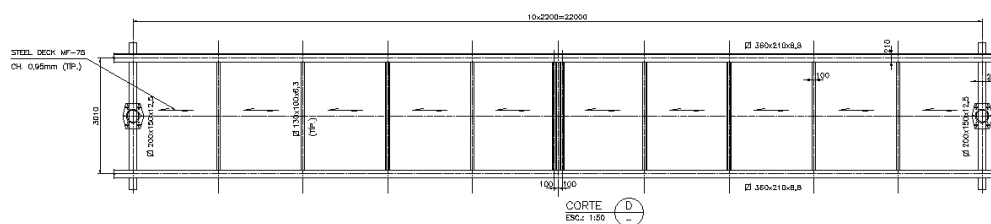


**Figura 4 – Foto aérea da linha experimental do MAGLEV-COBRA ligando o CT1 ao CT2**

A linha experimental do MAGLEV-COBRA no Campus da UFRJ liga os blocos dos Centros de Tecnologia CT1 e CT2. Ela é composta de duas estações e uma via elevada de 160m sem juntas. A via elevada é composta de sete vãos de 22m e dois balanços de 3m, um em cada extremidade. A via elevada passa por cima de duas pistas da rede viária do Campus e a área sob esta via elevada foi urbanizada e transformada em passarela para pedestre cercada de jardins.

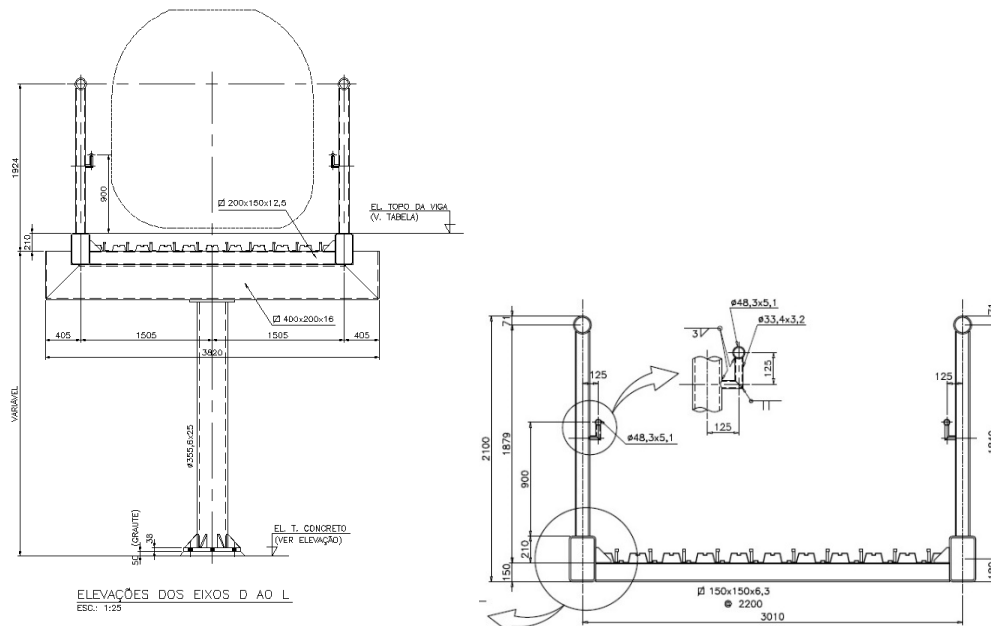


**Figura 5 – Elevação Lateral - Vão Típico da Via Elevada**



**Figura 6 – Planta - Vão Típico da Via Elevada**

A superestrutura é composta de um tabuleiro e 2 vigas treliçadas invertidas do tipo Warren contínuas, apoiadas a cada 22m. As barras da estrutura são de tubos de aço sem costura, sendo de seção circular na corda superior e diagonais e retangular na corda inferior das treliças. O tabuleiro é em laje mista contínua com deque metálico (“steel deck”) apoiado em transversinas e conectado a essas com auxílio de pinos com cabeça (“stud bolts”). As ligações são soldadas de fábrica entre diagonais e cordas e transversinas. A emenda das treliças da superestrutura é com ligações parafusadas. Os pilares são formados por tubos de aço de seção circular, preenchidos com concreto C30 sem armadura. A superestrutura é apoiada sobre vigas travessas de aço e estas sobre os pilares, por meio de flange, com ligação parafusada. As bases das colunas são fixadas nas fundações por chumbadores.



**Figura 7 – Seção transversal típica da Via Elevada na região do apoio e detalhe da superestrutura.**

As fundações são em blocos de concreto armado com pescoço que contem os chumbadores de fixação das colunas. Os blocos são apoiados em estacas de aço tipo perfil W de abas largas.

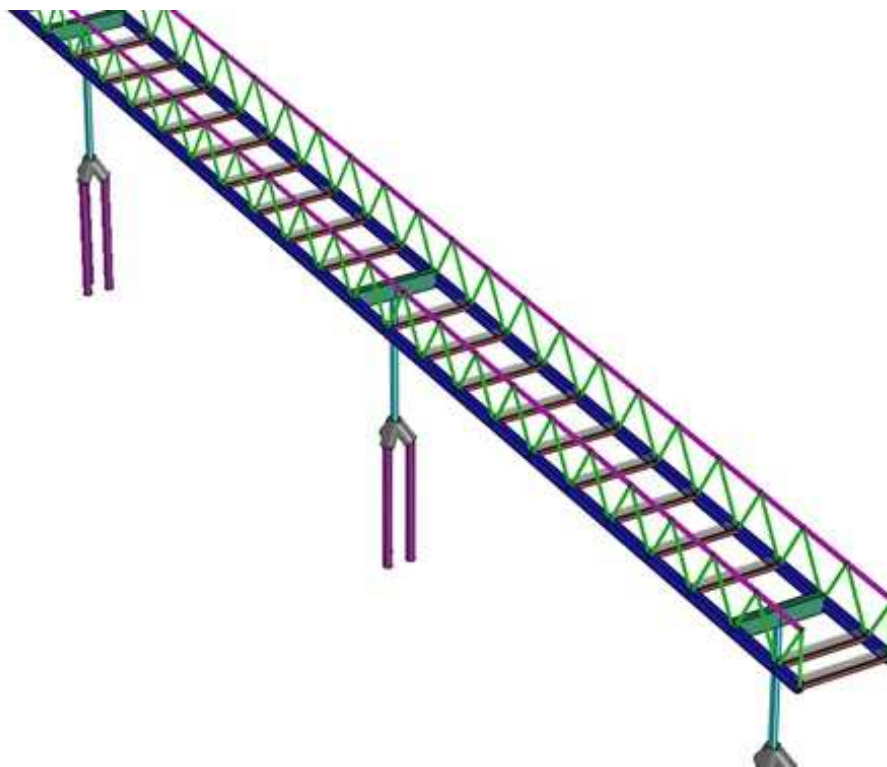
As estações são também em estrutura com tubos de aço sem costura, lajes mistas com deque de aço e fundações com blocos de concreto armado apoiados em estacas de perfis de aço tipo W com abas largas.

Todas as espessuras das lajes de concreto foram definidas considerando-se a resistência estrutural e a capacidade de isolamento eletro-magnético necessária para o bom funcionamento do MAGLEV-COBRA.

### **Análise Estrutural**

A análise estrutural da Via Elevada e das Estações foi feita usando-se os programas STRAP e SAP2000.

Para a análise da Via Elevada foi preparado um modelo estrutural completo, incluindo-se no modelo, além da superestrutura e mesoestrutura, os blocos e as estacas. Foram analisadas as etapas construtivas e a situação final. Na etapa construtiva considerou-se a estrutura de aço como parte resistente e, como cargas atuantes, o peso próprio da estrutura de aço, o peso da laje de concreto mole antes da cura e o vento na estrutura. Na etapa final foram consideradas todas as demais cargas: veículo MAGLEV-COBRA e seus trilhos e equipamentos, sobrecarga distribuída de  $5 \text{ kN/m}^2$ , vento no veículo, frenagem e variação de temperatura. Os efeitos das imperfeições geométricas iniciais das treliças foram levadas em conta, por meio da aplicação de forças nacionais transversais nas cordas superiores em cada meio de vão, igual a 2,5% do valor da solicitação axial de cálculo máxima nas mesmas.



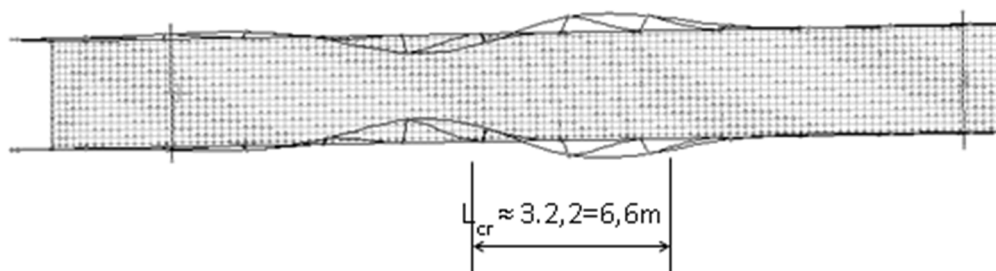
**Figura 8 – Trecho do modelo estrutural da Via Elevada incluindo a fundação estaqueada (STRAP).**

Além das análises tradicionais (lineares e não lineares, nas fases construtivas e final) foram feitas verificações específicas de estabilidade à flambagem para determinar o nível de segurança quanto à estabilidade lateral das cordas superiores das treliças da via elevada, que não são travadas lateralmente, como usualmente se faz para não interferir com a passagem do veículo por entre as 2 treliças longitudinais. Estas cordas superiores das treliças dependem da rigidez à flexão das diagonais no plano da seção transversal e da ligação destas diagonais com a estrutura do piso da via elevada para impedir o seu deslocamento e flambagem lateral. Estas análises foram feitas usando o programa SAP2000. O resultado da análise de flambagem permitiu a identificação do primeiro modo de flambagem para a situação da estrutura pronta com a sobrecarga de multidão:

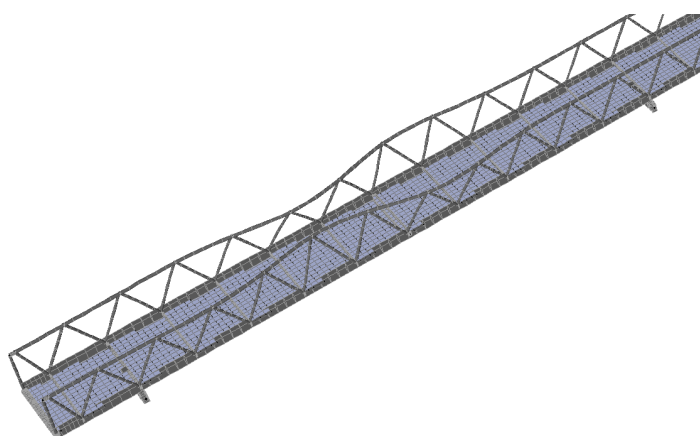
- *Buckling factor*: 4,2 (1)

- Combinação Normal:  $1,25G_a + 1,4G_c + 1,5Q_s$  (2)

-  $Q_s = 5 \text{ kN/m}^2$  (3)



**Figura 9 – Comprimento crítico de flambagem das cordas superiores das treliças da estrutura pronta para a sobrecarga de multidão.**



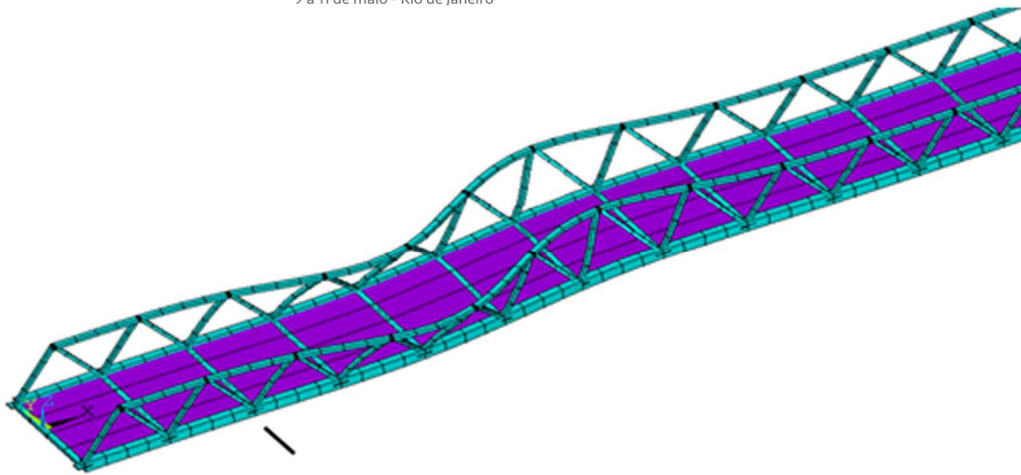
**Figura 10 – Perspectiva da Via Elevada mostrando a flambagem das cordas superiores para a sobrecarga de multidão atuando na estrutura pronta.**

O resultado da análise de flambagem permitiu a identificação do modo de flambagem para a situação da estrutura em construção (estrutura de aço montada e com a laje de concreto mole):

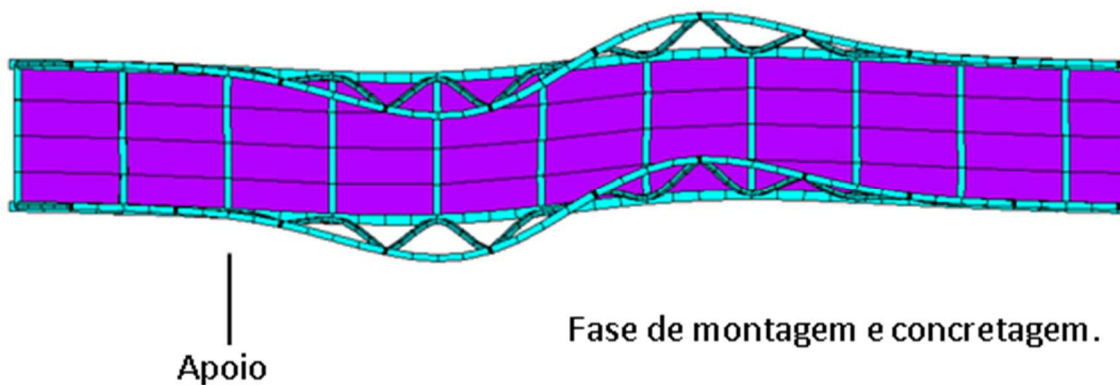
- *Buckling factor*: 8,9 (4)

- Combinação Normal:  $1,15G_a + 1,3G_c + 1,3Q_S$  (5)

-  $Q_S = 1 \text{ kN/m}^2$  (6)

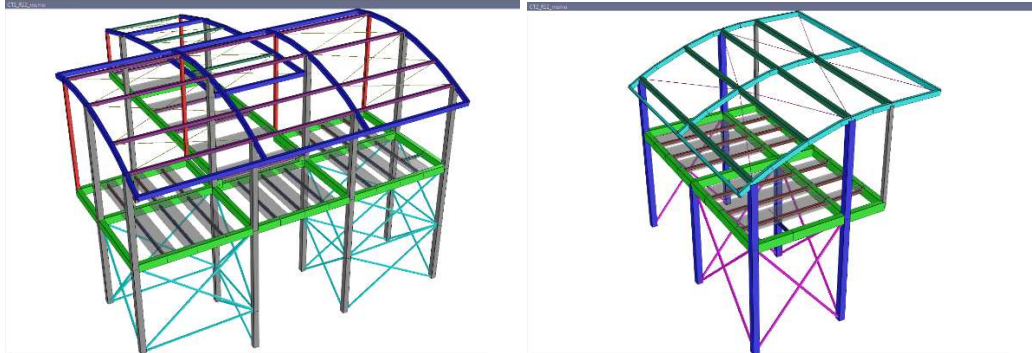


**Figura 11 – Perspectiva da Via Elevada mostrando a flambagem das cordas superiores da estrutura em construção para a carga atuante de concreto mole e sobrecarga de operários.**



**Figura 12 – Vista superior da Via Elevada mostrando a flambagem das cordas superiores da estrutura em construção para a carga atuante de concreto mole e sobrecarga de operários.**





**Figura 13 – Imagens dos modelos estruturais das Estações CT1 e CT2.**



**Figura 14 – Montagem das treliças e vista da estrutura de aço da Via Elevada já com o deque de aço montado e pronta para receber a concretagem da laje.**

## Conclusões

A Via Elevada projetada pela TECTON para apoiar o veículo MAGLEV-COBRA, inserida no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro e em funcionamento desde 2014 é uma estrutura de aço leve e esbelta com um *design* arquitetônico moderno e original.

As estruturas foram concebidas para não interferir com os campos magnéticos do sistema de sustentação e propulsão do veículo que usa tecnologias inovadoras em nível mundial de levitação magnética (SML) e motor linear.

O projeto foi preparado de modo a permitir uma montagem rápida, com ligações parafusadas, com o uso de laje mista com deque de aço (“steel deck”) e com pouca interferência no ambiente no nível das ruas, parques e jardins.

A adoção de construção tubular de aço para as estações elevadas e de embarque integrou a estética do conjunto, além de conferir uma padronização das estruturas.

A escolha de elementos tubulares de aço sem costura também melhora a durabilidade das estruturas com impacto favorável nos custos de manutenção, levando em consideração a qualidade de fabricação e proteção contra corrosão.

A análise estrutural da Via Elevada com um modelo estrutural que incluiu as fundações estaqueadas permitiu a obtenção de uma estrutura muito econômica e com a segurança adequada.

As análises de instabilidade das cordas das treliças feitas com programas de análise estrutural modernos garantiu a segurança da estrutura tanto nas fases construtivas como na situação final.

## Referências

ABNT, NBR 8800. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

ABNT, NBR 7188. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres.

SAE. Sistemas de Análise Estrutural. STRAP, Structural Analysis Programs, 2015.

CSI. Computer & Structures Inc.; SAP 2000 v.17.