

Via Permanente

Ferrovário



Controle de choque, vibrações
e ruído estrutural

Via Permanente - Ferrovário



Propondo soluções e inovando em tecnologia





Vibtech Industrial Ltda

Desde 1994, a Vibtech® Industrial Ltda é sucessora da VIBRACHOC Brasil, filial da empresa francesa de mesmo nome, dando continuidade ao desenvolvimento de produtos no controle de choques, vibrações e ruído.

Em 1973 a VIBRACHOC iniciou suas atividades no Brasil e foi pioneira no país na fabricação de isoladores e coxins para controle de vibrações em aplicações industriais, navais, militares, entre outras, participando dos mais expressivos projetos, utilizando diversas tecnologias como: molas metálicas, almofadas de fio de aço inoxidável, isoladores hidráulicos e elastoméricos.



Introdução

O transporte ferroviário de passageiros é um dos principais meios de transporte em grandes cidades. Sua operação é de extrema importância para garantir a mobilidade urbana. Com o crescimento das cidades e necessidade de expansão da malha metroferroviária, um dos principais desafios de engenharia está em minimizar o impacto ambiental oriundo do ruído e das vibrações mecânicas geradas pela circulação dos trens. As vibrações são geradas na via a partir do contato roda-trilho e se propagam por longas distâncias, causando incômodo em pessoas e comprometendo o funcionamento de equipamentos sensíveis.

Mais especificamente, durante a passagem de trens, é esperado que haja níveis de vibrações importantes sendo gerados. Essas vibrações que ocorrem na via metroferroviária se propagam pela superestrutura da via permanente, pelos túneis, pelo solo e alcança estruturas civis como: edifícios, casas, hospitais, teatros e etc. Conforme a Figura 01, as construções civis tendem a responder (vibrar) às excitações mecânicas. Estas tendem à ser amplificadas nas frequências em que as edificações apresentam modos próprios de vibrar e se tornam mais perceptíveis.

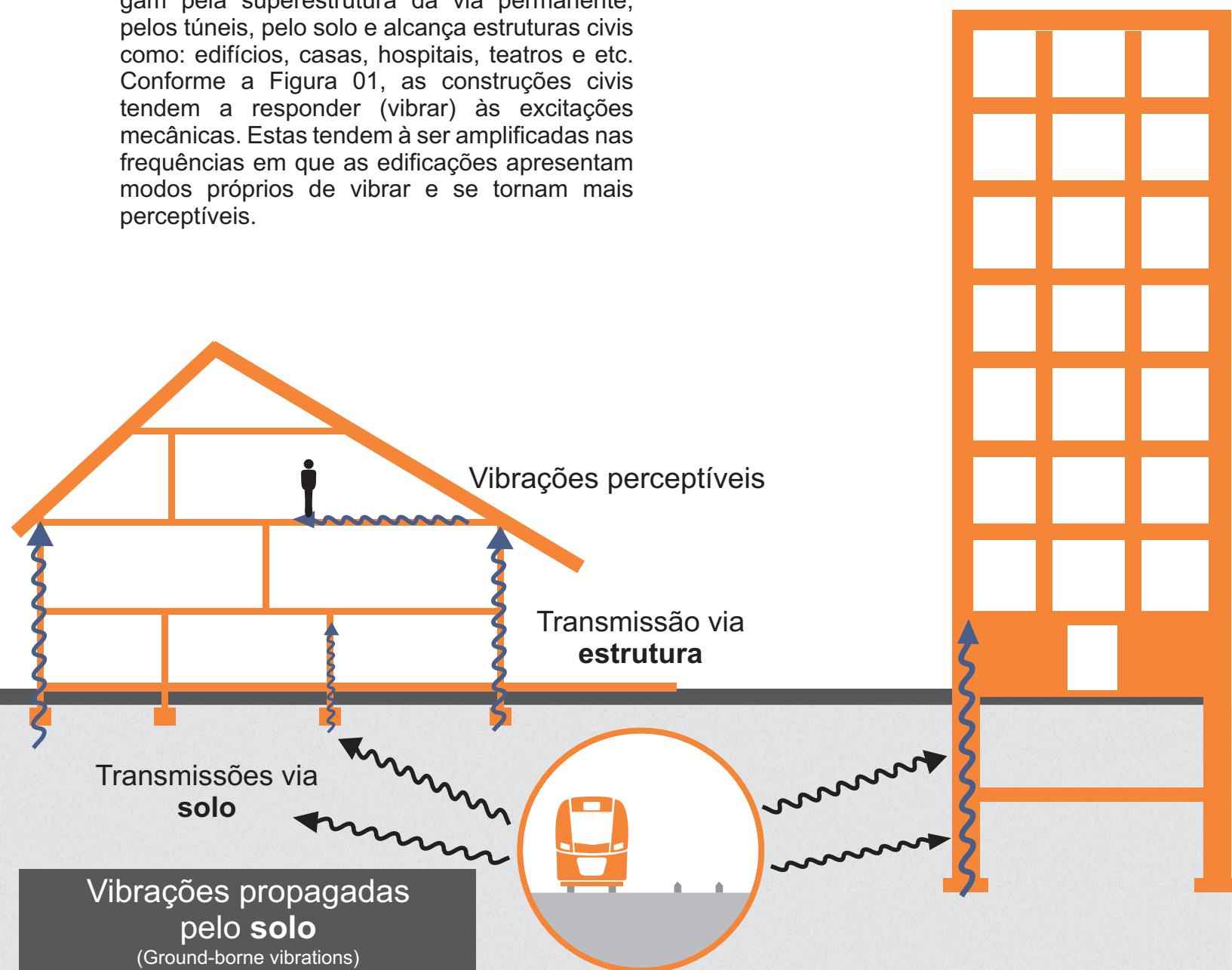


Figura 01. Propagação de vibrações através do solo entre um trem subterrâneo e edificações típicas.

Em paralelo às vibrações, tem-se a propagação de ruído estrutural, também chamado de ruído secundário, que se propaga pelo solo (ground-borne noise) e pode afetar as edificações. Neste caso, as estruturas civis irão responder às excitações convertendo a energia vibratória em ruído radiado no interior das residências, escritórios, teatros, hospitais e etc.

O ruído secundário é importante em trens subterrâneos e de superfície. Já o ruído direto, gerado a partir da radiação sonora direta da passagem de trens, é praticamente desprezível no caso de trens subterrâneos.

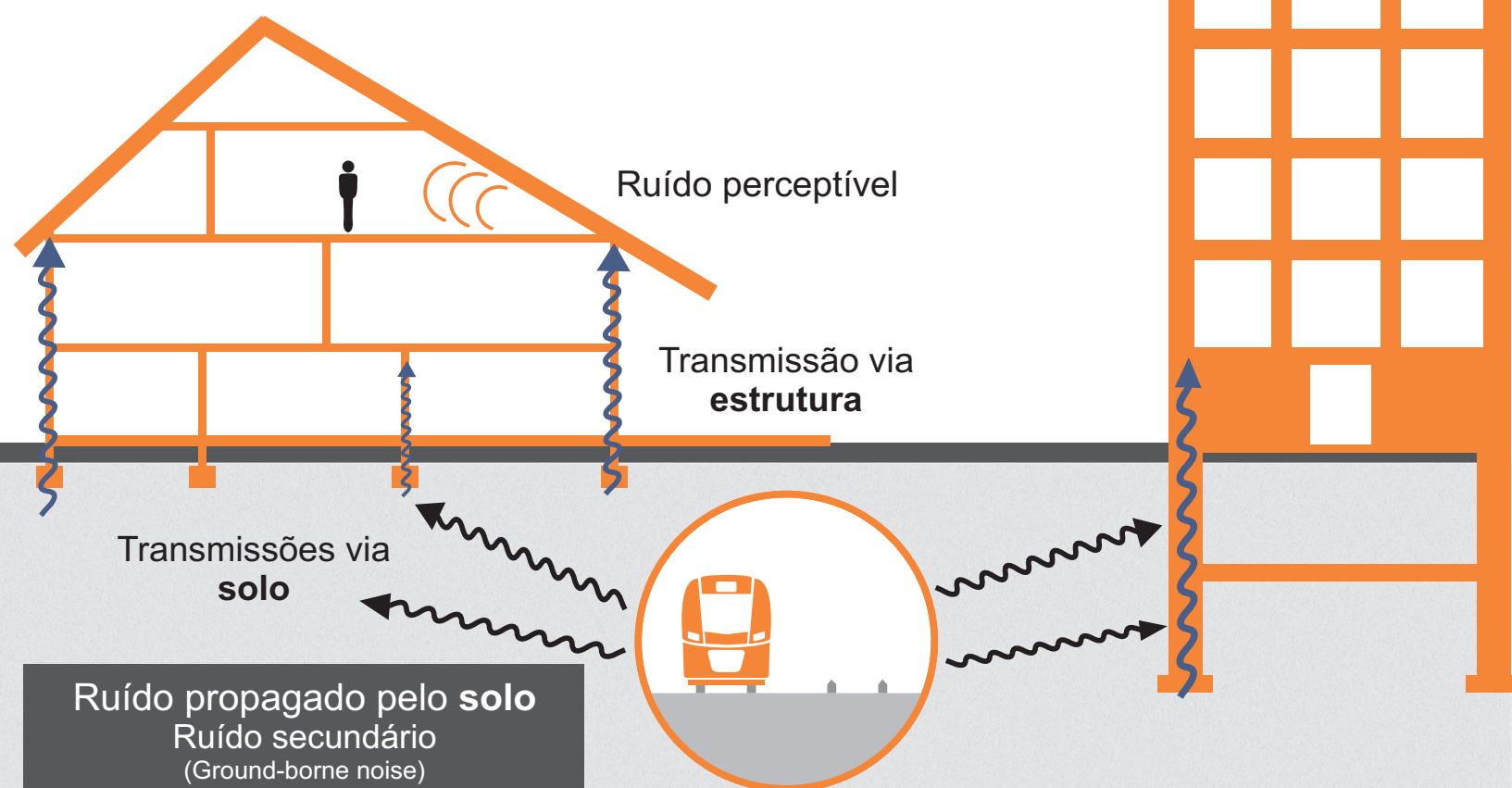


Figura 02. Propagação de ruído através do solo entre um trem subterrâneo e edificações típicas.



Do ponto de vista prático, distinguir as vibrações mecânicas e ruído secundário pode se tornar uma tarefa muito complexa. A Figura 3 apresenta as faixas típicas de frequência em que se situam as vibrações (propagadas pelo solo), ruído secundário (propagado pelo solo) e som audível (propagado pelo ar). Observa-se que na faixa de 10 a 100 Hz os três tipos de perturbação podem ser observados e muitas vezes não é possível determinar qual é predominante.

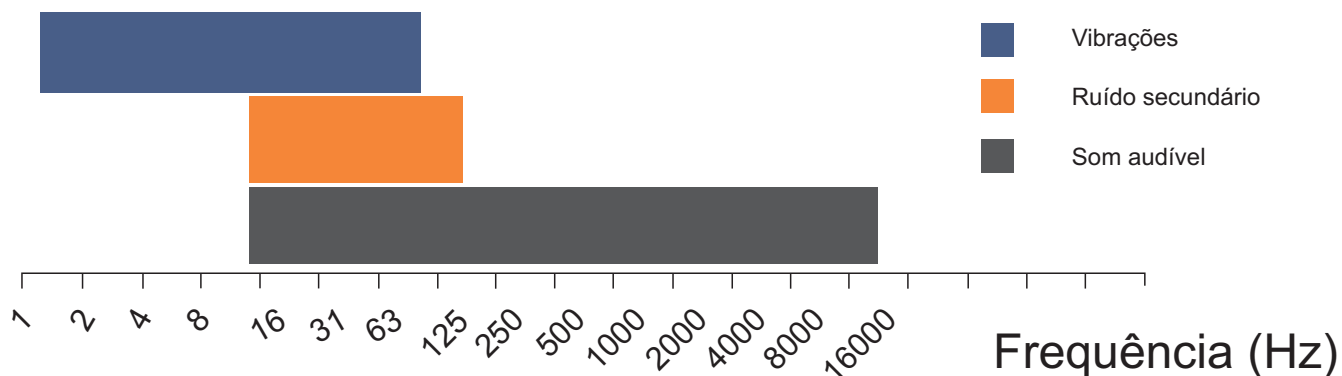


Figura 03. Faixas típicas de frequências de vibrações, ruído secundário e som audível (de Vos P., 2017).

A principal fonte de ruído e vibrações mecânicas proveniente da passagem de trens convencionais está relacionada aos esforços dinâmicos gerados pelo contato roda-trilho durante a passagem de trens de passageiros convencionais.

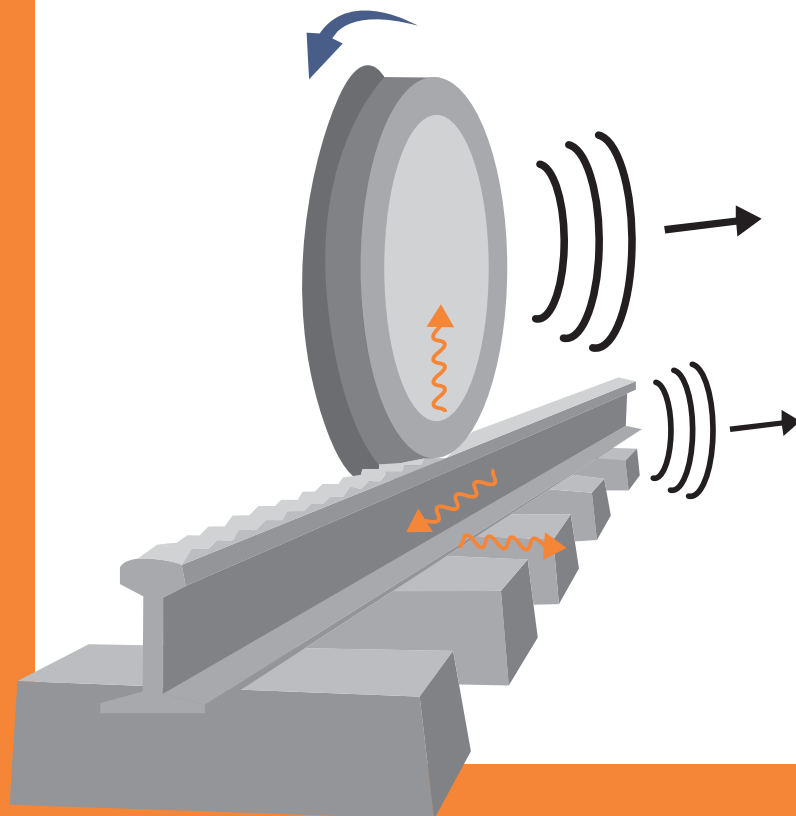


Figura 04. Vibrações geradas no contato roda-trilho (Thompson, 2009).

Os esforços dinâmicos gerados no contato roda-trilho são responsáveis por:

- Radiação direta de ruído pela vibração das rodas dos trens. Este tipo de ruído apresenta impacto menos significativo e até desprezível no caso de trens subterrâneos. No caso de trens de alta velocidade o ruído aerodinâmico tende a prevalecer;
- Radiação direta de ruído pela vibração do trilho;
- Propagação de vibrações mecânicas pelo trilho, via permanente, construção civil dos túneis e solo até chegar nas regiões sensíveis a vibrações (pessoas, casas, prédios, hospitais e etc). As vibrações podem causar incômodo e problemas tanto na forma de vibração (impossibilitar o uso de equipamentos sensíveis) como ruído;

Diversos fatores intrínsecos às condições da via e das rodas dos trens estão relacionados à intensidade dos esforços mecânicos que podem gerar níveis indesejados de vibrações e ruído. São estes:

- Desníveis da via, ondulações nos trilhos, singularidades (juntas e talas de acoplamento dos trilhos) e espaçamento entre conjuntos (placas) de fixação. Desníveis e rugosidade na superfície das rodas dos trens também são fatores relevantes na geração de esforços dinâmicos e vibrações;
- Cada fator indicado possui características específicas e contribuem para esforços dinâmicos diferentes no domínio da frequência. A velocidade de circulação dos trens também possui grande importância e influência direta na faixa de frequência.



Soluções Vibtech® para via permanente

Com o objetivo de mitigar os níveis de ruído e vibrações indesejados pela passagem de trens, a Vibtech® apresenta ao mercado diversas soluções compostas por: conjuntos de fixação resilientes de trilho, isoladores de vibrações de molas, apoios discretos em elastômero (à base de borracha natural) e amortecedores hidráulicos para a via permanente (sistema massa-mola).



Sistema massa-mola

Operacionalmente, é de interesse de todos que o funcionamento de trens de passageiro ocorra o mais próximo possível de regiões de alta densidade populacional. Um dos grandes desafios neste tipo de operação está no isolamento de vibrações e ruído propagado pelos trens. Essa é uma questão central para mobilidade em grandes centros urbanos.

O sistema massa-mola é utilizado no mundo inteiro e possui o melhor desempenho em termos de isolamento de vibrações e ruído secundário dentre as técnicas de controle de vibrações disponíveis para esse tipo de aplicação. Nos últimos anos, a Vibtech desenvolveu diversos isoladores de vibrações e amortecedores hidráulicos para integrar o sistema mecânico de isolamento de vibrações denominado sistema massa-mola. A concepção desse sistema é fundamentada em um sistema clássico de problemas de vibrações mecânicas de mesmo nome, conforme Figura 05.

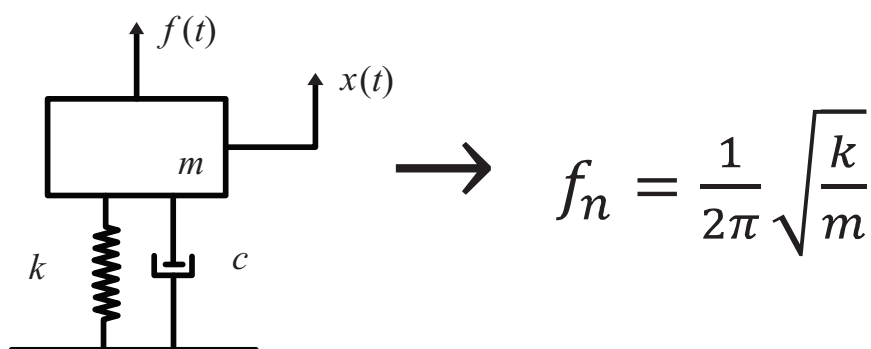


Figura 05. Sistema de um grau de liberdade (massa-mola) no qual k representa a rigidez do sistema, m é a massa, c é a constante de amortecimento, $x(t)$ representa os deslocamentos em função do tempo e $f(t)$ as forças externas em função do tempo.

Um sistema massa mola é composto por uma massa e uma mola que caracterizam a frequência natural do sistema f_n . A partir da frequência natural do sistema, a resposta dinâmica do sistema devido uma força externa passa à ser conhecida e dividida em duas regiões no domínio da frequência: a primeira é a região de ressonância que ocorre nas proximidades da frequência natural do sistema e a segunda é a região em que os efeitos inerciais associados à massa do sistema prevalecem. No limite das baixas frequências o comportamento dinâmico tende ao comportamento estático, conforme Figura 06.

Uma forma prática de analisar o comportamento dinâmico básico de um sistema mecânico e o seu benefício em relação ao isolamento de vibrações pode ser feito a partir da curva de transmissibilidade T de energia vibratória de um sistema de um grau de liberdade:

$$T = \sqrt{\frac{1 + (2\xi \omega/\omega_n)^2}{(1 - \omega^2/\omega_n^2)^2 + (2\xi \omega/\omega_n)^2}}$$

na qual $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular e $\omega_n = \sqrt{k/m}$ é a frequência natural do sistema. Valores típicos da curva de transmissibilidade são apresentados na Figura 6. Observa-se que a transmissão de energia vibratória (força) é igual ou maior do que o valor unitário até a frequência $f_n \sqrt{2}$. Quando a frequência de excitação externa coincide com a frequência natural do sistema, tem-se o fenômeno de ressonância. O controle da resposta dinâmica do sistema nessa frequência pode ser feito através da inserção de amortecimento. A partir da frequência de $f_n \sqrt{2}$, tem-se que a transmissão de energia passa a ser menor que o valor unitário e, portanto, obtém-se o isolamento de vibrações. É importante ressaltar que, acima dessa frequência, os efeitos inerciais, os efeitos inerciais (massa) do sistema passam a ser predominantes.

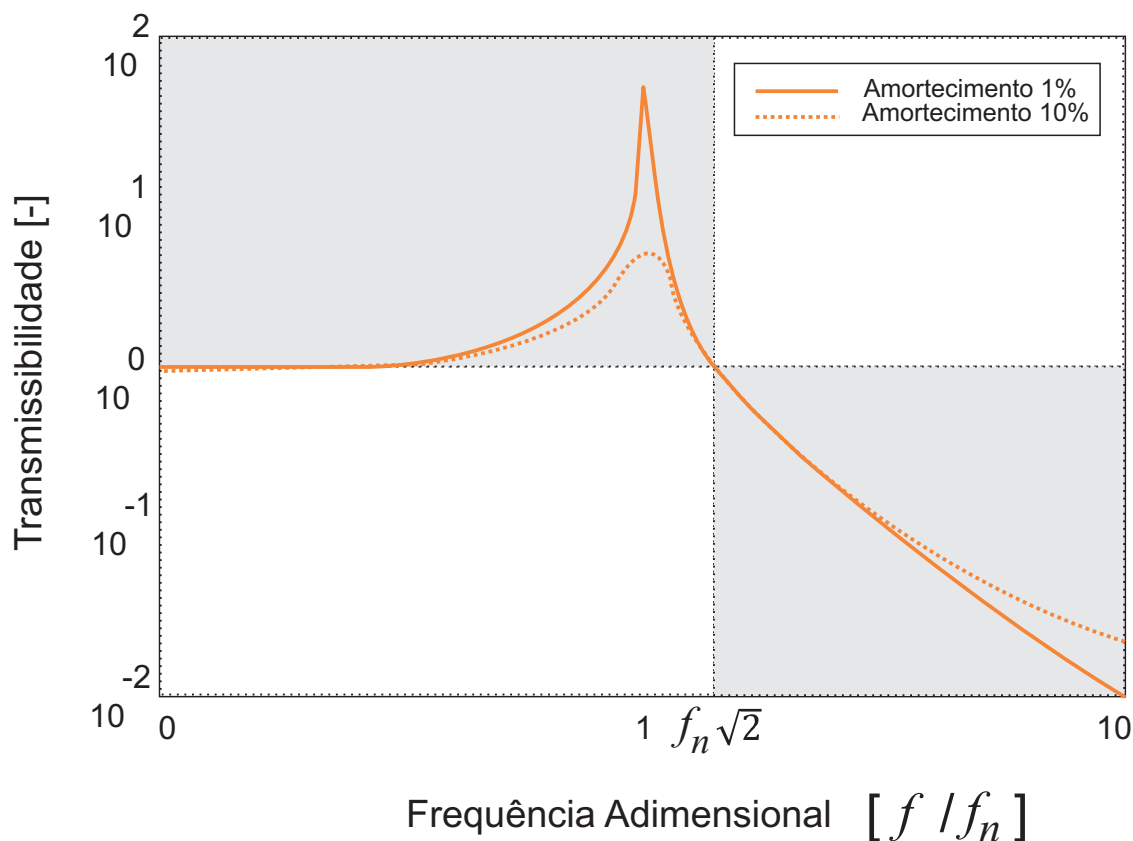
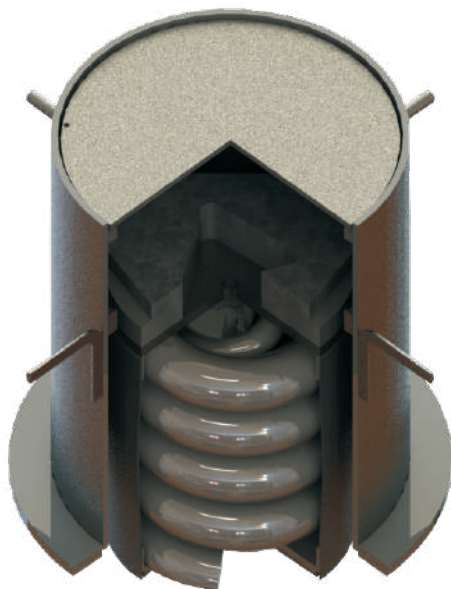


Figura 06. Curva de transmissibilidade de um sistema de um grau de liberdade (massa-mola).

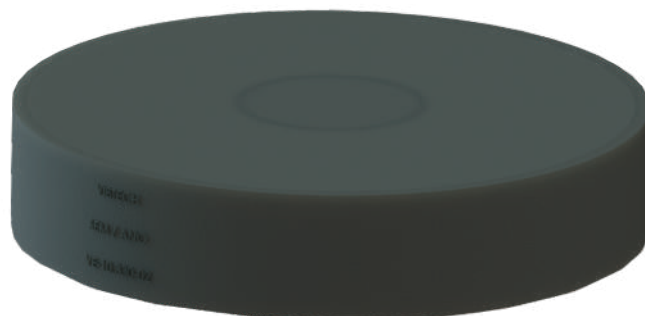


Na prática, o sistema massa-mola é composto basicamente pela “massa”, laje flutuante na qual os trilhos são fixados através dos conjuntos de fixação acrescida da massa não suspensa dos trens, e todo este sistema é suspenso por “molas” (isoladores de vibrações). Sua implementação torna-se mais complexa com a necessidade de aumento do isolamento de vibrações através da diminuição da frequência natural do sistema. Essa frequência pode ser minimizada de duas formas: redução da rigidez ou aumento da massa. A redução da rigidez, em geral, implica na diminuição da estabilidade do sistema e impacta na segurança operacional. O aumento de massa exige uma laje flutuante maior e maiores dimensões dos túneis, o que representa um impacto relevante nos custos da superestrutura da via permanente. Por fim, o desenvolvimento de um sistema massa-mola adequado é o resultado de boas práticas de engenharia nas várias etapas da construção da via permanente: projeto da via, definição das características do sistema, ensaios de homologações e, finalmente, a execução da obra.

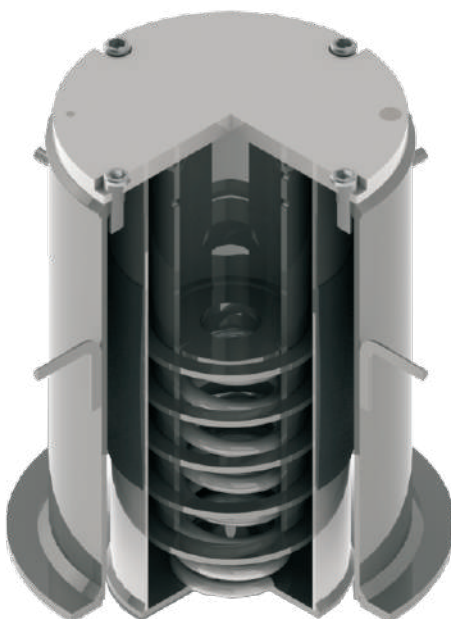
Isoladores de vibrações Vibtech® : molas helicoidais, elastômero (borracha natural) e amortecedor hidráulico para sistema massa-mola



VE 11.150



VE 10.330

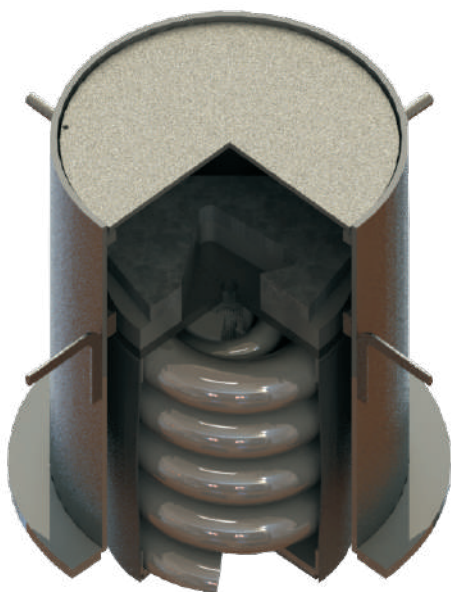
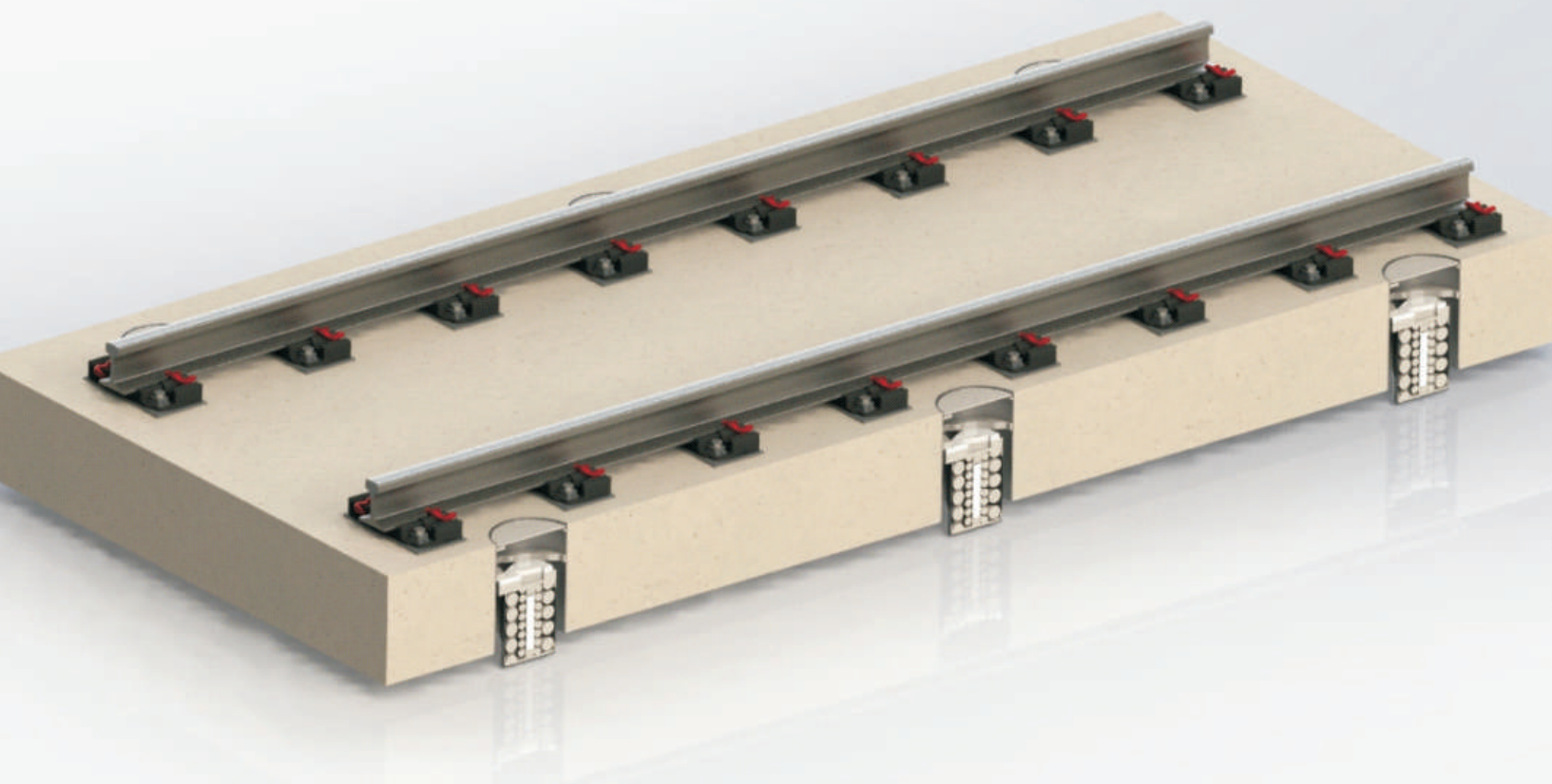


VH 12.068



Referências de fornecimentos de isoladores e amortecedores de vibrações (baldinho, pad e amortecedor hidráulico) para sistema massa-mola

| Produto | Cliente Final | Quantidade | Ano |
|------------------------------------|--------------------|------------|------|
| V 11.150 (Baldinho) | Metrô SP - Linha 5 | 4767 | 2016 |
| VE 10.330 (Pad 10Hz) | Metrô SP - Linha 5 | 1052 | 2017 |
| VE 10.329 (Pad 14Hz) | Metrô SP - Linha 5 | 3686 | 2017 |
| V 11.155 (Baldinho) | Metrô SP - Linha 5 | 616 | 2017 |
| VH 12.068 (Amortecedor hidráulico) | Metrô SP - Linha 5 | 154 | 2017 |
| VE 10.329-02 (Pad 14 Hz) | Metrô SP - Linha 4 | 1490 | 2020 |
| V 11.150-02 (Baldinho) | Metrô SP - Linha 4 | 697 | 2020 |
| VE 10.330-02 (Pad 11 Hz) | Metrô SP - Linha 4 | 616 | 2021 |



Isolador de vibrações de molas helicoidais

Também conhecido como “baldinho”, os isoladores de vibrações de molas helicoidais permitem a redução da frequência natural do sistema massa-mola, proporcionando isolamento de vibrações em “baixas” frequências. Tipicamente se obtém frequências naturais de 4,9 a 8 Hz.

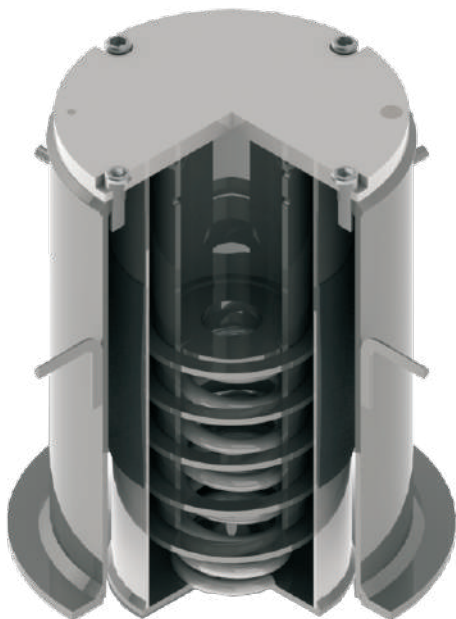
Uma vantagem desse produto está associada à praticidade em se realizar a troca das molas em caso de necessidade.



Figura 07. Sistema massa-mola de frequência natural de 4,9 Hz. Sistema amortecido através de amortecedores hidráulicos centrais.

Amortecedor hidráulico

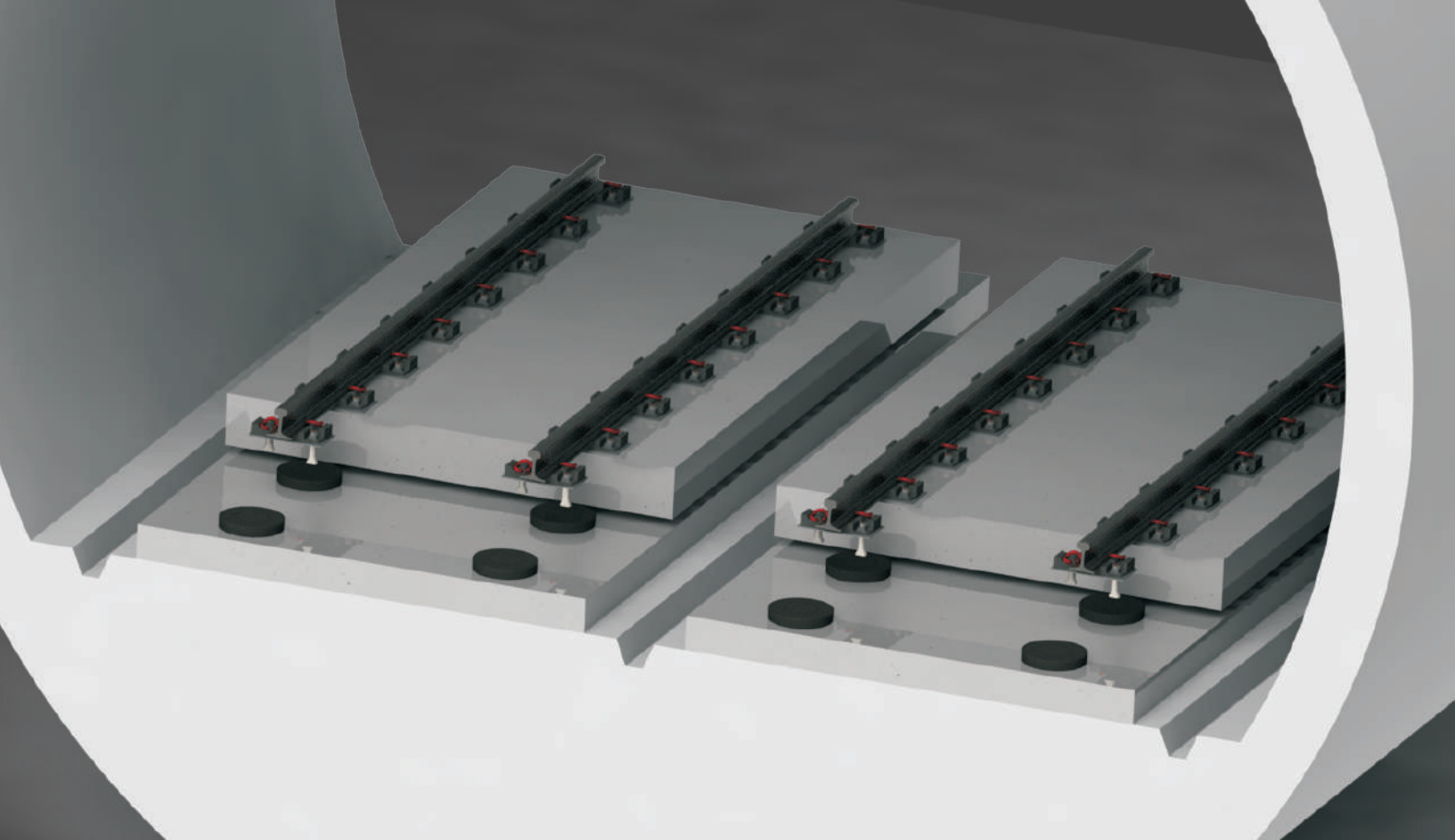
Cada vez mais o sistema massa-mola tem se estabelecido como a melhor solução para o isolamento de vibrações e ruído secundário. Em geral, tratam-se de situações em que a linha férrea obrigatoriamente será construída próximo à regiões extremamente sensíveis a ruído e vibrações como: salas de concerto, hospitais, residências e etc.



Um caso prático relevante ocorreu na construção do trecho entre as estações Hospital São Paulo e Santa Cruz da Linha-5-Lilás do Metrô-SP. O desafio do Metrô-SP era garantir que a sua operação não causasse nenhum problema na utilização de equipamentos de ressonância magnética sensíveis as vibrações, instalados no segundo sub-solo do Hospital São Paulo a uma distância mínima da ordem de 28 metros do tunel de circulação dos trens. A Vibtech atuou na elaboração da concepção do sistema massa-mola que ao final apresentou uma frequência natural de 4,9 Hz. Dada a baixa frequência natural do sistema a Vibtech apresentou a concepção do amortecedor hidráulico para controle da resposta dinâmica do sistema na frequência de ressonância.

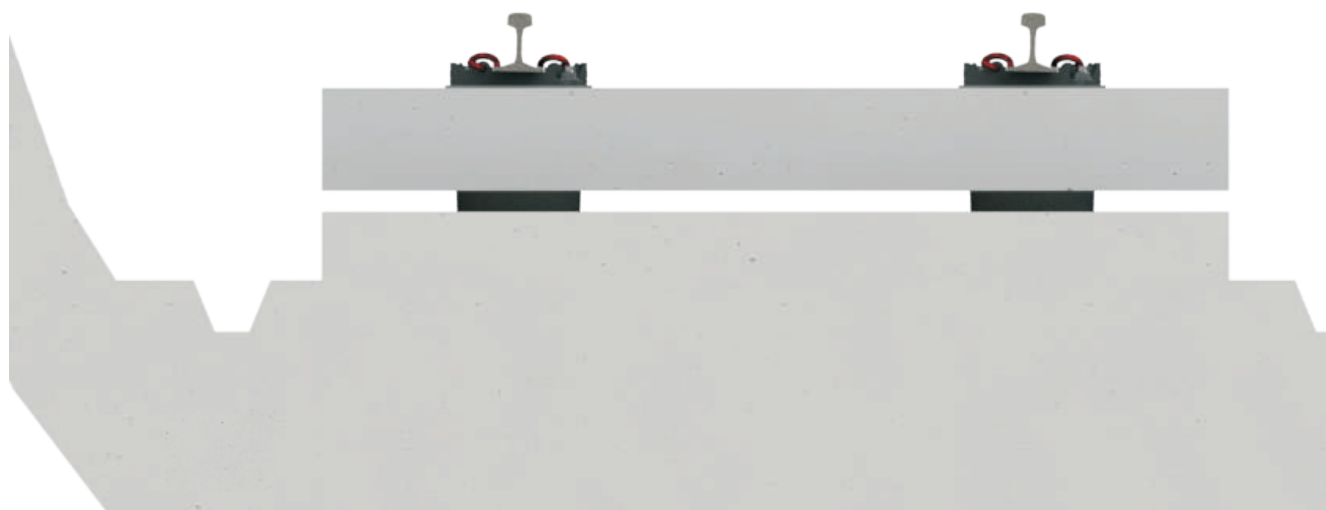
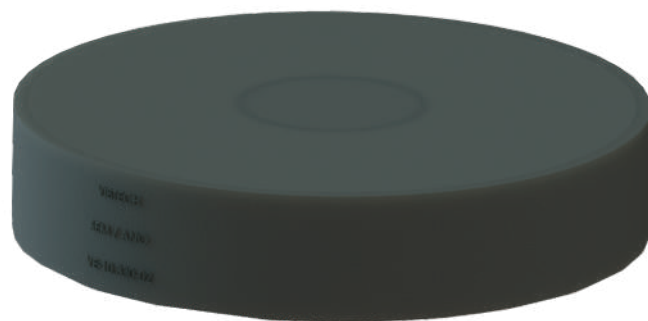
Desenvolvimento de sistema de superestrutura amortecedor de vibrações e ruídos secundários para garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos de ressonância magnética do Hospital São Paulo, Revista Brasil Engenharia, pág. 121 a 125, 2018.

O desenvolvimento em mais de duas décadas dos sistemas de amortecimento de vibrações e ruídos secundários no Metrô, Revista Brasil Engenharia, pág. 82 a 87, 2020.
Protótipo para homologação em laboratório do sistema massa-mola da via permanente da Linha 5-Lilás, Revista Brasil Engenharia, pág. 221 a 224, 2020.



Isolador de vibração em elastômero (à base de borracha natural)

Popularmente denominados como “pads”, os isoladores de borracha natural apresentam frequências naturais típicas de 8 à 14 Hz. Um critério importante para utilização dessa solução é garantir a estabilidade da via. Com esse propósito, a Vibtech® desenvolveu um sistema exclusivo em que é possível controlar a rigidez horizontal dos isoladores elastoméricos. Além disso, estes apresentam altura relativamente baixa, simplificando a forma construtiva da laje flutuante.



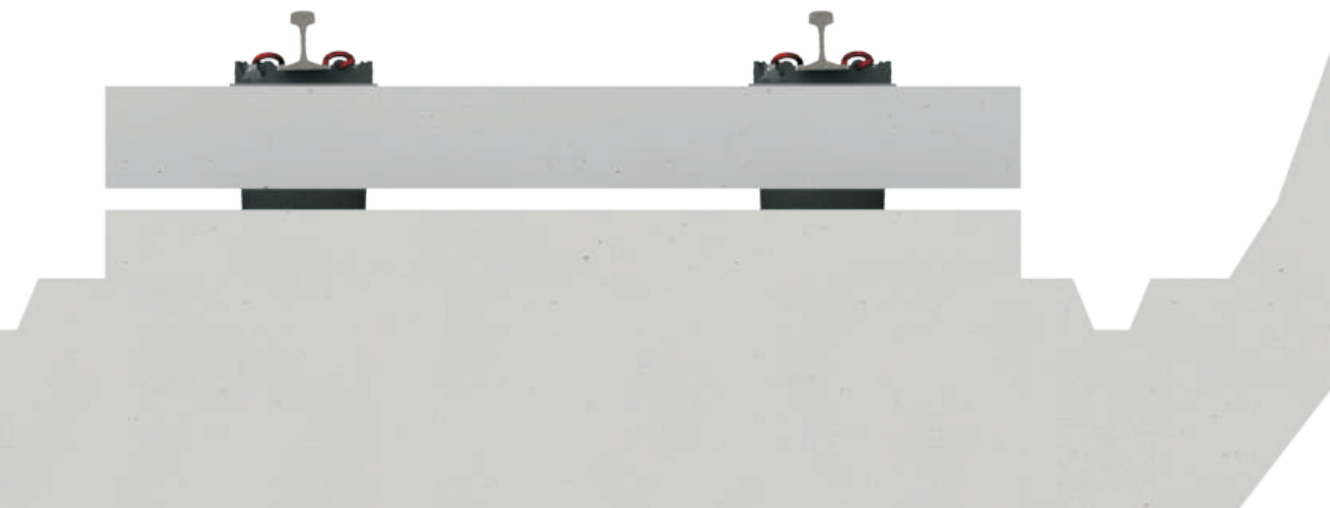


Homologação dos isoladores de vibração do sistema massa mola

Todos os isoladores de vibração (baldinhos e pads) são homologados seguindo procedimentos específicos e aprovados pelo cliente final.

Os mesmos envolvem ensaios de cargas cíclicas (fadiga) de 3 milhões de ciclos no sentido axial da peça (esforços verticais da via) e, no caso dos pads, também são realizados ensaios de resistência mecânica no sentido transversal (esforços horizontais da via).

Integram os ensaios de homologação a caracterização da rigidez dinâmica, rigidez horizontal (associada a estabilidade da via) e resistência à intempéries (ar, ozônio, água e calor) dependendo do tipo do isolador de vibração.





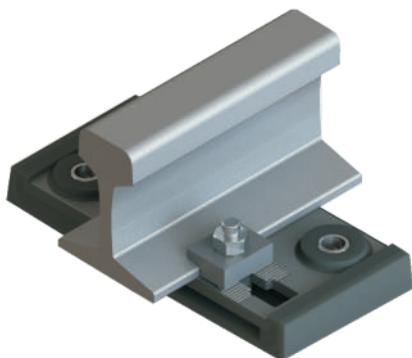
Conjunto de fixação resiliente de trilhos

Este tem como função a fixação direta de trilhos. O interesse no uso de fixações resilientes está na obtenção de um conjunto de fixação de trilhos com vida útil maximizada e maiores intervalos entre manutenções preventivas da via. O prolongamento da vida útil é obtido com a mitigação dos impactos causados pelo contato roda trilho. Esse tipo de solução proporciona uma redução dos níveis de vibrações gerados pela passagem de trem para a superestrutura da via e, conseqüentemente, reduz as vibrações transmitidas para a vizinhança. Dessa forma, obtém-se ainda a redução do ruído secundário propagado.

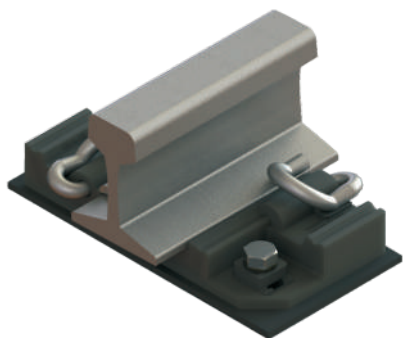
As características de rigidez estática e dinâmicas devem garantir flexibilidade vertical e maximizar a rigidez lateral e a rigidez à rotação do trilho durante a passagem do trem. No sentido longitudinal da via, o conjunto de fixação elástico prevê a possibilidade de dilatação e retração dos trilhos.

O conjunto de fixação garante ainda dois níveis de isolamento elétrico, solicitação crucial para a operação dos projetos atendidos. Este tipo de fixação permite que o adequado alinhamento entre o trem e a plataforma de embarque seja realizado de forma prática. O sistema possui um dispositivo de ajuste de bitola que simplifica a instalação e manutenção do conjunto de fixação e dos trilhos.

Conjunto de fixação resiliente de trilhos



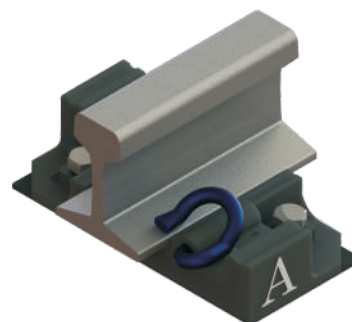
Placa Lands
Rigidez dinâmica 70 kN/mm



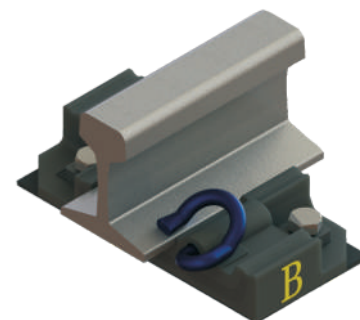
VE 10.352
Rigidez dinâmica 70 kN/mm



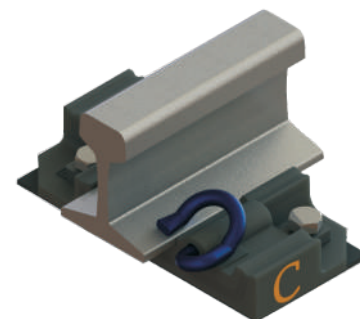
VE 10.399
Rigidez dinâmica 62 kN/mm



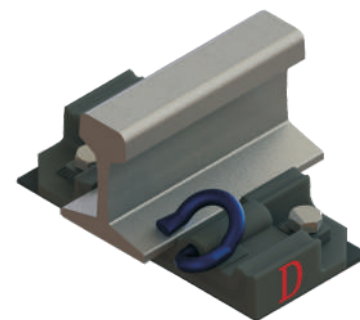
VE 10.365-A
Rigidez dinâmica 5 a 8 kN/mm



VE 10.365-B
Rigidez dinâmica 23 kN/mm



VE 10.365-C
Rigidez dinâmica 38 kN/mm

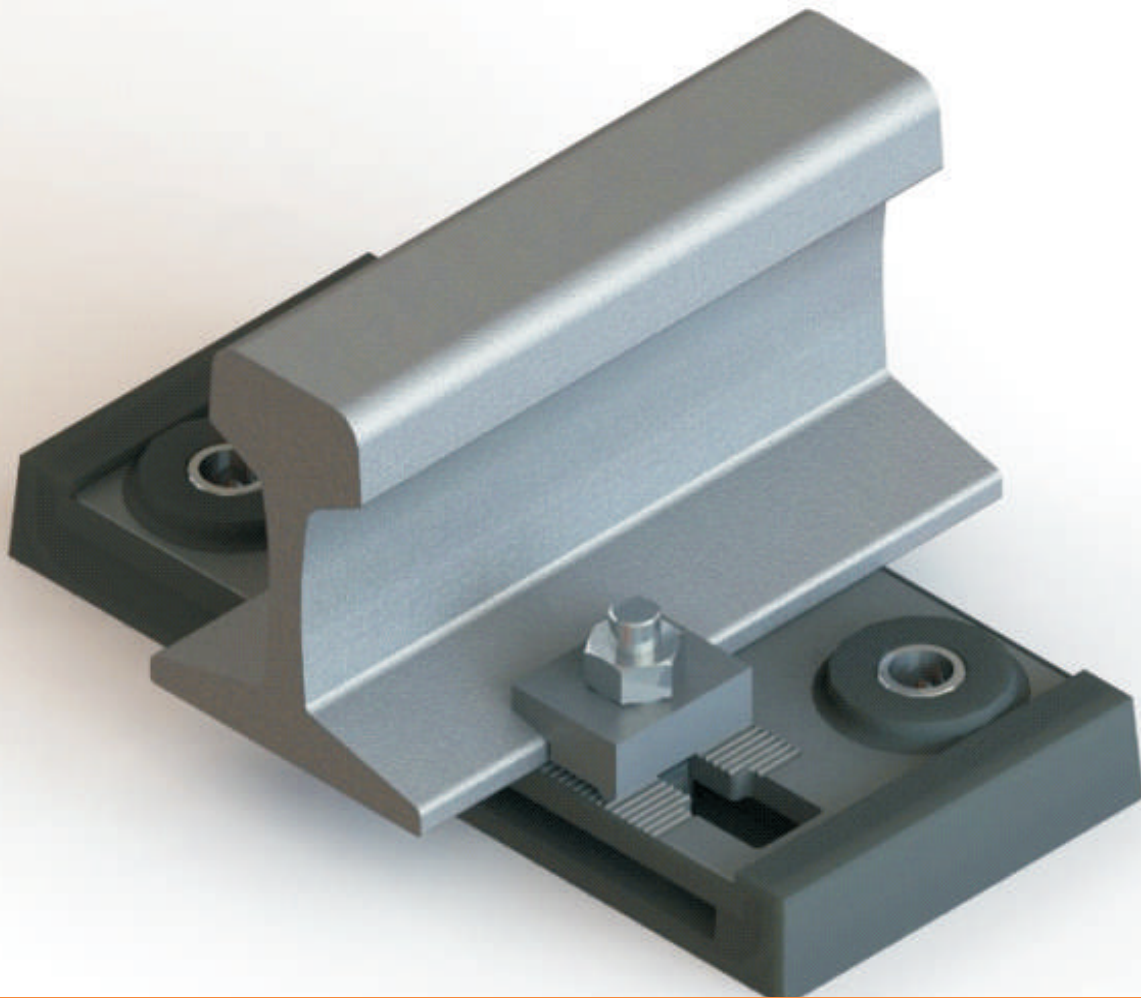


VE 10.365-D
Rigidez dinâmica 55 kN/mm



Referências de fornecimento de conjuntos de fixação

| Produto | Cliente Final | Quantidade | Ano | Trilho | Inclinação |
|-------------------|---------------------------|------------|------|----------------|------------|
| Placa Tipo Landis | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 5400 | 2012 | TR57 | - |
| Placa Tipo Landis | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 6300 | 2014 | TR57 | - |
| Placa Tipo Landis | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 7500 | 2018 | TR57 | - |
| VE 10352 | Metrô SP - Linha 2 | 846 | 2019 | TR57 | 1:40 |
| VE 10365 D | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 510 | 2019 | TR57 | - |
| VE 10365 C | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 510 | 2019 | TR57 | - |
| VE 10365 B | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 2800 | 2019 | TR57 | - |
| VE 10365 A | Metrô SP - Linha 1, 2 e 3 | 2800 | 2020 | TR57 | - |
| VE 10399 02 | Metrô SP - Linha 4 | 9213 | 2020 | 60 E1 (UIC 60) | 1:40 |



Placa Landis rigidez dinâmica 70 kN/mm

Placa Tipo Landis

A placa tipo Landis é pioneira na concepção de placas resilientes de fixação de trilhos. Permite a fixação elástica com controle de rigidez vertical, lateral e longitudinal do trilho. Permite o ajuste de bitola durante a montagem e manutenção da via e também proporciona isolamento elétrico.



Placa de Fixação VE 10.352 Linha 2 (Verde)



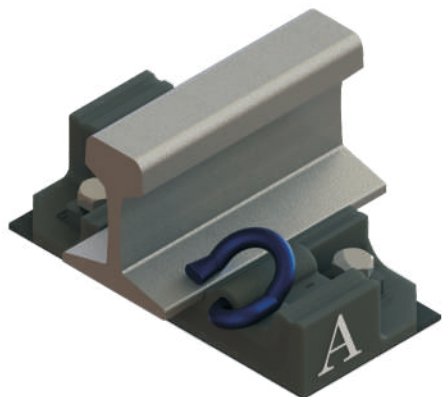
VE 10.352 Rigidez dinâmica 70 kN/mm

A placa VE 10352 desenvolvida pela Vibtech® é duplamente elástica e pode ser considerada um marco inicial no processo de evolução da concepção da placa Landis.

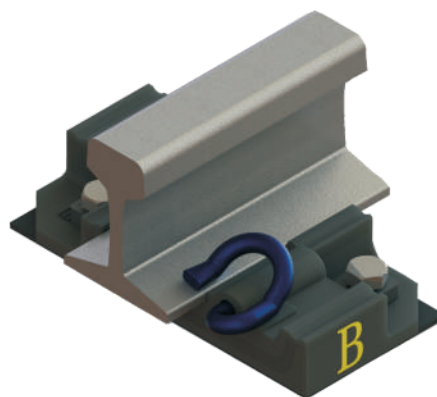
Essa concepção permite a dilatação e retração do trilho devido variações de temperatura e esforços longitudinais em função da passagem de trens. Dessa forma, os níveis de tensões nos conjuntos de fixação são preservados em valores normais e as condições de instalação são mantidas por um período de tempo maior.

Placa de fixação VE 10.365 tipo A, B, C e D

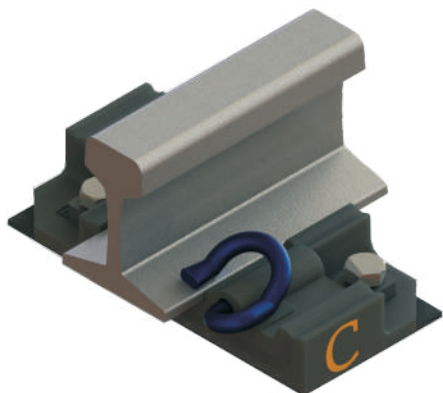
Os quatro projetos foram homologados especificamente para a modernização das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha do Metropolitano de São Paulo (Metrô SP). Esse processo ocorreu em paralelo com o projeto de desenvolvimento da placa VE 10352. O desenvolvimento destes cinco projetos em paralelo colocam em evidência a resiliência, qualidade e capacidade técnica da Vibtech em propor e desenvolver soluções na área de controle de vibrações, choque e ruído.



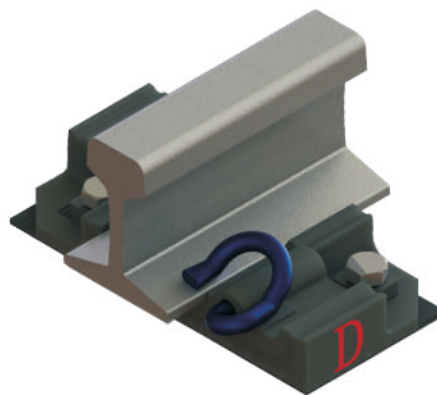
Rigidez dinâmica de 5 a 8 kN/mm



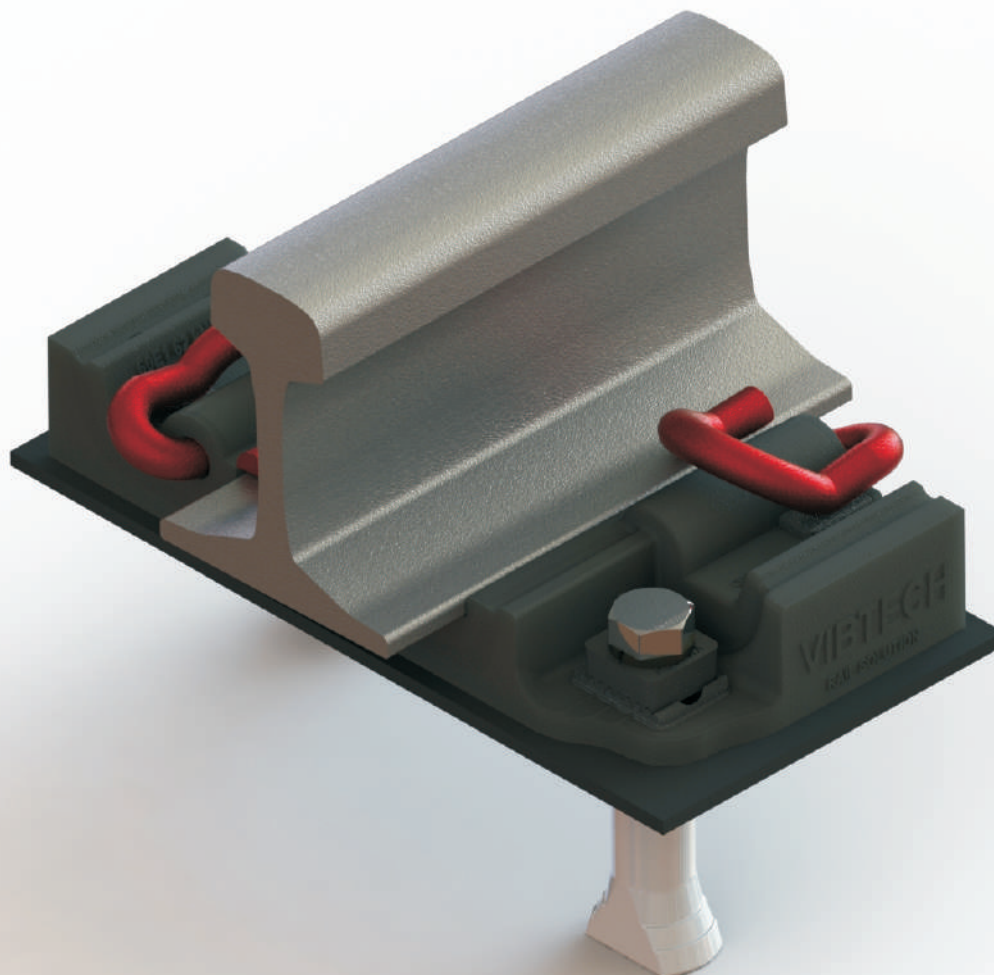
Rigidez dinâmica de 23 kN/mm



Rigidez dinâmica de 38 kN/mm



Rigidez dinâmica de 55 kN/mm



VE 10.399-02 rigidez dinâmica 62 kN/mm

Placa de fixação VE 10.399-02

O conjunto de fixação VE 10.399-02 foi fornecido para a Fase 2 da Linha 4 – Amarela da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Produto homologado atendendo aos requisitos mecânicos e elétricos definidos em normas internacionais e critérios estabelecidos pelo Metropolitano de São Paulo.



Procedimento de homologação

Todos os conjuntos apresentados foram homologados seguindo normas internacionais ferroviárias. A homologação do produto exige a manutenção das características mecânicas do conjunto de fixação após ensaio de cargas cíclicas de 3 milhões de ciclos em plano inclinado (EN 13146-7:2012). Inclui ainda a caracterização mecânica de todos os componentes.



Caracterização da rigidez dinâmica
EN 13146-9:2012



Normas principais:

EN 13481-5 - 2017: Railway applications. Track. Performance requirements for fastening systems. Part 5: Fastening systems for slab track with rail on the surface or rail embedded in a channel.

EN 13146-1 - 2015: Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 1: Determination of longitudinal rail restraint.

EN 13146-4 - 2015: Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 4: Effect of repeated loading.

EN 13146-7 - 2012: Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 7: Determination of clamping force.

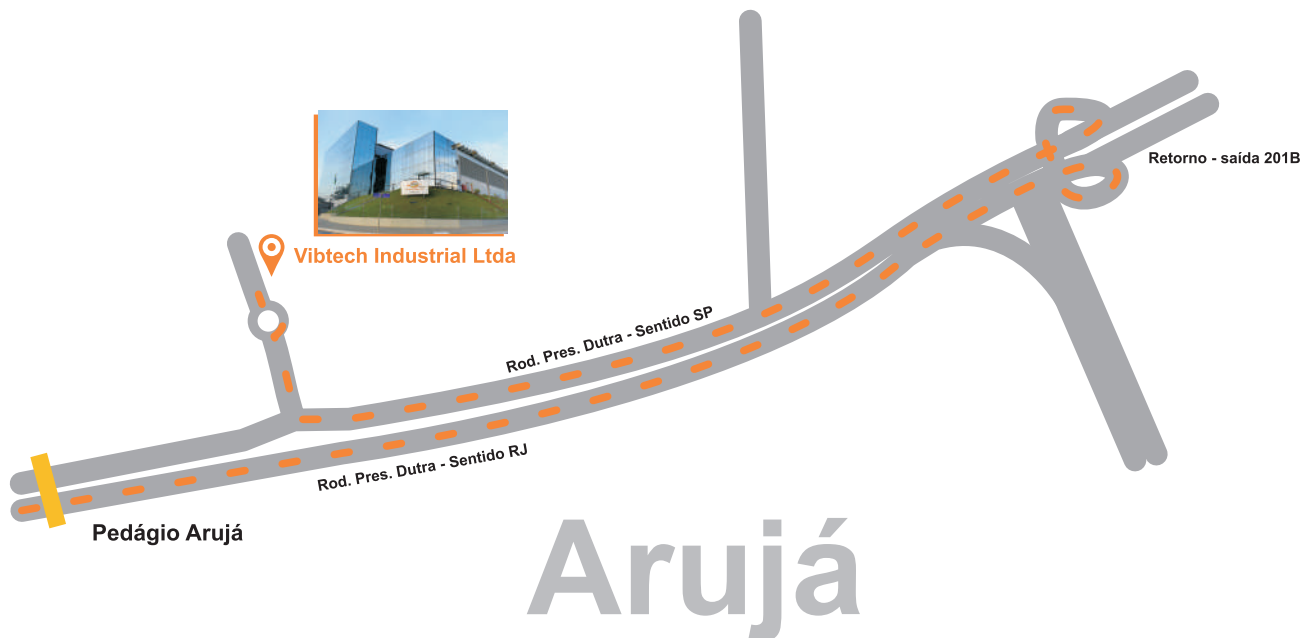
EN 13146-9 - 2012: Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 9: Determination of stiffness.

EN 13146-10 - 2017: Railway applications - Track - Test methods for fastening systems - Part 10: Proof load test for pull-out resistance.

EN 13146-5 - 2017: Railway applications. Track. Test methods for fastening systems. Part 5: Determination of electrical resistance.

Localização

Centro industrial de Arujá



Av. Takara Belmont, 233 - 07411-710 - Centro Industrial de Arujá - Arujá - SP

Formas de contatar a Vibtech®

Orçamentos:

comercial@vibtech.com.br
Tel: 11 4652 - 7444

Financeiro:

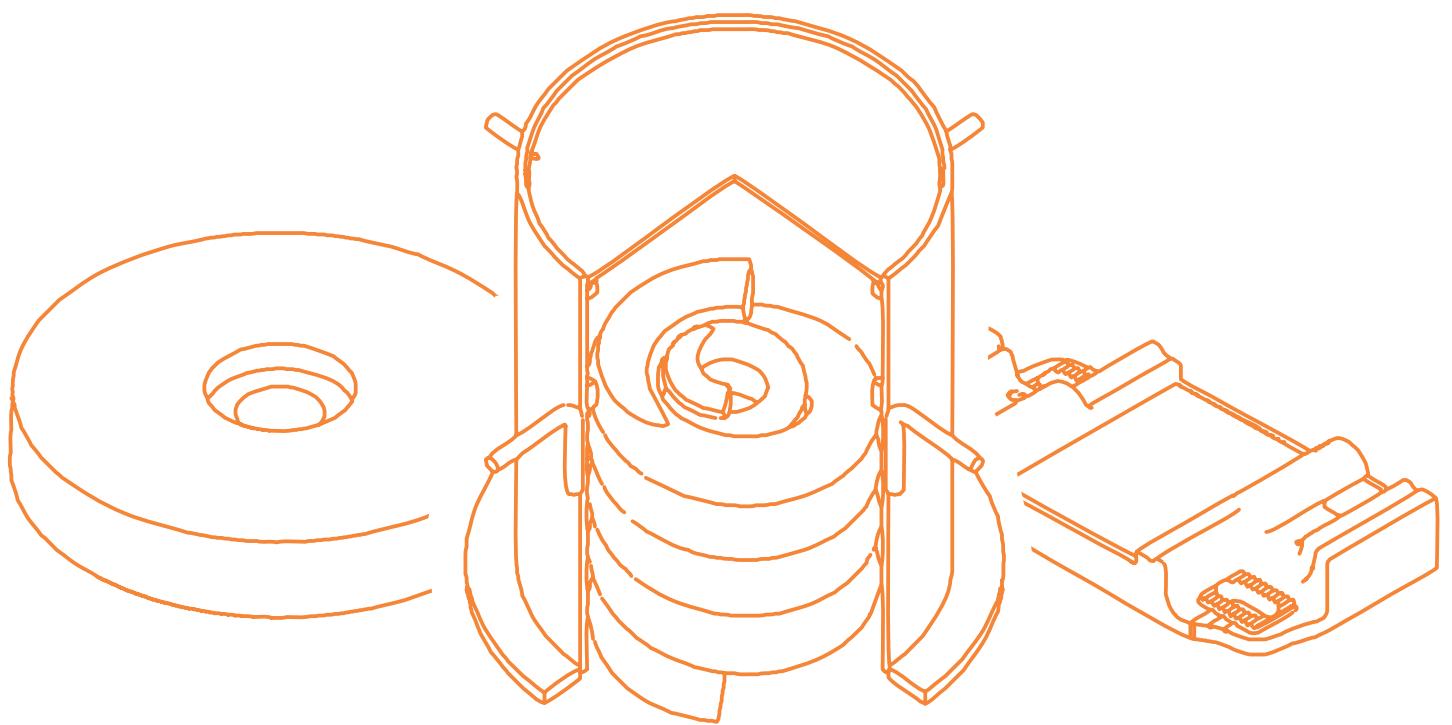
financeiro@vibtech.com.br
Tel: 11 2894 - 6059

Informações:

info@vibtech.com.br



**Aponte a câmera para o
Qr code e obtenha a rota
diretamente em seu celular.**



Av. Takara Belmont, 233 - Centro Industrial,
Arujá - SP, 07411-710

(11) 4652-7444

www.vibtech.com.br
info@vibtech.com.br

