



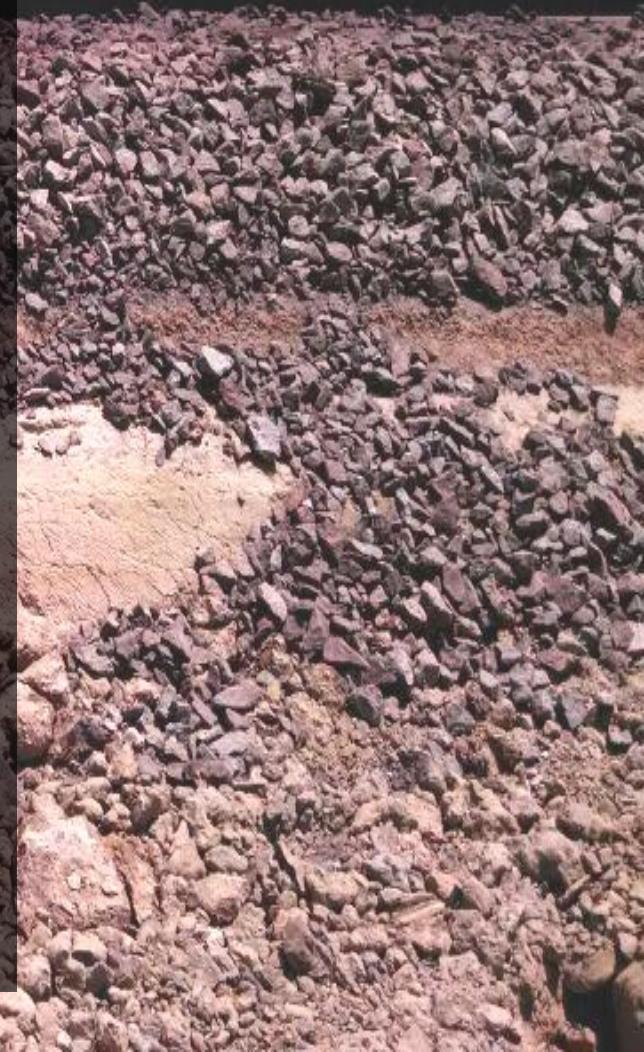
# WEBINÁRIO IPR+

*Inovações em Projetos de  
Infraestrutura Ferroviária*

**Autor:** Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, Profº D.Sc, IME  
7 de maio de 2025

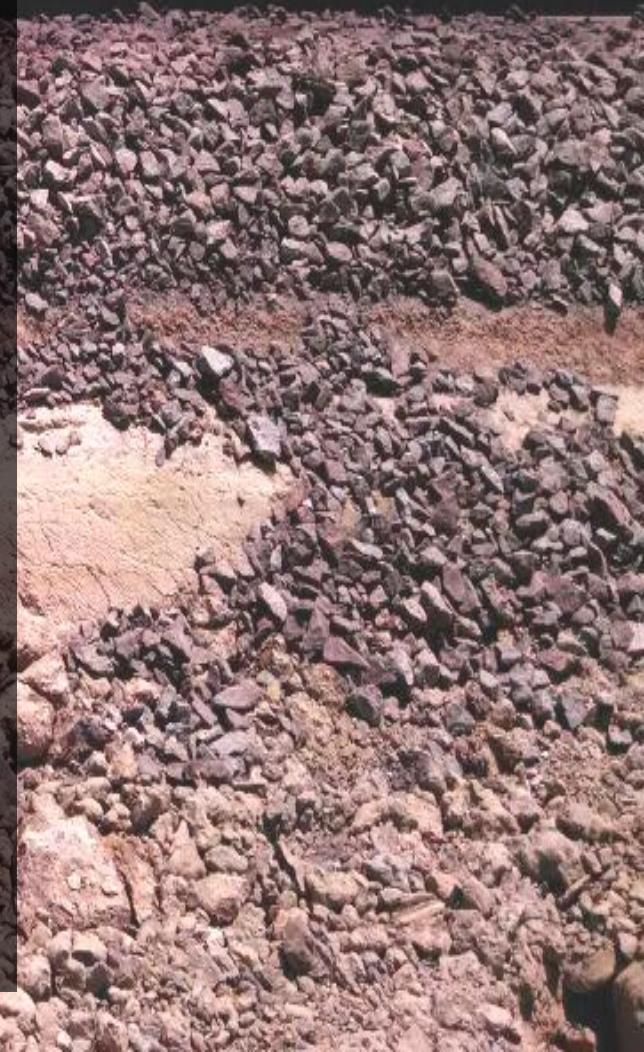
# SUMÁRIO

- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos



# SUMÁRIO

- **Introdução;**
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento E Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos





# INTRODUÇÃO

- Retomada dos investimentos em ferrovias (Heavy Haul);
- Operadoras: Vale, CSN, Vli, Rumo, MRS.
- Valec (Infra): FIOL
- Cenário atual: implantações e restaurações;
- Critérios de projeto x normas técnicas
- Mecânica dos pavimentos, Mecânica dos Solos Não Saturados e Solos tropicais e Classificação MCT;



# Equipe Envolvida - Créditos

- **Gabriel Nascimento, Elgayer Engenharia, D.Sc, Profº UFF**
- **José Carlos Silva Filho, D.Sc, Vale**
- **Bruno Guimarães Delgado, D.Sc, U. Porto**
- Luiza Alencar, D.Sc IME
- Maelkson Bruno, Doutorando IME
- Juliana Tanabe, Doutoranda IME e Vale
- Willian Wilson, Doutorando IME
- Lisley Coelho, Doutoranda IME
- Ciro Azevedo, Eng IME
- Mayssa Alves da Costa, Profª D.Sc UEMA
- Fabiana Bartalini Von der Osten, M.Sc, Profª PUC-PR
- Lidiane Hellen, M.Sc IME
- Artur Rosa, Mestrando IME

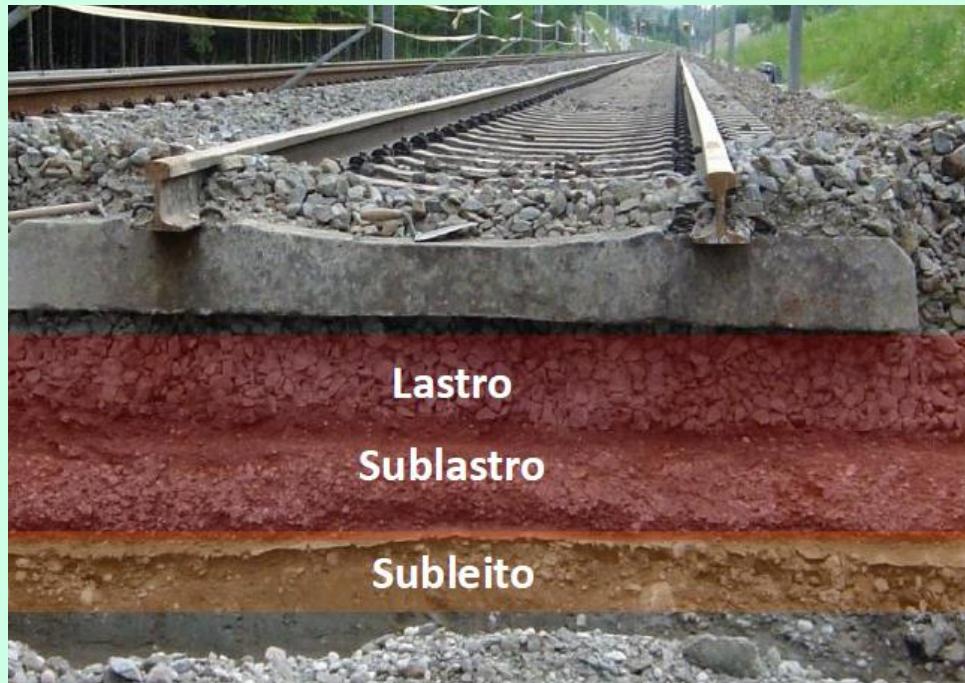
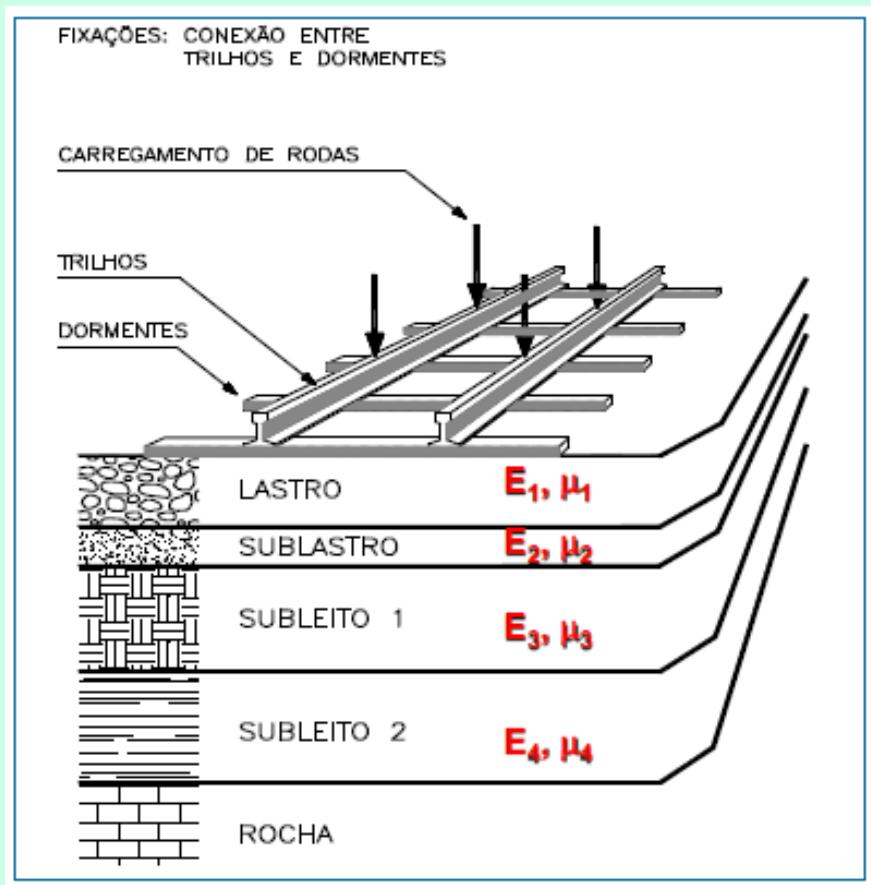
# SUMÁRIO

- Introdução;
- **Conceito de Pavimento Ferroviário**
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento E Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos



# Conceito de Pavimento Ferroviário

Sistema multicamadas composto por trilhos, dormentes e elementos de fixação (grade), lastro, sublastro, reforço e subleito.



Fonte: Selig & Waters (1994)

Fonte: Silva Filho

# Pavimento Ferroviário



Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Ferrovia Centro Atlântica (FCA) –  
Corredor sul-sudeste

Lastro Novo

Lastro  
Degradado -  
Interlayer

Sublastro (fino)

Subleito Argiloso  
LG' -



# Pavimento Ferroviário

- Trilhos: em geral área de atuação de engenheiros metalúrgicos, mas é possível calcular esforços e comparar com valores adm
- Dormentes: engenheiros de civis/(estruturas ou concreto), idem
- Demais camadas: engenheiro de pavimentos

# Dimensionamento tradicional de Ferrovias

## Tensões na Via

- Método de Winkler
- Método de Talbot

Viga contínua

$$M_{máx} = 0,1875.P.Cd.a$$



As espessuras são função do CBR das camadas!  
Equação de Heukelom, umidade ótima

Onde:

$P$  = carga

estática da roda

$Cd$  = coeficiente dinâmico

$a$  = distância de entre eixos dos dormentes

Onde:

$E$  = módulo de elasticidade do trilho;

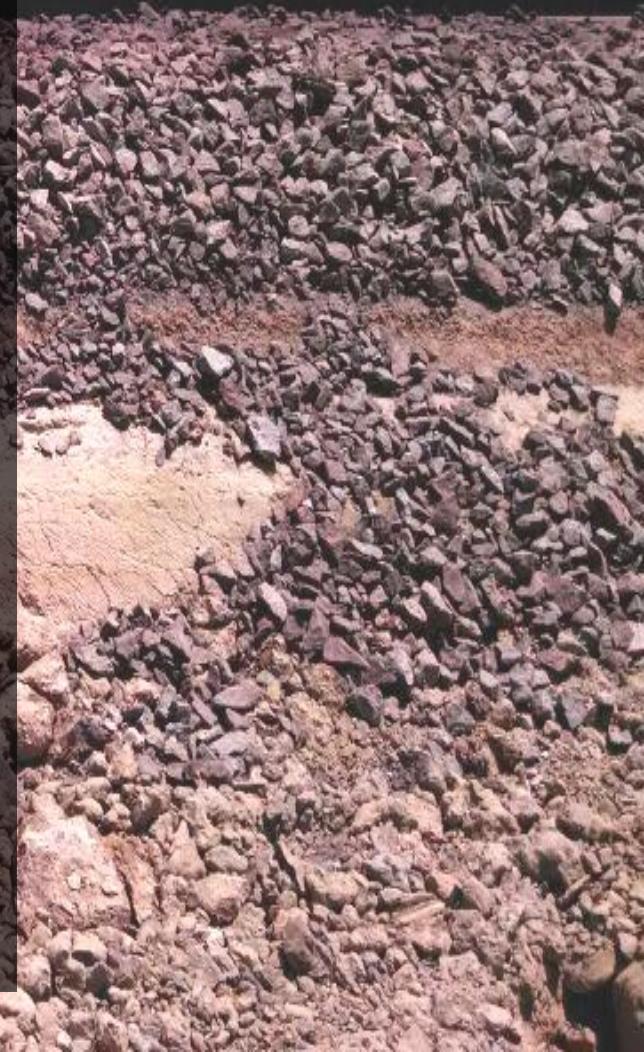
$I$  = momento de inércia do trilho;

$u$  = módulo de via;

$y$  = deflexão da via.

# SUMÁRIO

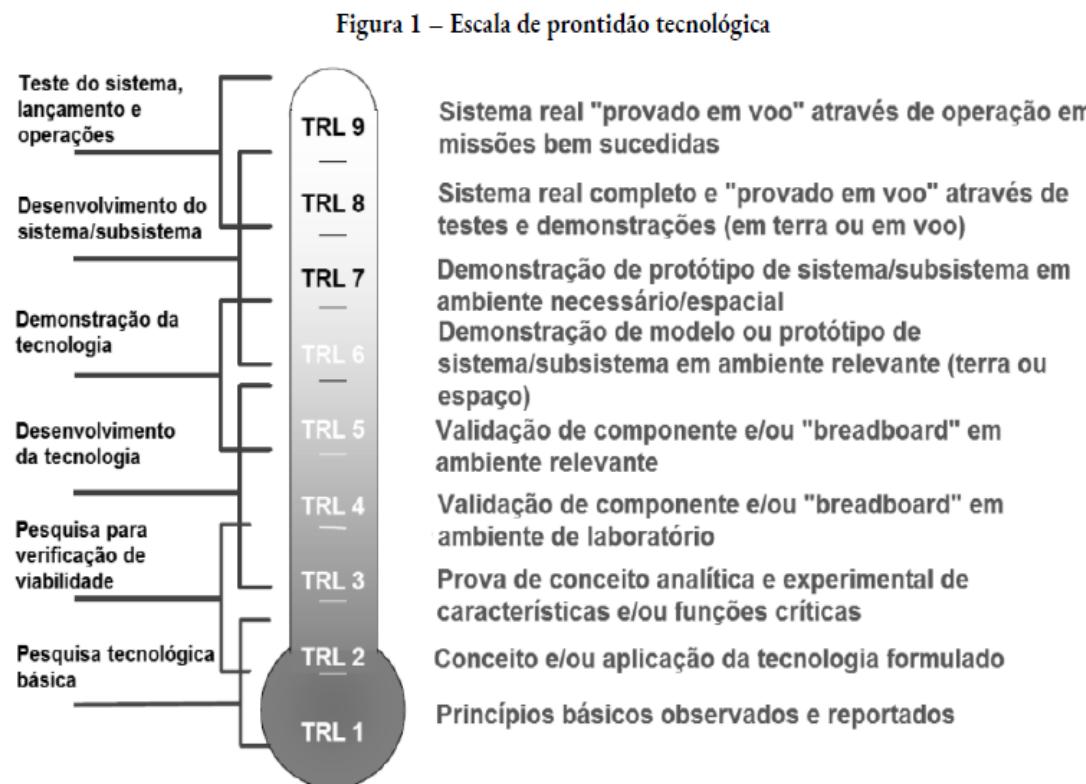
- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- **Maturidade Tecnológica**
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos



# Maturidade Tecnológica

*Technology Readiness Levels*

## Escala de Prontidão Tecnológica TRL



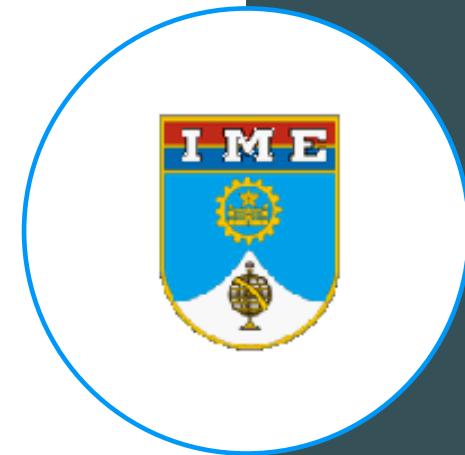
- Realmente criada pela NASA
- Necessita adaptação para as variadas áreas

## Vantagens:

- Comunicação da evolução da pesquisa
- Alinhamento para fins de implantação final da tecnologia

# Adaptação para Pavimentos - Proposta

- **TRL 1:** estudos preliminares, pesquisa bibliométrica, revisão bibliográfica
- **TRL 2:** fundamentação da pesquisa ou caracterização de materiais
- **TRL 3:** Prova de conceito
- **TRL 4:** Estudos de laboratório => ampliação da prova de conceito
- **TRL 5:** Avaliação em ambiente relevante
- **TRL 6:** avaliação em ambiente operacional
- **TRL 7:** avaliação em variados ambientes operacionais (“prototipagem”)
- **TRL 8:** monitoramento de trechos experimentais => relatório ou artigo científico
- **TRL 9:** normatização => envolvimento do Estado
- **TRL 10:** produto no mercado



# SUMÁRIO

- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- **Inovações Por Grupos**
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos





# Inovações por Grupos – 3 Grupos

Critérios de Selecionamento  
de Materiais

Ensaios de Laboratório – Para  
Caracterização de Materiais

Modelagem Numérica – Para  
Fins de Dimensionamento da  
Estrutura



## I. Critérios de Selecionamento de Materiais

- Utilização de materiais alternativos no sublastro: SAFL (TRL10) e Solos de Granulometria Transicional (TRL 4)  
=> Utilização de solos de topo de taludes para sublastro ou reforço
- Tensões admissíveis para subleito



## II. Ensaios de Laboratório

- Ensaios triaxiais de cargas repetidas em material de lastro incluindo o conceito de *shakedown* => aprimorar o TRL 4
- Dispositivo tipo *box test* para ensaios de lastro em escala real => atingir TRL 5



### III. Modelagem Numérica – Para Fins de Dimensionamento

- Pavimento Ferroviário como um problema da mecânica dos pavimentos => **software SysTrain**, para cálculo das tensões, deformações e deslocamentos
- Pavimento Ferroviário como um problema da Mec Solos Não Saturados => **Software IVflown**, para determinação da umidade das camadas em função da água da chuva
- Procedimento para avaliação estrutural da plataforma existente

=> Todas TRL 10

# SUMÁRIO

- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- **Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)**
- Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas
- Conclusões
- Agradecimentos



## I. Critérios de Selecionamento de Materiais

- Utilização de materiais alternativos no sublastro: SAFL e Solos de Granulometria Transicional  
=> Utilização de solos de topo de taludes para sublastro ou reforço
- Tensões admissíveis para subleito

# SUBLASTRO

- Para Stopatto (1987) algumas variações devem ser consideradas:
- LL da fração que passa pela peneira n° 40 dever ser menor que 25% e para solos lateríticos menor que 35%;
- IP da fração que passa na peneira n° 40 menor que 6%, e no caso de solos lateríticos menor que 10%;
- CBR mínimo de 20%;
- Expansão máxima de 0,5 %;
- A composição granulométrica do material de sublastro deve ser enquadrada nas faixas A, B, C ou D da AASTHO, conforme Tabela 1.

# SUBLASTRO

**Tabela 1:** Faixas granulométricas para sublastro segundo a AASHTO. Stopatto (1987).

Peneiras	A	B	C	D
2"	100	100	x	x
1"	x	75 – 90	100	100
n° 4	25 – 55	20 – 60	35 – 65	50 – 85
n° 10	15 – 40	20 – 60	25 – 50	40 – 70
n° 40	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
n° 200	2 - 8	5 – 15	5 – 15	5 – 20

Observar que os solos arenosos finos lateríticos não atendem à especificação => pois 90 a 100% passante na peneira n° 10 (2 mm)

# 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MCT



Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Laterita

Solo Fino Laterítico

# Solo Fino Laterítico



04.02.2014 14:40

# SOLOS FINOS LATERÍTICOS



16/09/2010 14:56

# MATERIAIS E MÉTODOS



# RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

## □ CLASSIFICAÇÃO MCT TRADICIONAL

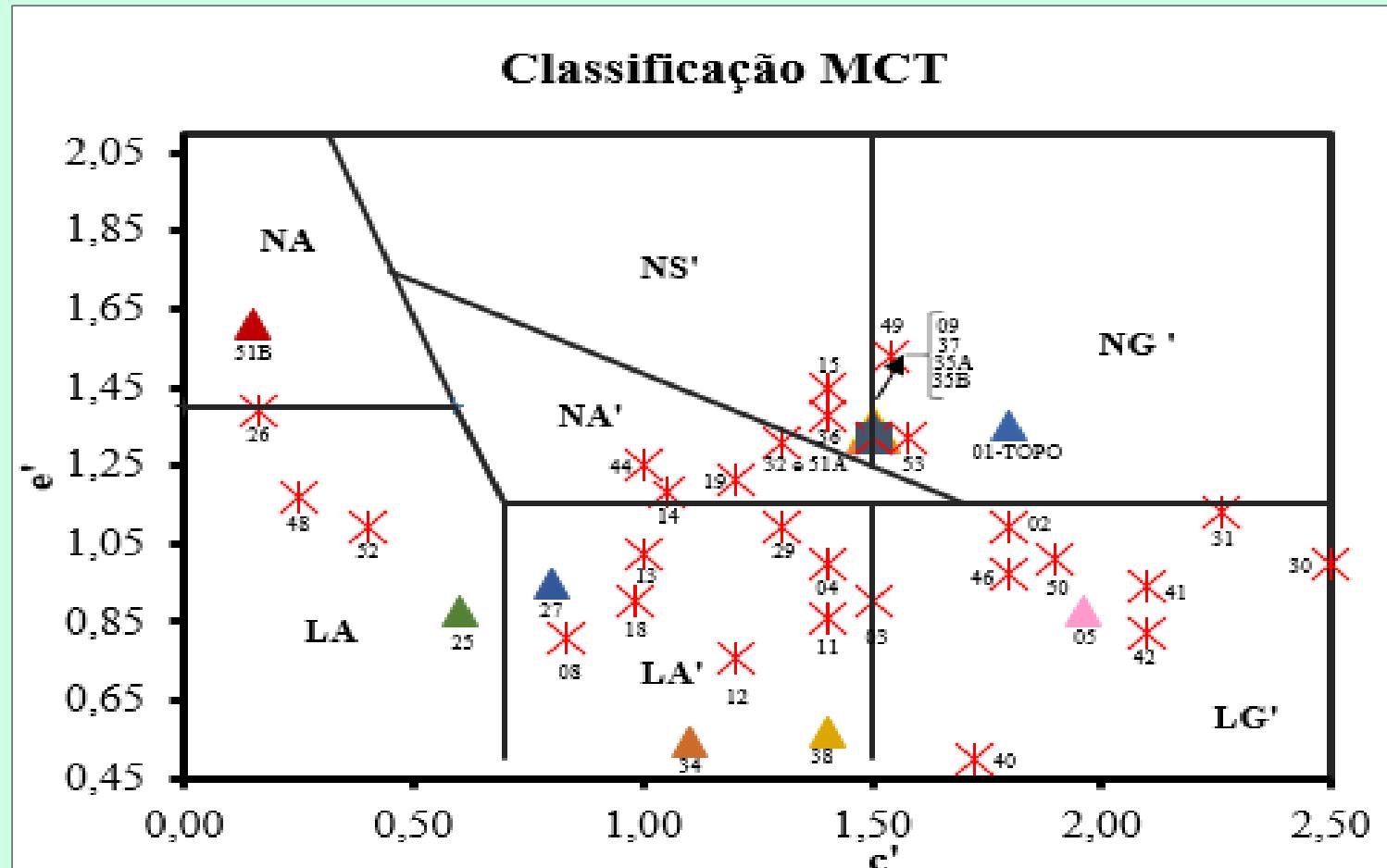


FIG. 4.10 Classificação MCT Tradicional dos solos estudados.

# RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

## □ MÓDULO RESILIENTE

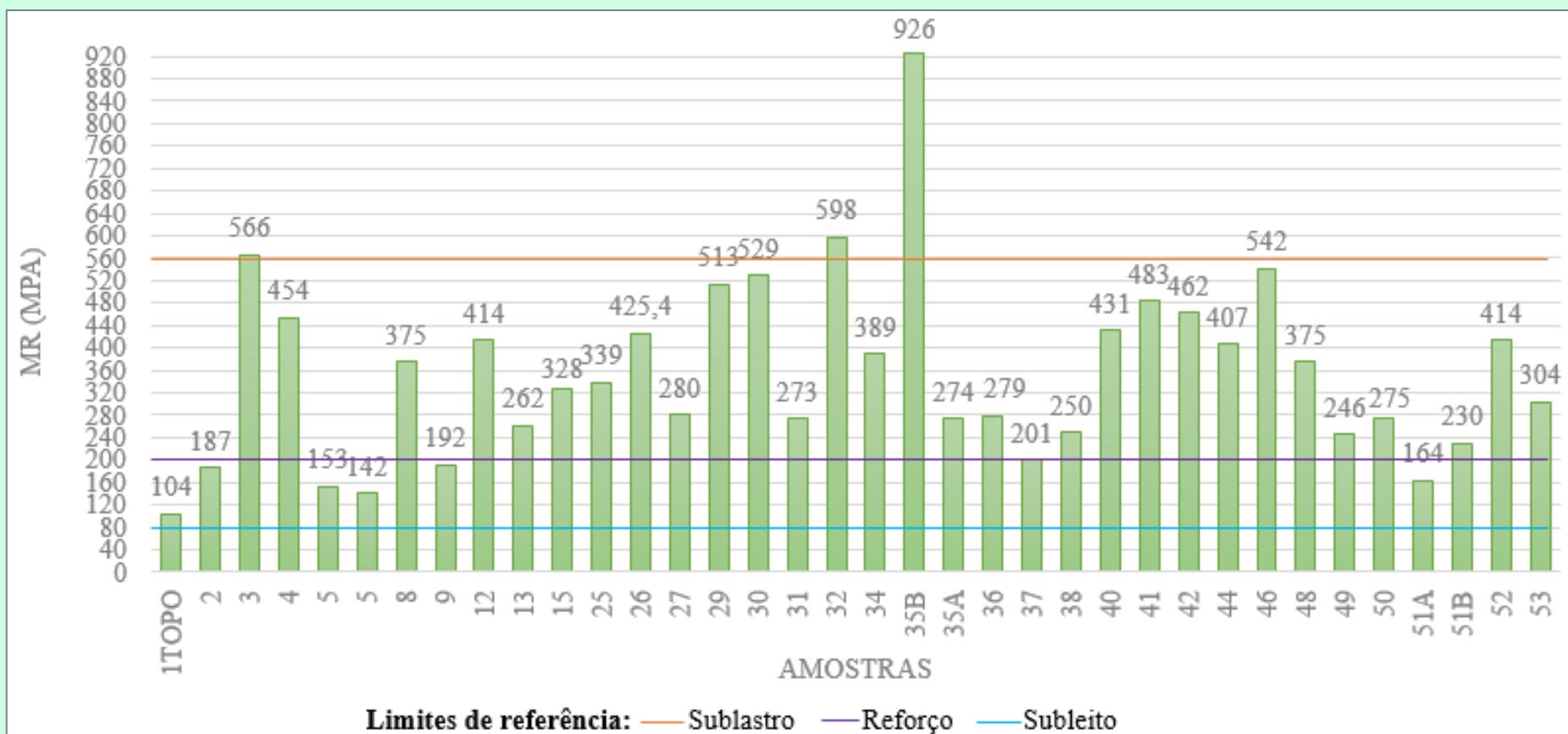


FIG. 4.12 Gráfico do MR das amostras estudadas com indicação de limites de referência para sublastro, reforço e subleito.



# Trecho Experimental em Açailândia/MA



**Plataforma acabada**



**Frasco de areia**



**Trincas de retração**

Technical Paper

**Contribution to the use of alternative material in heavy haul railway sub-ballast layer**

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães <sup>a</sup>✉, José Carlos Silva Filho <sup>b</sup>✉,  
Carmen Dias Castro <sup>b</sup>



**Umectação**



**Plataforma selada**

# Trecho experimental em Açaílândia/MA – SOLO LA' AMOSTRA 34 PROJETO IME/VALE - Após 3 Anos

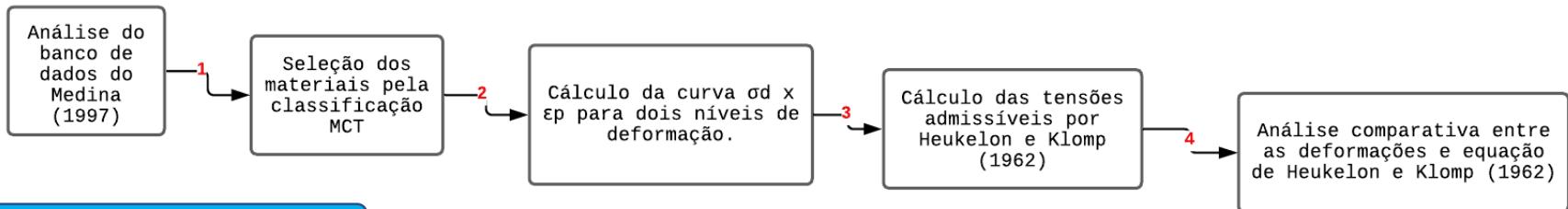


- SEM BOMBEAMENTO DE FINOS
- SEM CRAVAÇÃO DO LASTRO DO SUBLASTRO

# Tensões Admissíveis no Topo do Subleito



## MÉTODOS



## CRITÉRIOS

Número de Ciclos

100.000

Guimarães (2009)

$$\varepsilon = \varphi_1 \sigma_3^{\varphi_2} \sigma_d^{\varphi_3} N^{\varphi_4}$$

$\sigma_d$	0,4	0,8	1,2	0,7	1,4	2,1	1,2	2,4	3,6
$\sigma_3$	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7	1,2	1,2	1,2

Tensão limite

Adm 2mm

Adm 5mm

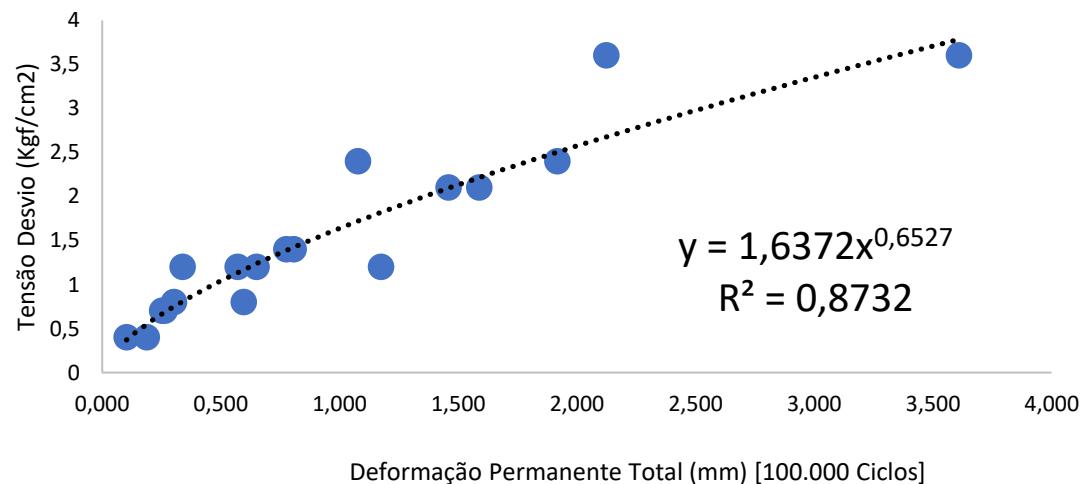
Heukelon e Klomp (1962)

$$\sigma_{v,máx} = \frac{0,006MR}{1 + 0,7\log(N)}$$

## RESULTADO - LA

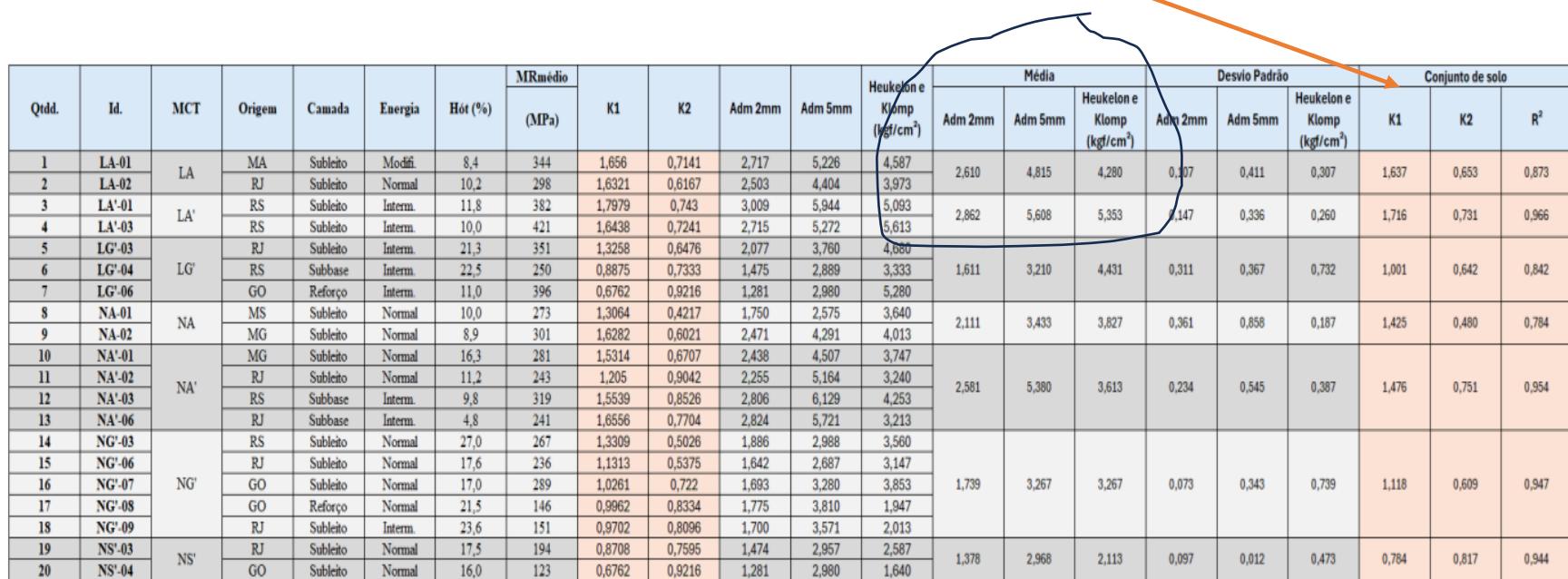


### CONJUNTO DE SOLOS - LA



# Nova Equação – Folly (2025)

Guimarães (2009)	Heukelon e Klomp (1962)
Adm (mm) 2,00	$\varepsilon = \varphi_1 \sigma_3^{\varphi_2} \sigma_d^{\varphi_3} N^{\varphi_4}$
Adm (mm) 5,00	$y = k_1 \times x^{k_2} \rightarrow \frac{\sigma_d}{\rho_0} = k_1 \times \varepsilon_p^{k_2}$





## II. Ensaios de Laboratório

- Ensaios triaxiais de cargas repetidas em material de lastro incluindo o conceito de shakedown
- Dispositivo tipo *box test* para ensaios de lastro em escala real

# **ENSAIOS TRIAXIAIS DE CARGAS REPETIDAS**

- Ensaios Triaxiais de Cargas Repetidas para Lastro – Jenifer Cescon (2021), Bruno Gomes e William Wilson



# METODOLOGIA

## □ Ensaio Triaxial de cargas cíclicas

- Subleito e sublastro foram ensaiados em corpos de prova 10x20cm
- Lastro em corpos de prova 15x30cm

Tabela 1: Ensaio triaxial

Camada	CP	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	Razão de Tensões ( $\sigma_1/\sigma_3$ )
Lastro	CP1	35	70	105	3
	CP2	75	150	225	3
	CP3	150	300	450	3
	CP4	200	400	600	3
	CP5	50	200	250	5
	CP6	100	300	400	4
	CP7	133	400	533	4
	CP8	37	150	187	5
	CP9	75	300	375	5
	CP10	100	400	500	5
	CP11	75	375	450	6
	CP12	62	313	375	6
Sublastro	CP1	30	150	180	6
	CP2	50	200	250	5
	CP3	150	300	450	3
	CP4	121	240	361	3
	CP5	70	350	420	6
	CP6	100	500	600	6
	CP7	180	470	650	3.6
	CP8	100	450	550	5.5
	CP9	80	360	440	5.5
	CP10	180	360	540	3
	CP11	80	160	240	3
Subleito	CP1	100	500	600	6
	CP2	70	210	280	4
	CP3	100	450	550	5.5
	CP4	30	150	180	6
	CP5	50	200	250	5
	CP6	70	350	420	6

# RESULTADOS

## □ DP LASTRO

- A tendência geral observada é que a deformação permanente se estabiliza após um certo número de ciclos, indicando a ocorrência do fenômeno de shakedown para a maioria dos corpos de prova (CPs), exceto os CPs 7, 10 e 11. A estabilização da deformação permanente em níveis variados sugere que, embora o material seja o mesmo, a resposta a diferentes níveis de tensão resulta em comportamentos de acomodamento distintos.

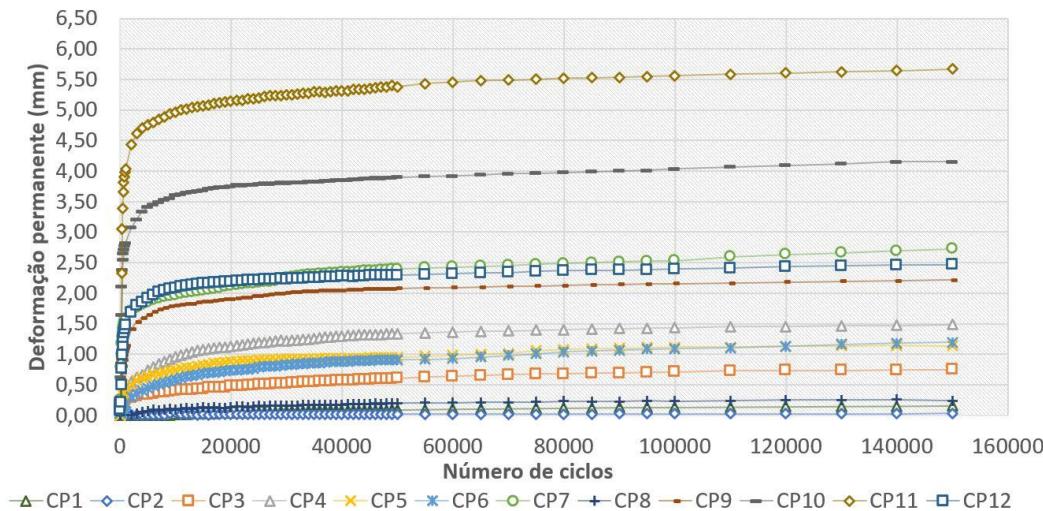


Figura 30: Gráfico de Deformação permanente - Lastro

# RESULTADOS

## □ Análise de Shakedown - LASTRO

- Ao analisar a ocorrência de shakedown conforme Werkmeister, Dawson e Wellner (2001) e Guimarães (2009), observa-se que a maioria dos corpos de prova exibe um comportamento de shakedown. Os CPs 1 a 6 e 8 se enquadram no regime de comportamento A, com a taxa de deformação adicional tendendo a valores muito baixos, da ordem de  $10^{-7}$ , após um certo número de ciclos de carga. Isso indica uma estabilização da deformação permanente, característica de um comportamento de acomodamento plástico.
- Para os CPs 9 e 12, o comportamento observado é do tipo AB. Nos primeiros ciclos de carregamento, o corpo de prova exibe um comportamento do tipo B, caracterizado por um escoamento plástico bem definido. Contudo, à medida que os ciclos aumentam, a taxa de deformação adicional tende a se estabilizar, e o comportamento se torna do tipo A, com uma diminuição significativa na taxa de deformação.

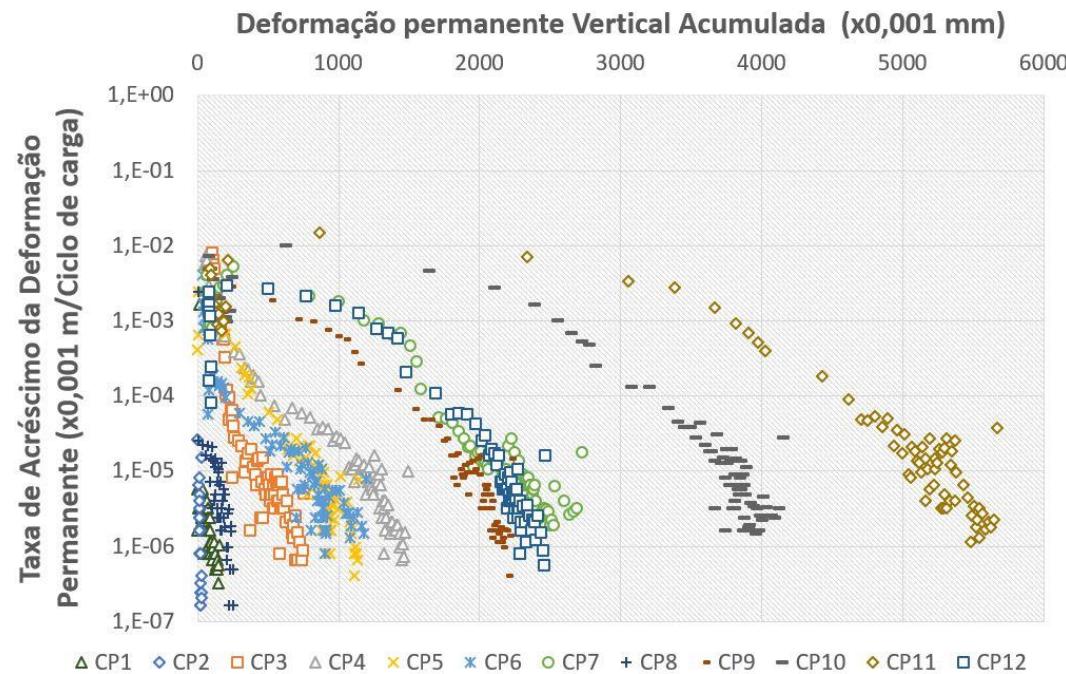


Figura 31: Pesquisa de ocorrência de shakedown no modelo de Dawson e Wellner (DAW-SON; WELLNER, 1999)

# RESULTADOS

## □ Análise de limite de Shakedown - LASTRO

- Nota-se que à medida que a razão de tensões aumenta, a tensão máxima suportada pelo material antes do escoamento diminui. A linha do limite de shakedown separa claramente as regiões de comportamento estável e instável, demonstrando que, para razões de tensões mais elevadas, o material é mais suscetível ao escoamento, a menos que as tensões aplicadas sejam significativamente reduzidas.

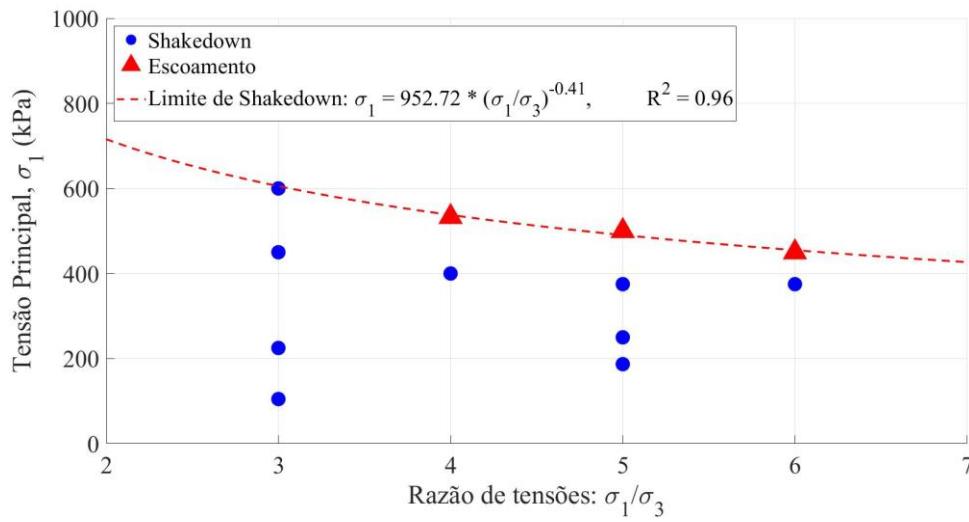
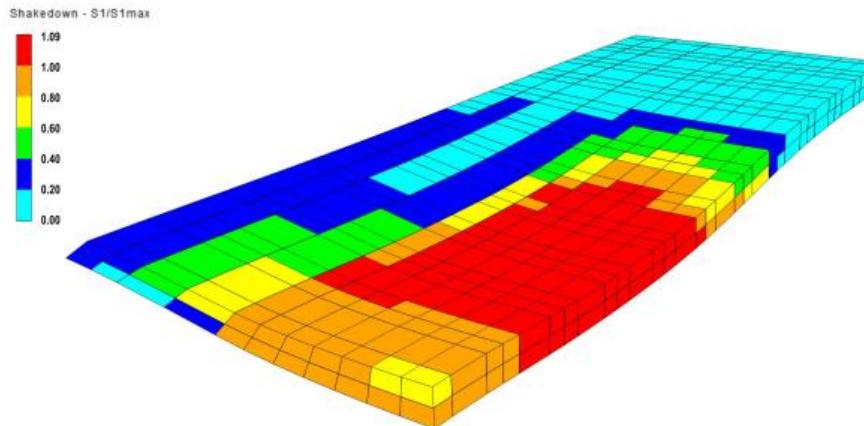


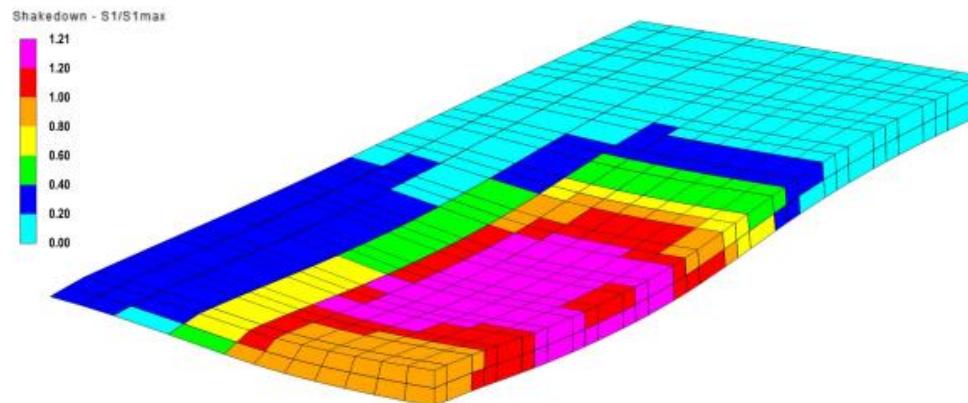
Figura 33: Limite de shakedown

capillarity, simulating conditions with moisture levels above the ideal.

4



**Figure 14.** Shakedown verification in the Subballast layer -Scenario 1 (optimum moisture content)



**Figure 15.** Shakedown verification in the Subballast layer -Scenario 2 (above optimum moisture content)

# APARATO PARA ENSAIO DE LASTRO



Figura 2 – Pórtico de reação e atuador servo-controlado.

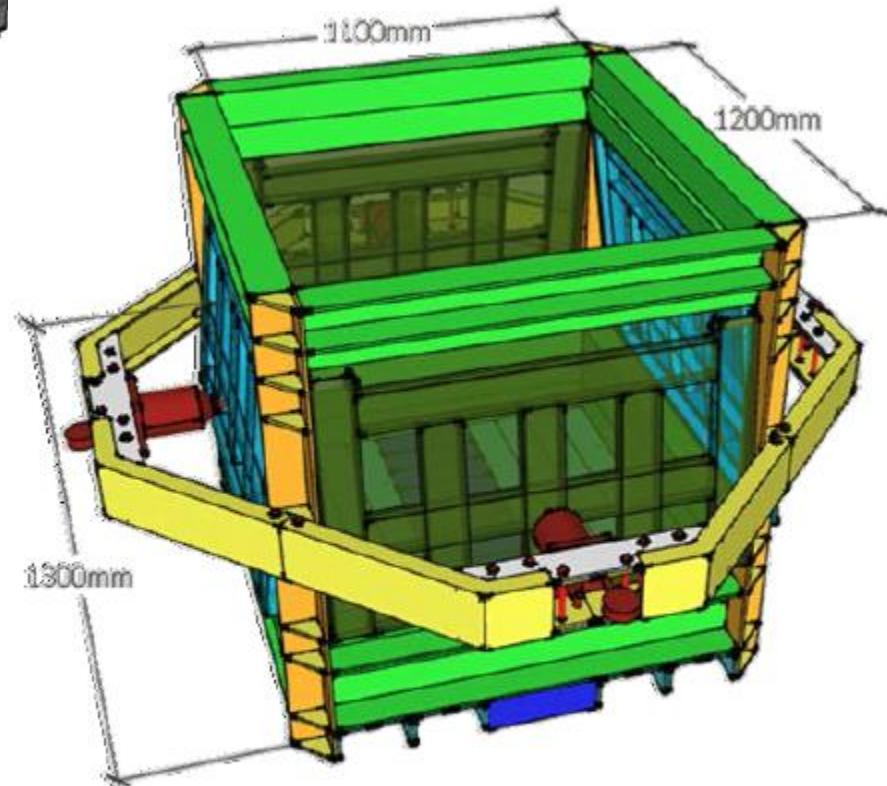


Figura 1 - Equipamento simulador de tráfego e carga.

# METODOLOGIA

## □ Compactação da camada de sublastro

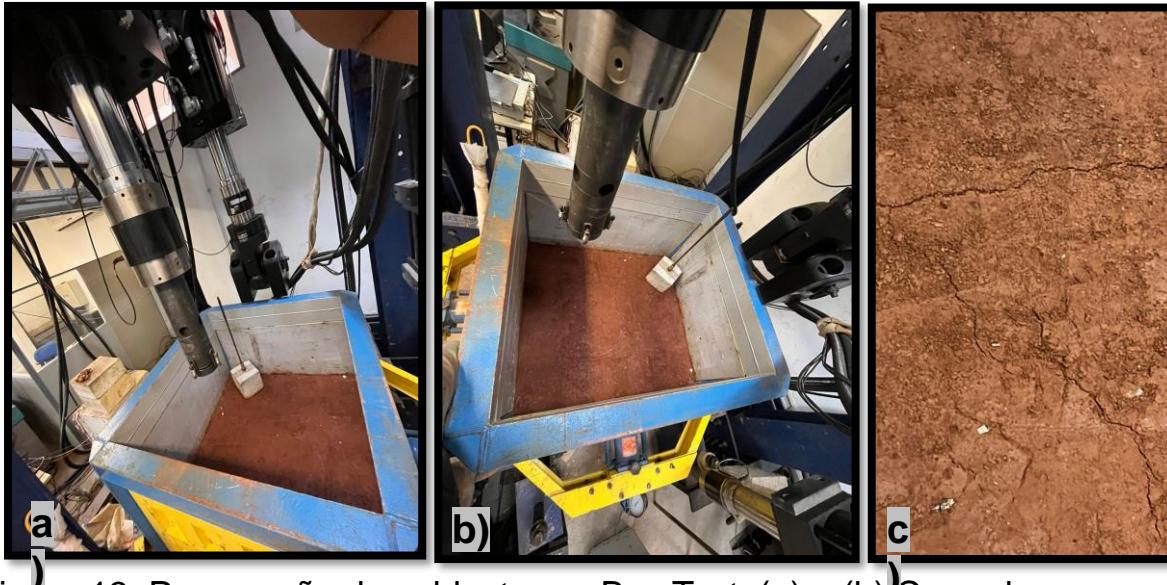


Figura 13: Preparação do sublastro na Box Test: (a) e (b) Camada compactada  
(c) Detalhe da camada após compactação

---

# METODOLOGIA

## Aplicação da camada de Lastro



Figura 17: Detalhe de parte da camada de Lastro Instalada

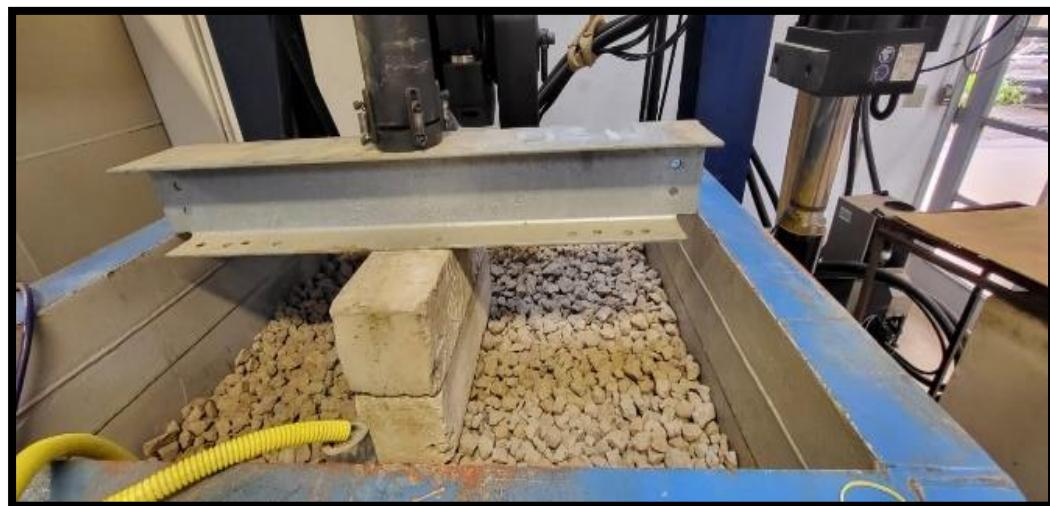


Figura 18: Estrutura instalada na Box Test

# Resultados Esperados

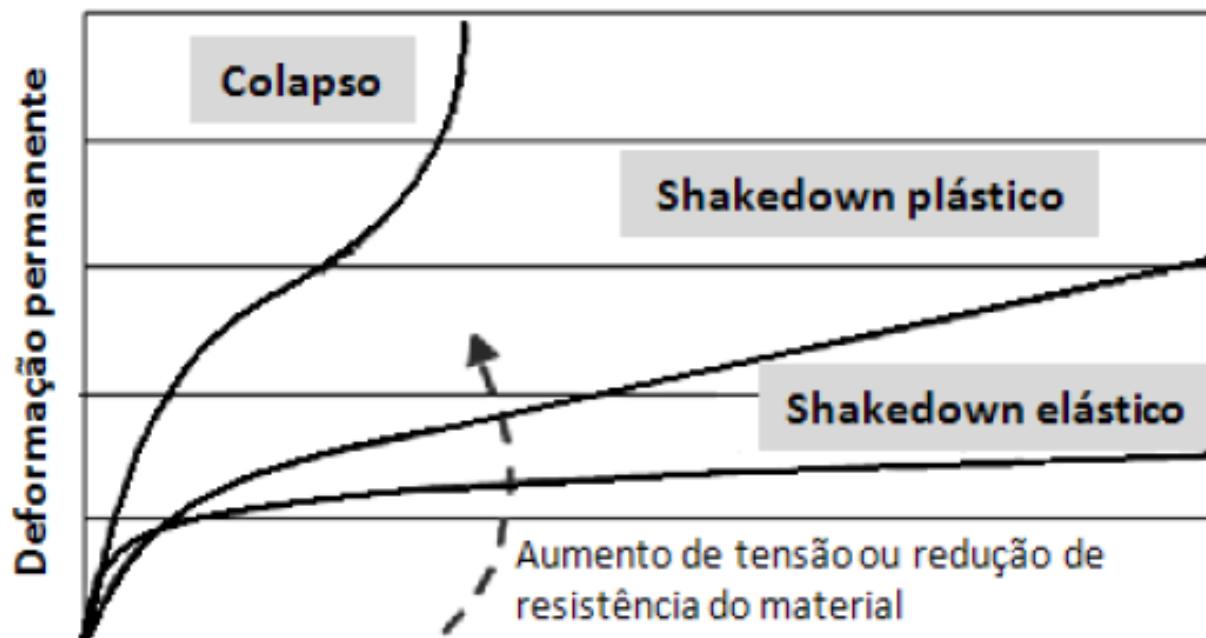
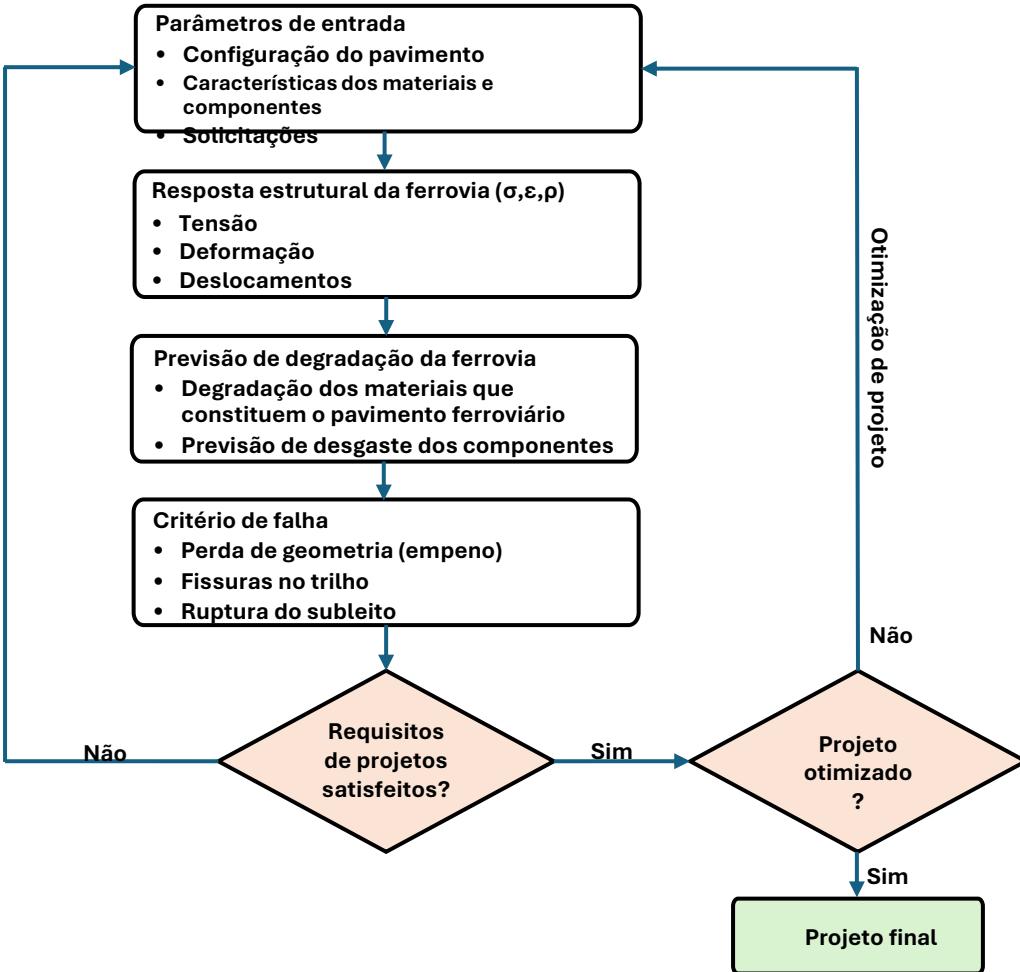


Figura 8 - Deformação permanente em função de ciclos acumulados para diferentes comportamentos de materiais granulares (ARNOLD, 2004)

### III. Modelagem Numérica – Para Fins de Dimensionamento

- Pavimento Ferroviário como um problema da mecânica dos pavimentos => **software SysTrain**, para cálculo das tensões, deformações e deslocamentos
- Pavimento Ferroviário como um problema da Mec Solos Não Saturados => **Software IVflown**, para determinação da umidade das camadas em função da água da chuva
- Metodologia para avaliação estrutural da plataforma ferroviária

Nova alternativa para projeto



*Proposed framework for application of mechanistic-empirical (M-E) design to railroad track infrastructure and its components - Edwards (2021)*

O grupo de pesquisa da University of Illinois liderada por Erol Tutumluer esboçaram uma estrutura conceitual para análise e elaboração de projetos de pavimento ferroviário pelo método mecanístico-empírico (M-E) similar ao método Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) já implantado nos EUA para projetos de pavimentos rodoviários.

No Brasil não existe um método mecanístico-empírico para o dimensionamento de pavimento ferroviário, porém a INFRA S.A. por meio da norma PRO-0002 indica a possibilidade dos projetos serem dimensionados a partir dessa abordagem.



NORMA

PRO-0002

Estudos geotecnológicos – Especificação de projeto

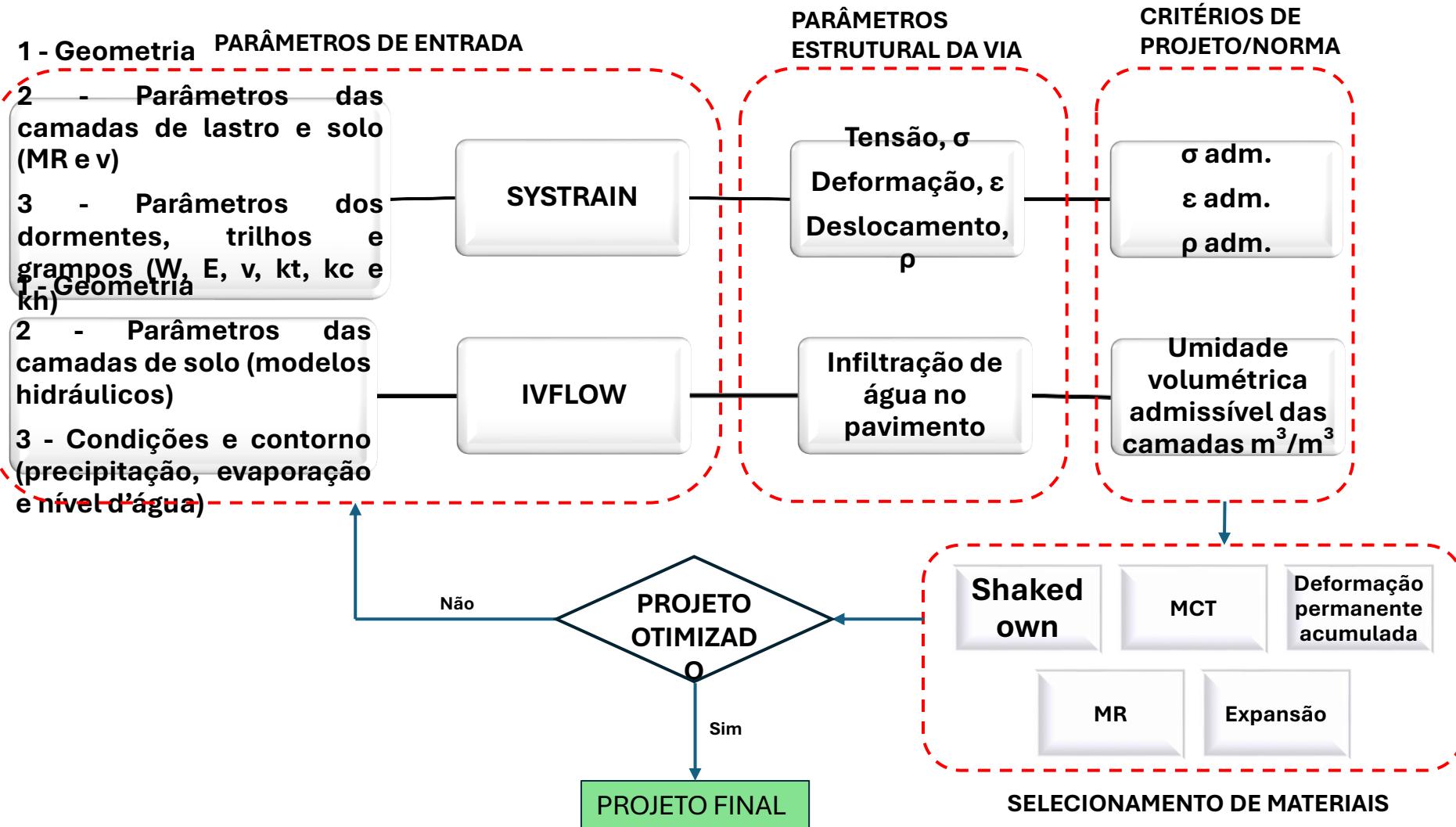
Em projetos dimensionados por **análise mecanicista**, deve ser realizado no mínimo um ensaio de deformação permanente por segmento homogêneo. Os segmentos homogêneos devem ser definidos através do coeficiente de variação máximo de 20% ( $CV = \sigma/X$ ) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de módulo de resiliência.

Quando a classificação MCT for utilizada, o solo identificado deve ser de comportamento laterítico (LA, LA' e LG').

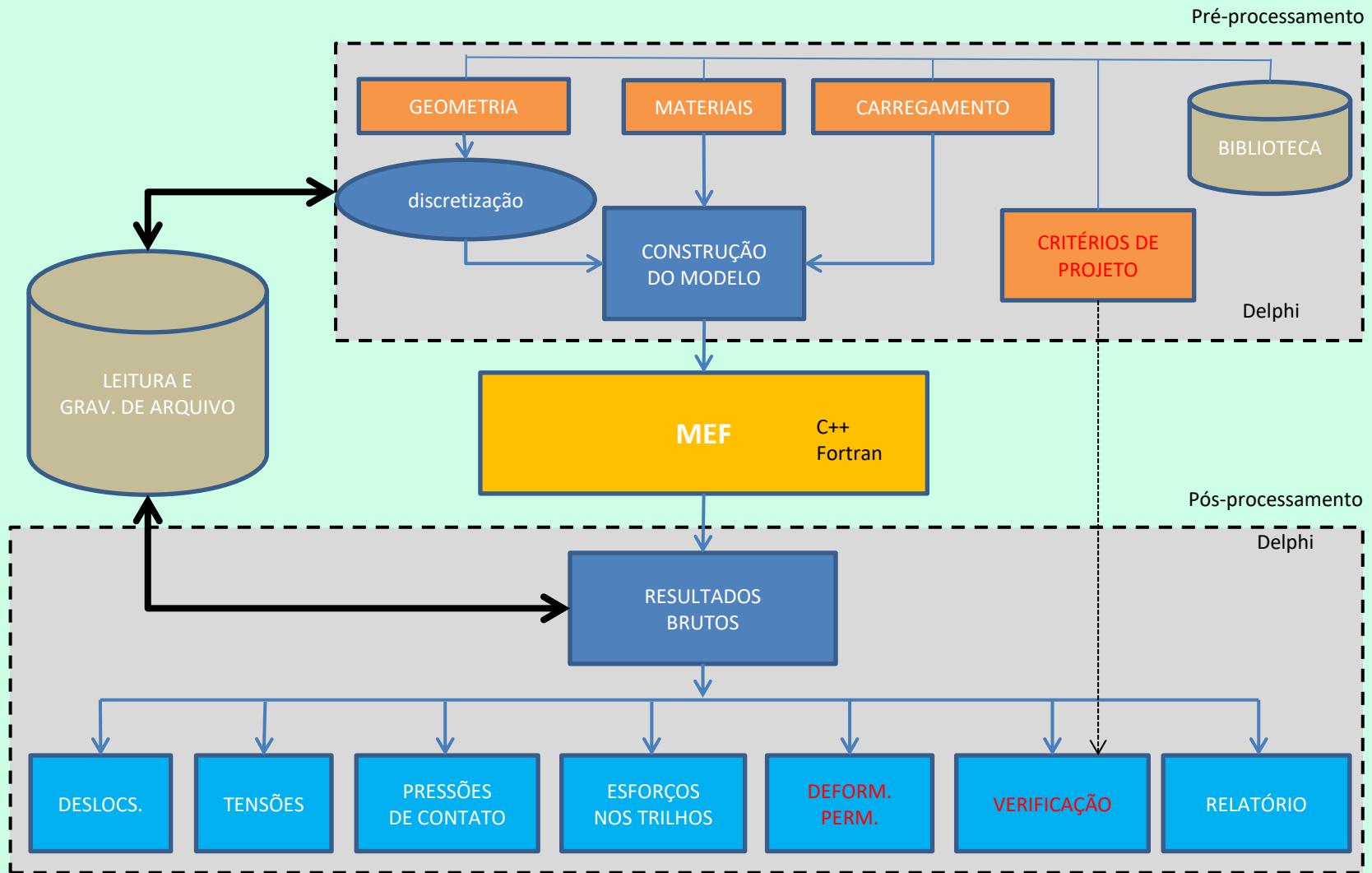
Ao realizar o dimensionamento por **análise mecanicista**, o projetista deve avaliar os resultados obtidos nos ensaios de módulo de resiliência e deformação permanente, bem como a sensibilidade dos mesmos em relação à variação de umidade, devendo informar essa situação em projeto.



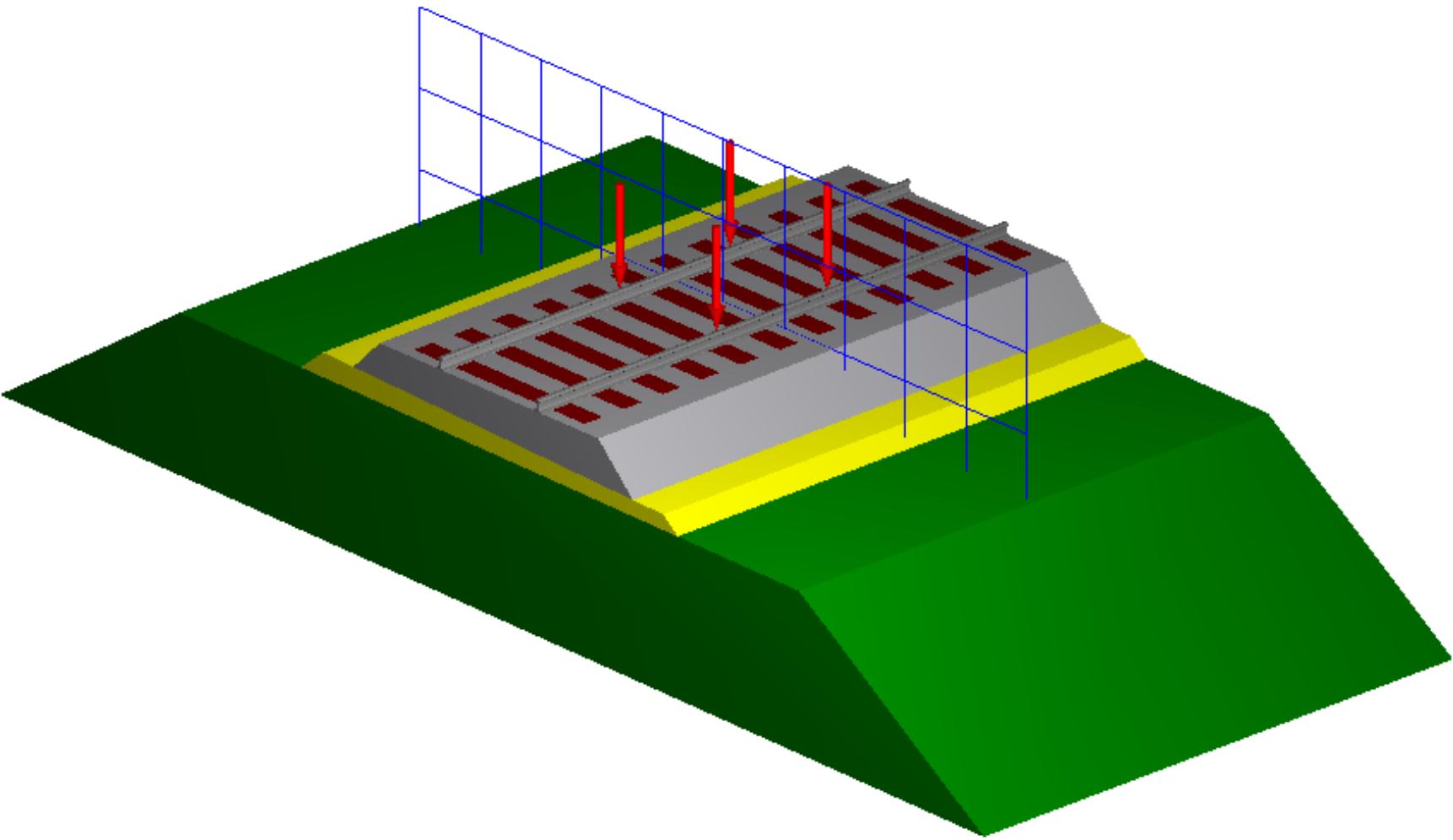
No IME, a avaliação mecanística-empírica que vem sendo realizada e aprimorada para dimensionamento de pavimentos pode ser observada no fluxograma a seguir.



# Estrutura do programa

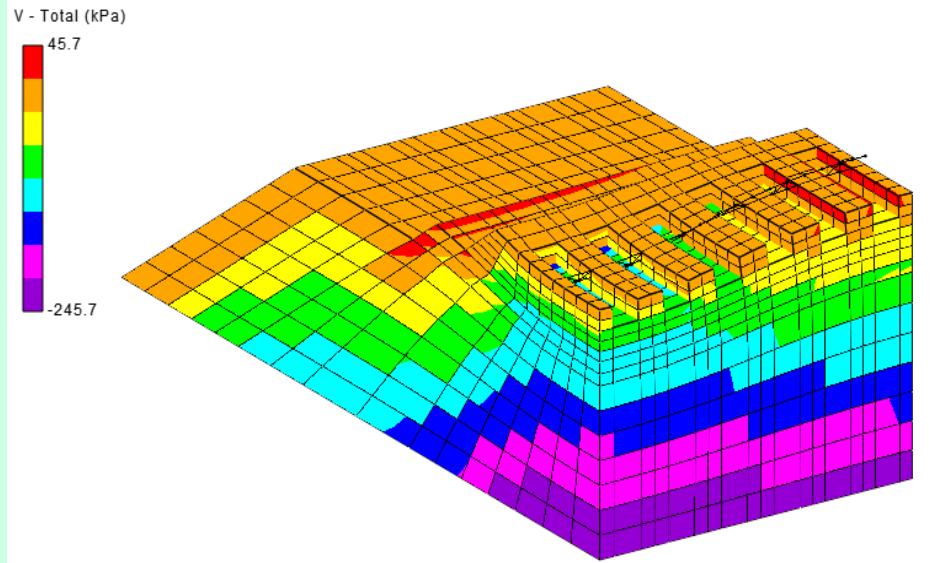


# Verificação visual da geometria

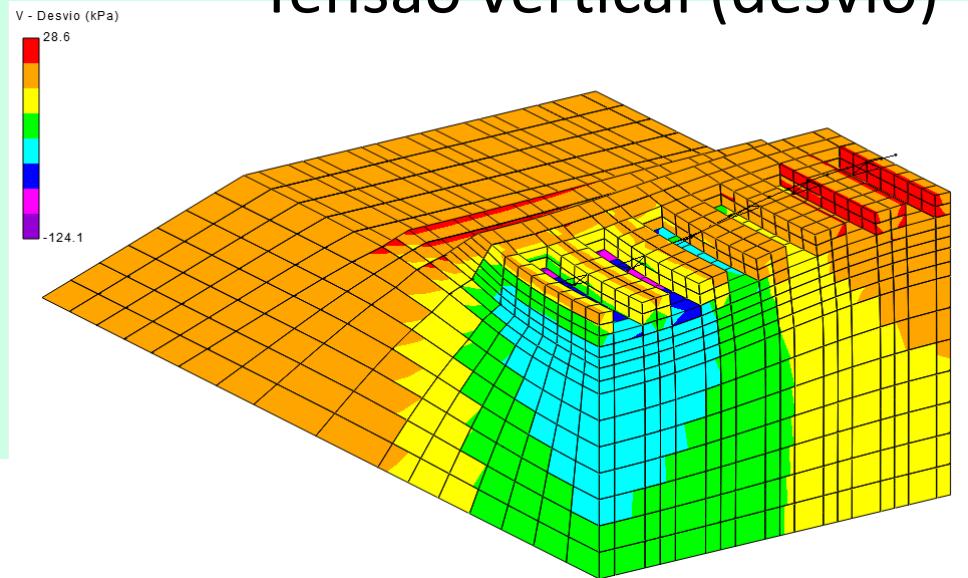


# Resultados

- Tensão vertical (total)



- Tensão vertical (desvio)





# SOFTWARE IVFLOW

- Permite a determinação da umidade das camadas do pavimento ferroviário, para variadas condições de chuva.
- **Meta** => selecionar solos para a plataforma considerando seu comportamento hidráulico, de forma a criar barreira capilar para a infiltração da água, aumentando a vida útil do pavimento.

# IVFlow - Sequência de modelagem

## Pré-processamento

Geometria  
(tipo de seção e dimensões)

Parâmetros das camadas de solo

### Condições e contorno:

- duração e intensidade da chuva
- nível d'água no solo,
- evaporação da superfície,
- Contaminantes\* (na próxima versão)

Geração da malha  
(automática ou manual)

## Processamento

### Simulação:

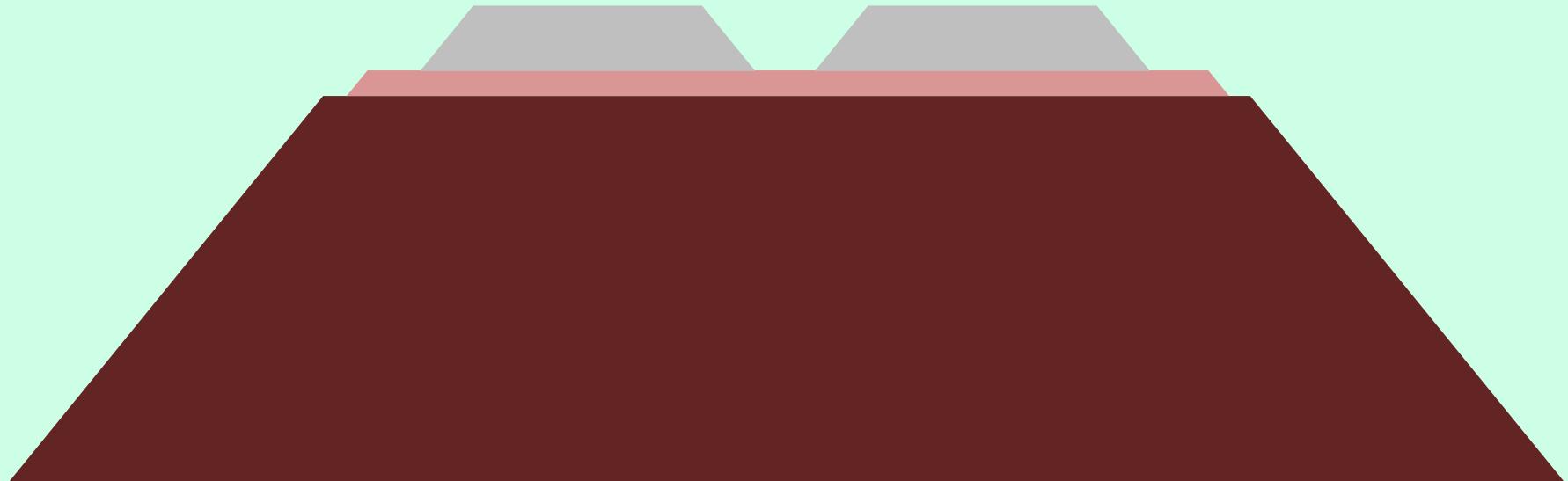
Dependerá do tamanho do domínio modelado e do tempo físico simulado (horas, dias ou meses)

## Pós-processamento

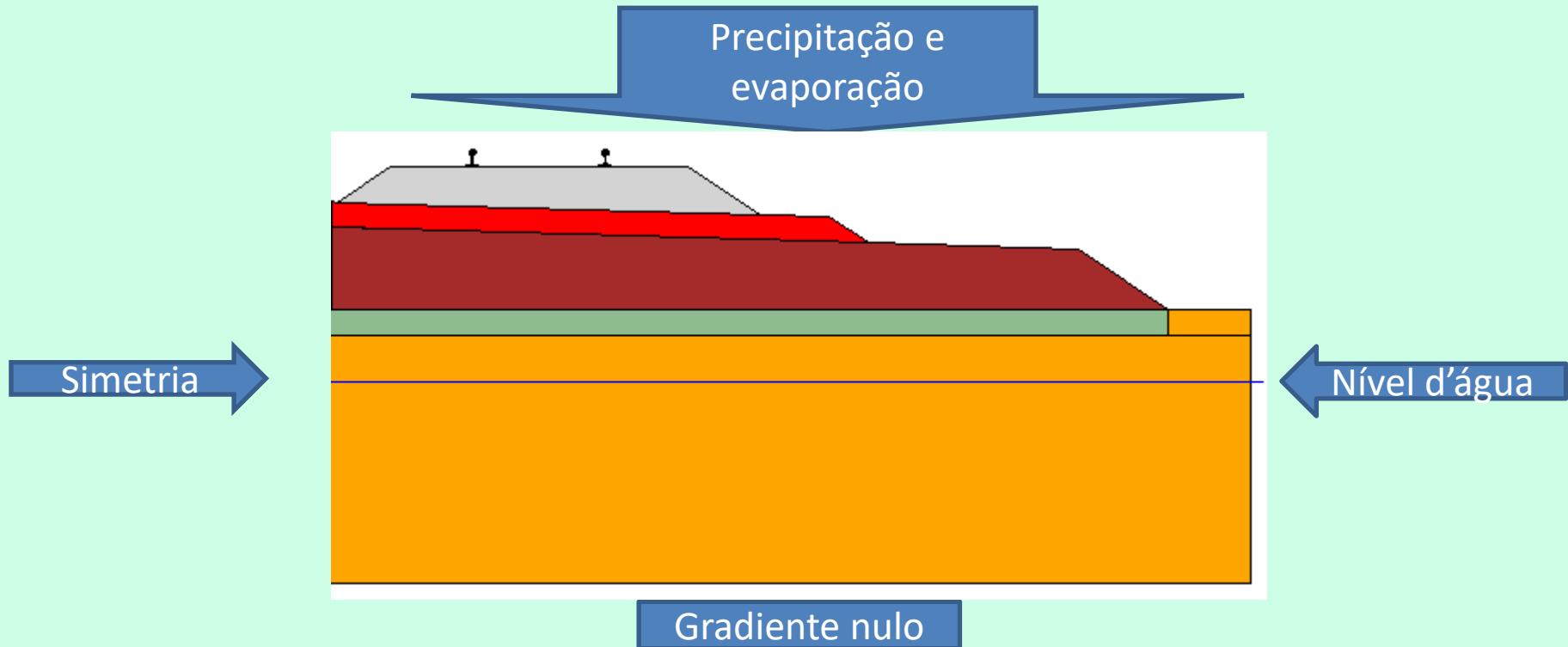
### Análise de resultados:

Gráficos, tabelas e números.

# IVFlow - Seção dupla de aterro



# IVFlow - Condições de contorno



Condições de contorno:

dados de precipitação e evaporação ao longo do dia;

simetria (fluxo nulo);

nível d'água definido na lateral; e

gradiente de potencial nulo de potencial no fundo.

# IVFlow - Sequência de modelagem

## Pré-processamento

Geometria  
(tipo de seção e dimensões)

Parâmetros das camadas de solo

### Condições e contorno:

- duração e intensidade da chuva
- nível d'água no solo,
- evaporação da superfície,
- Contaminantes\* (na próxima versão)

Geração da malha  
(automática ou manual)

## Processamento

### Simulação:

Dependerá do tamanho do domínio modelado e do tempo físico simulado (horas, dias ou meses)

## Pós-processamento

### Análise de resultados:

Gráficos, tabelas e números.

# IVFlow - Equação de Richard

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right) = C(h) \frac{\partial h}{\partial t}$$

onde

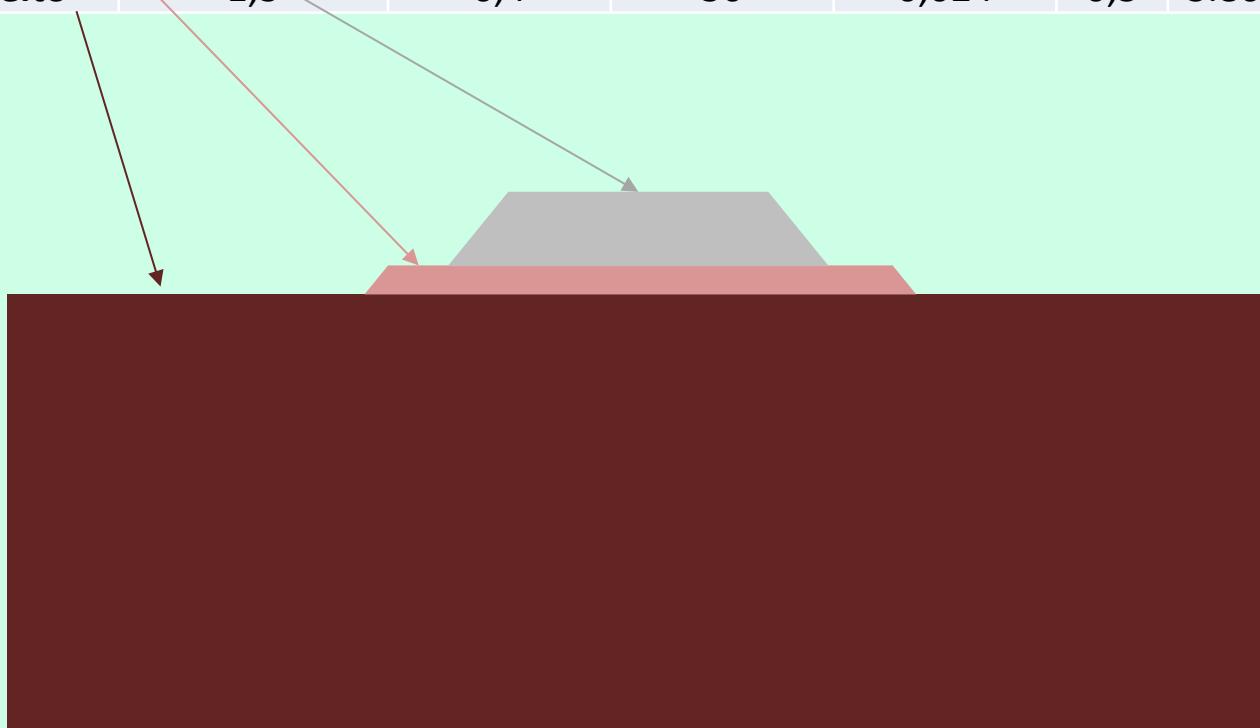
–  $h$  é a pressão

–  $C(h) = \frac{\partial \theta}{\partial h}$  é a capacidade de umidade

# IVFlow - Exemplo em pavimento

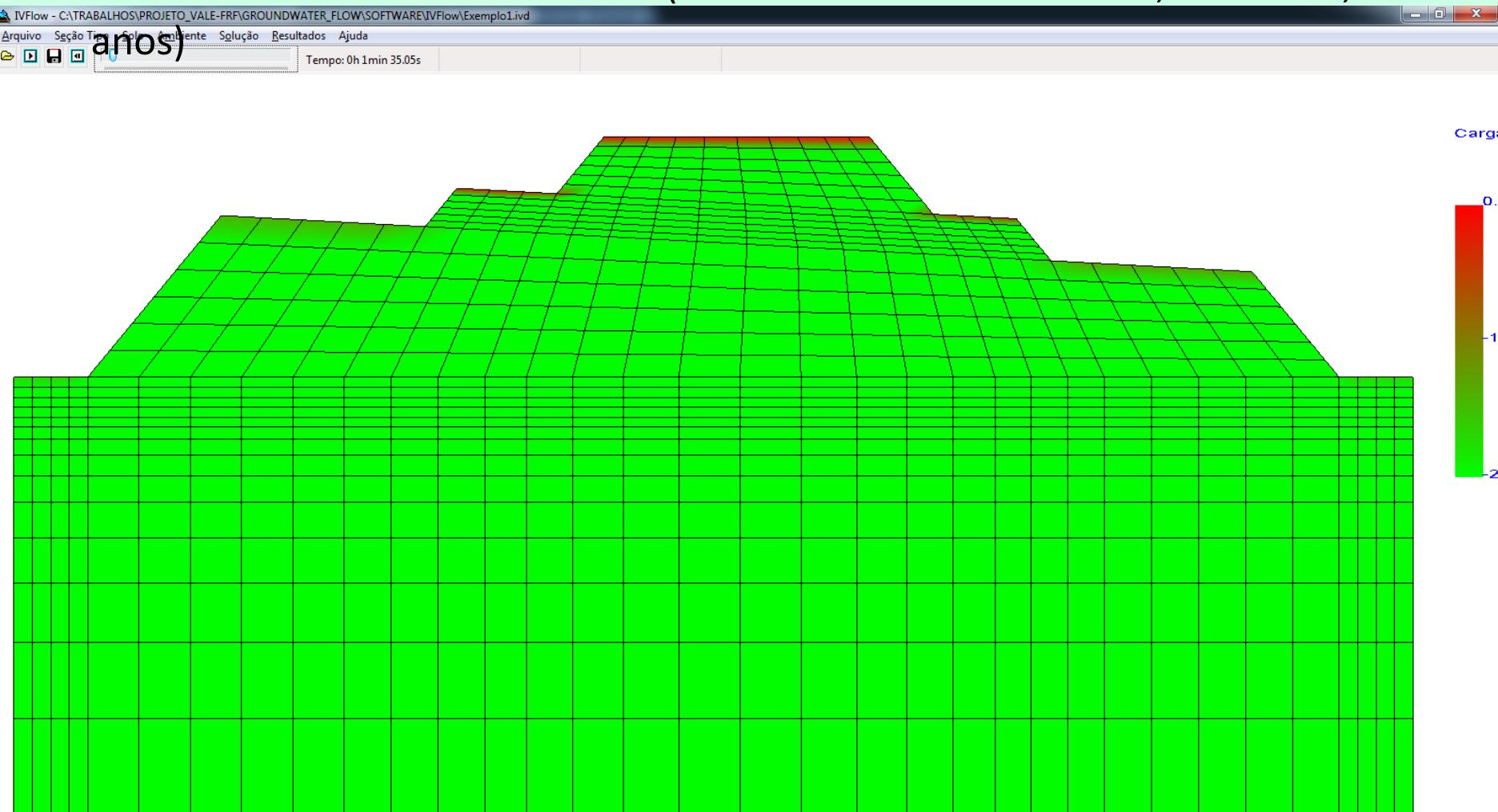
- Parâmetros de van Genuchten:

Camada	Porosidade	$h_{sat}$	$K_{sat}$	Alfa	I	n	$h_{res}$
Lastro	2,68	0,43	1000	0,145	0,5	2.68	0,045
Sublastro	1,3	0,4	2,33	0,024	0,5	1.30	0,0746
Subleito	1,3	0,4	50	0,024	0,5	3.80	0,0746



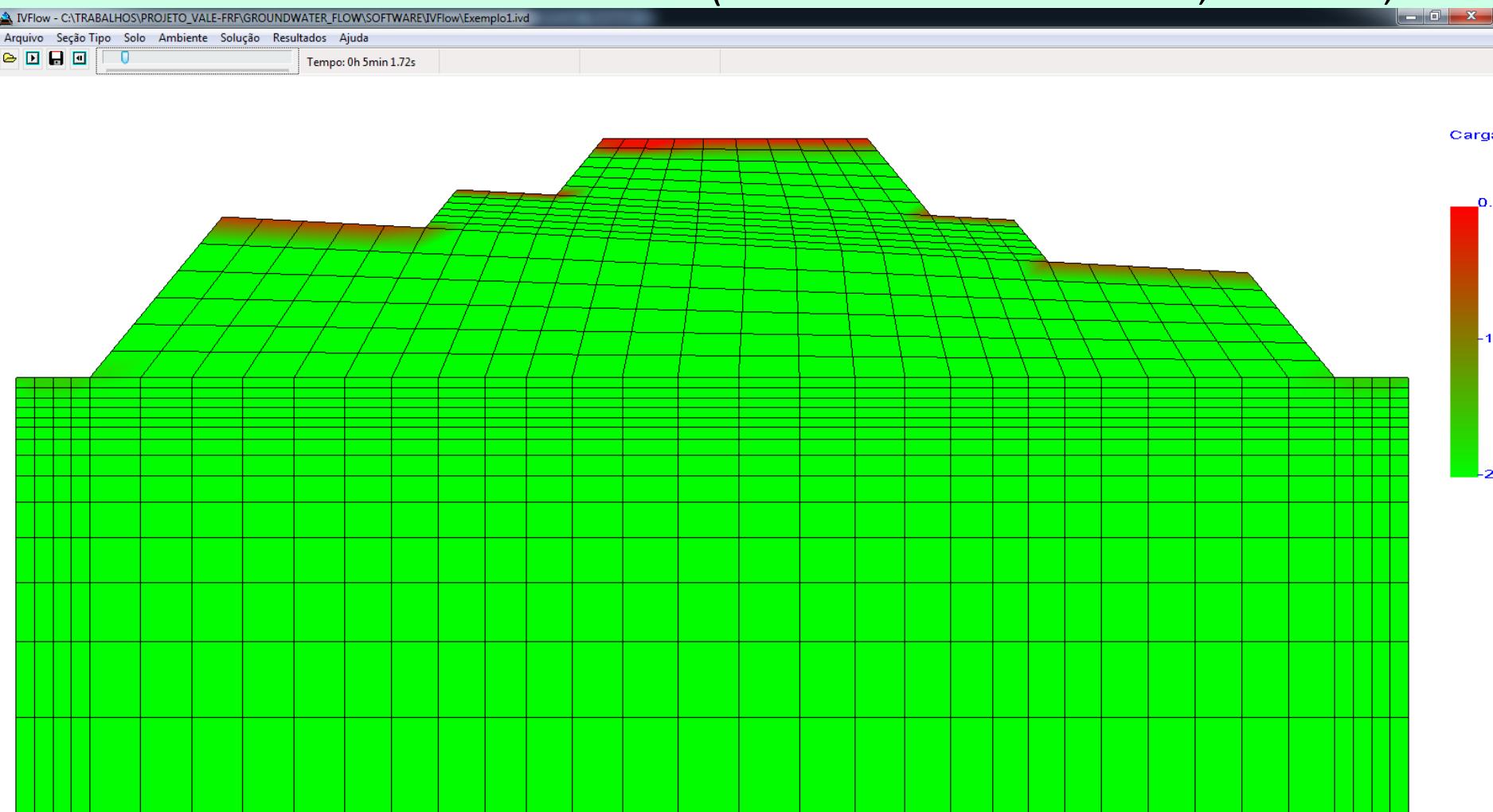
# IVFlow - Exemplo em pavimento

- **01 minuto de chuva** (Otto Pfafstetter – Belém-PA,  $t = 1$  hora,  $Tr = 30$  anos)



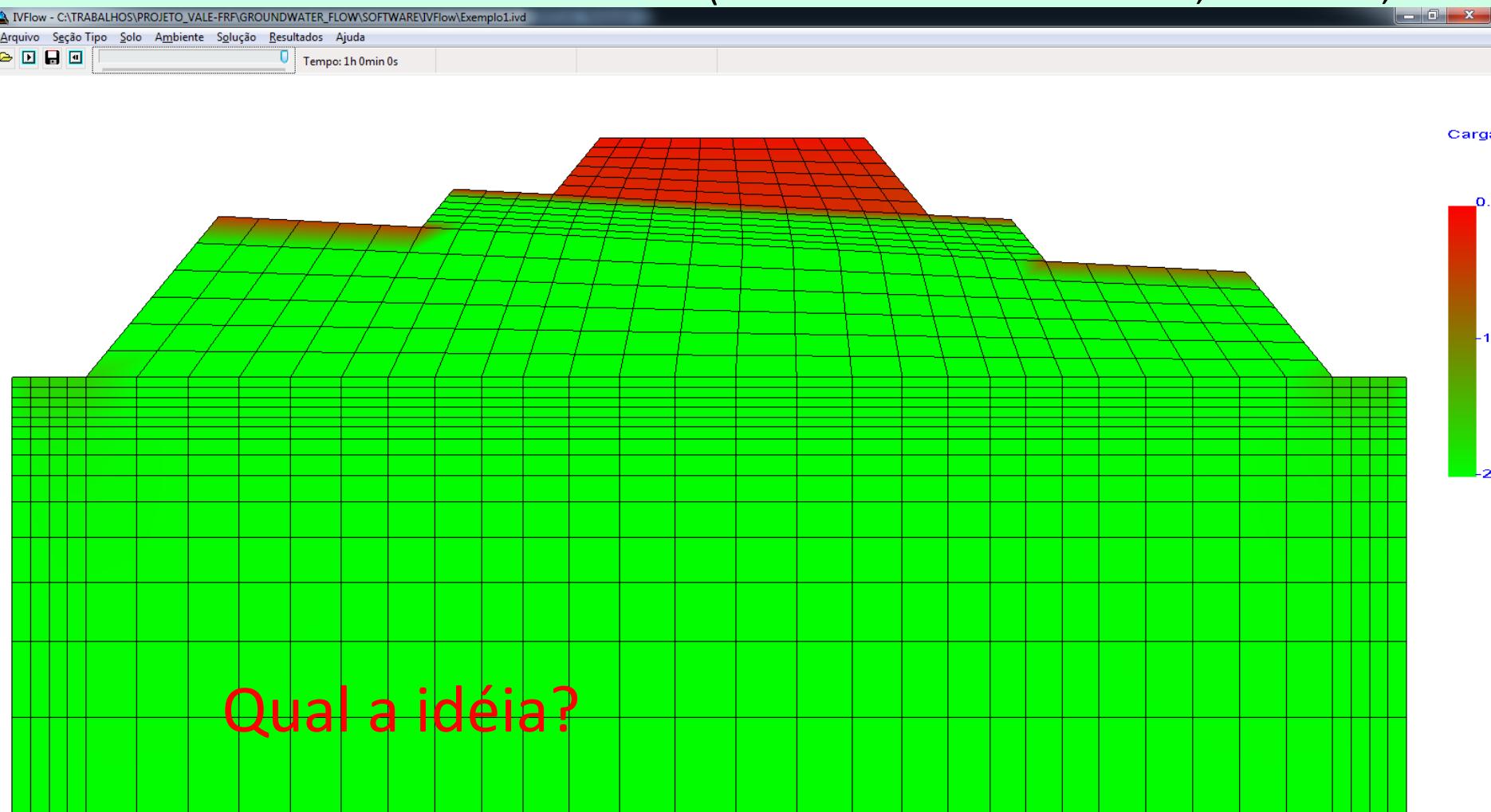
# IVFlow - Exemplo em pavimento

- **05 minutos de chuva:** (Otto Pfafstetter – Belém-PA, t = 1 hora, Tr



# IVFlow - Exemplo em pavimento

- **60 minutos de chuva:** (Otto Pfafstetter – Belém-PA, t = 1 hora, Tr



# OUTRAS SIMULAÇÕES

SOLO LA'

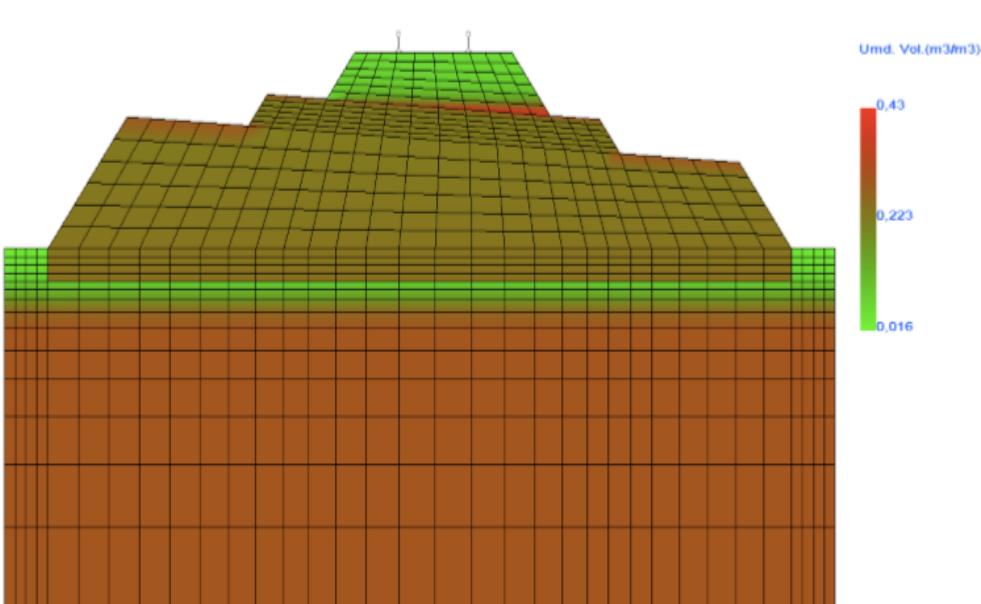


FIG. 4.27 – Umidade volumétrica em t=3h.

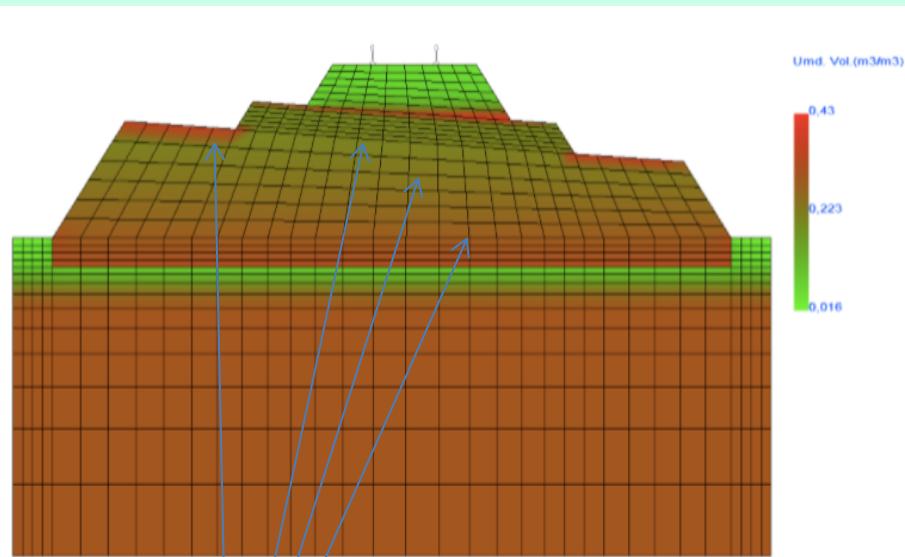
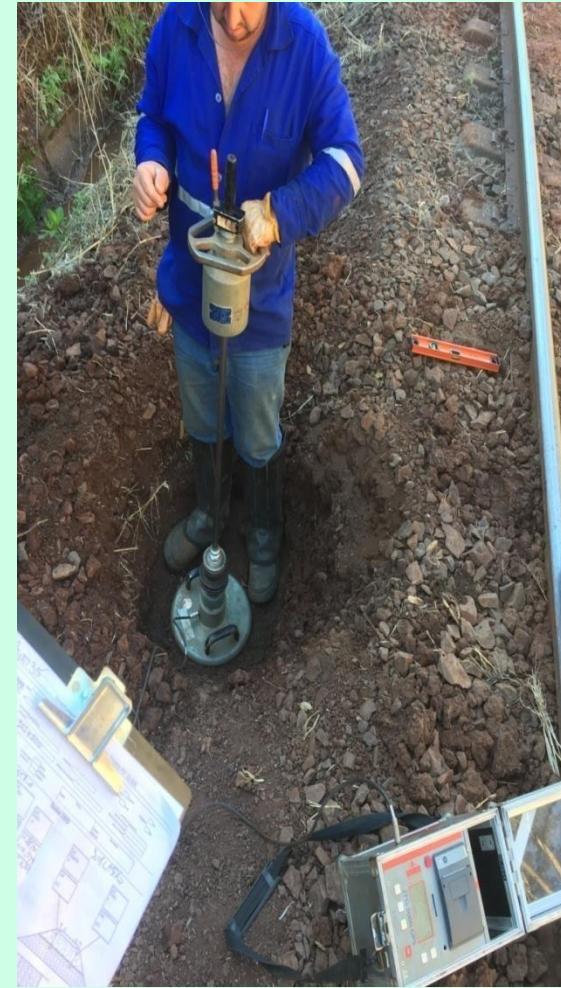


FIG. 4.49 – Umidade volumétrica em t=3h.

SOLO NA'  
MAIOR UMIDADE  
NA CAMADA  
APÓS 3 HORAS

# 5. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DA PLATAFORMA



# Metodologia para Avaliação Estrutural da Plataforma Ferroviária

## Abertura de Trincheira

Identificação visual da via  
Identificação das camadas  
Coleta das amostras

## Ensaios de Campo

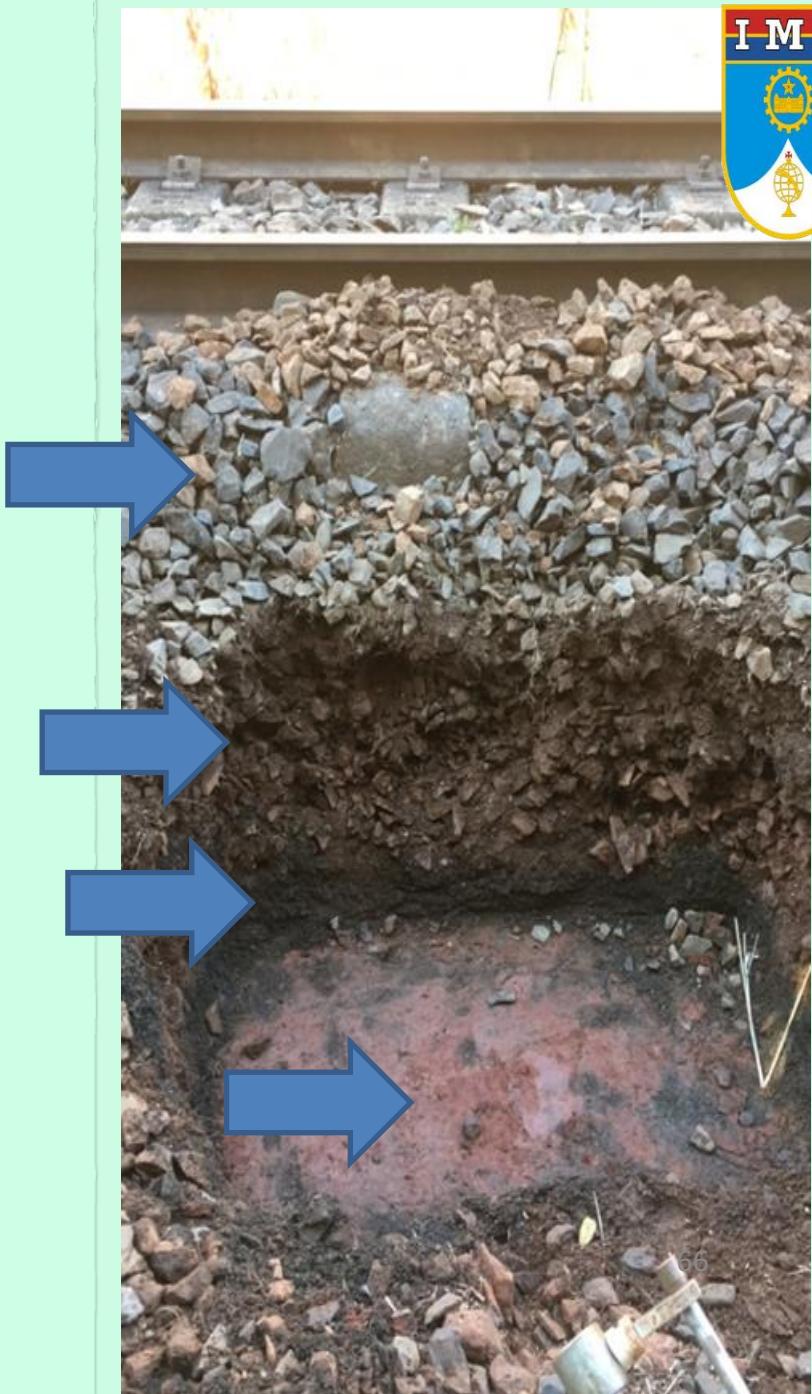
LWD no lastro, sublastro e subleito  
DCP do sublastro para a camada inferior  
Densidade Real e Umidade Speedy

## Modelagem SysTrain

Ensaios de Laboratório  
Caracterização dos solos  
Módulo Resiliente

# Ensaios realizados

- LWD (Light Weight Deflectometer);
  - Lastro
  - Lastro degradado
  - Sublastro (se houvesse)
  - Subleito

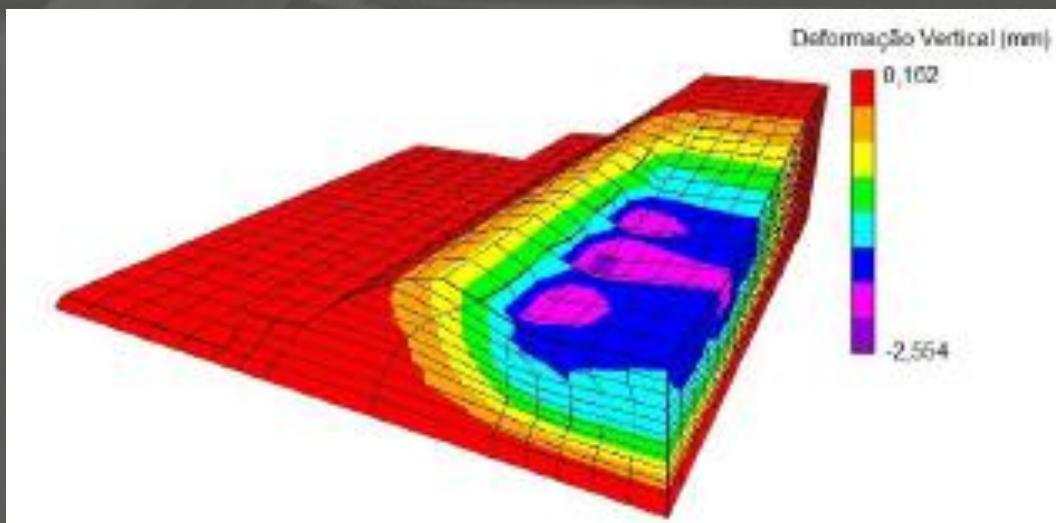




# Modelagem Numérica

Deflexão (mm)	Tipo	Segmento
0,00 - 5,08	A	Vias com durabilidade indefinida.
3,41 - 6,35	B	Pavimentos de carga pesada, combinação de rigidez e flexibilidade. Intervalo definido pela AREMA (2013).

Lundgren et al. (1970)



Amostra	Deformação Vertical (mm)
01	2,554
02	3,591
03	1,906
04	2,773
05	1,434
06	1,275
07	1,266
08	1,744
09	1,412
10	1,249

# SUMÁRIO

- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- **Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas**
- Conclusões
- Agradecimentos

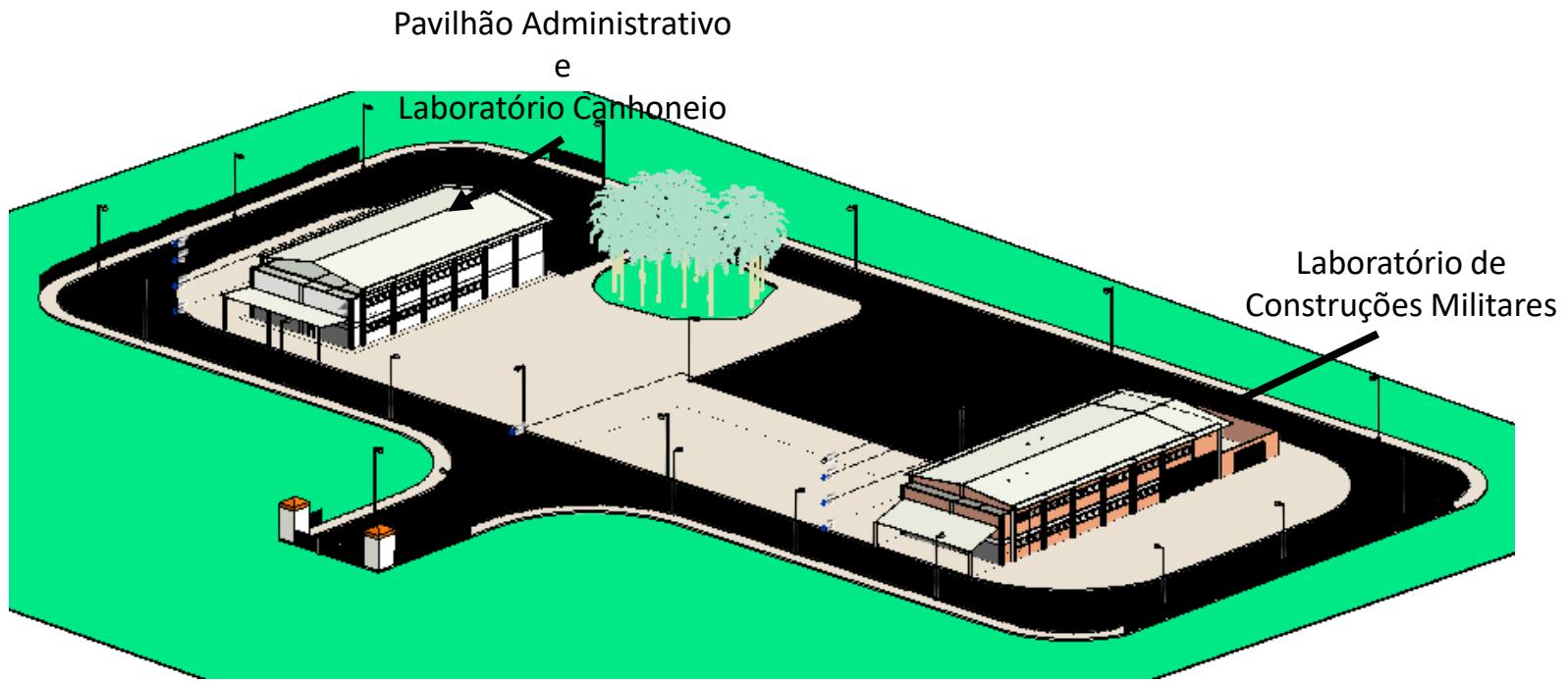


# LARM

## Localização



Pavilhão C13 da Área II



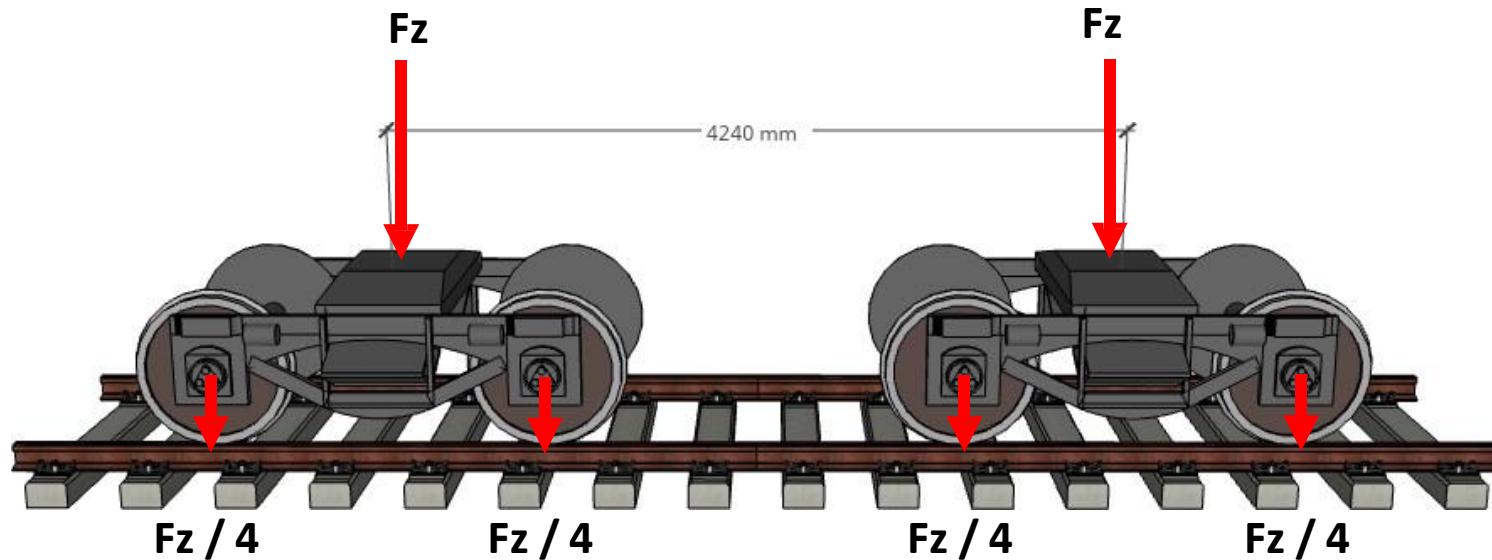
Panorama do projeto

## IME – PORTAL FRAME 1MN – 1DOF UNDERSTANDING



### TEST NEEDS

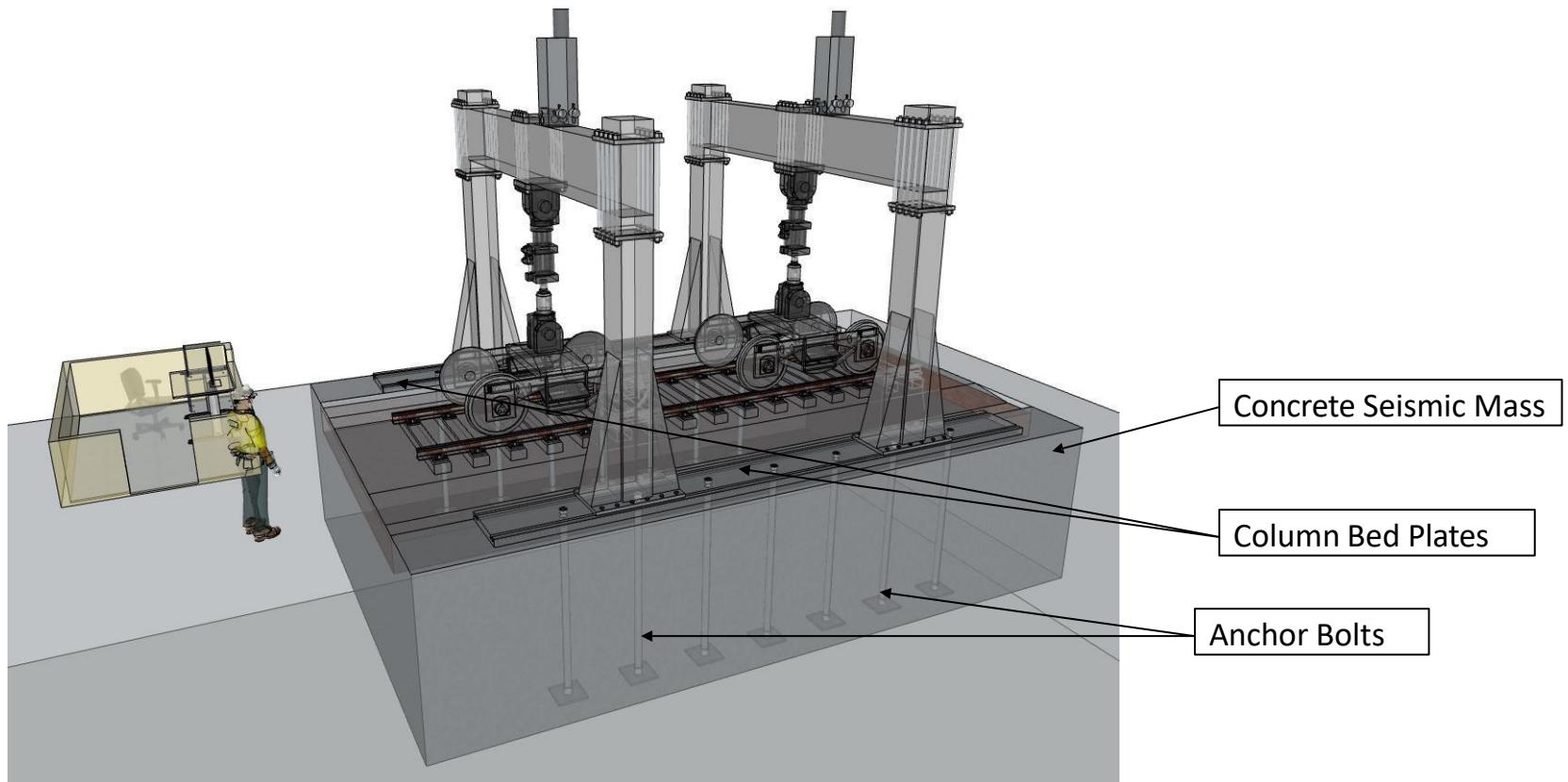
- The complete test system will have two train cars 4240 mm apart on a railroad track.
- The  $F_z$  Load will be applied in each Train Truck individually by two separated actuators



# IME – PORTAL FRAME 1MN – 1DOF CONCEPT & IDEAS



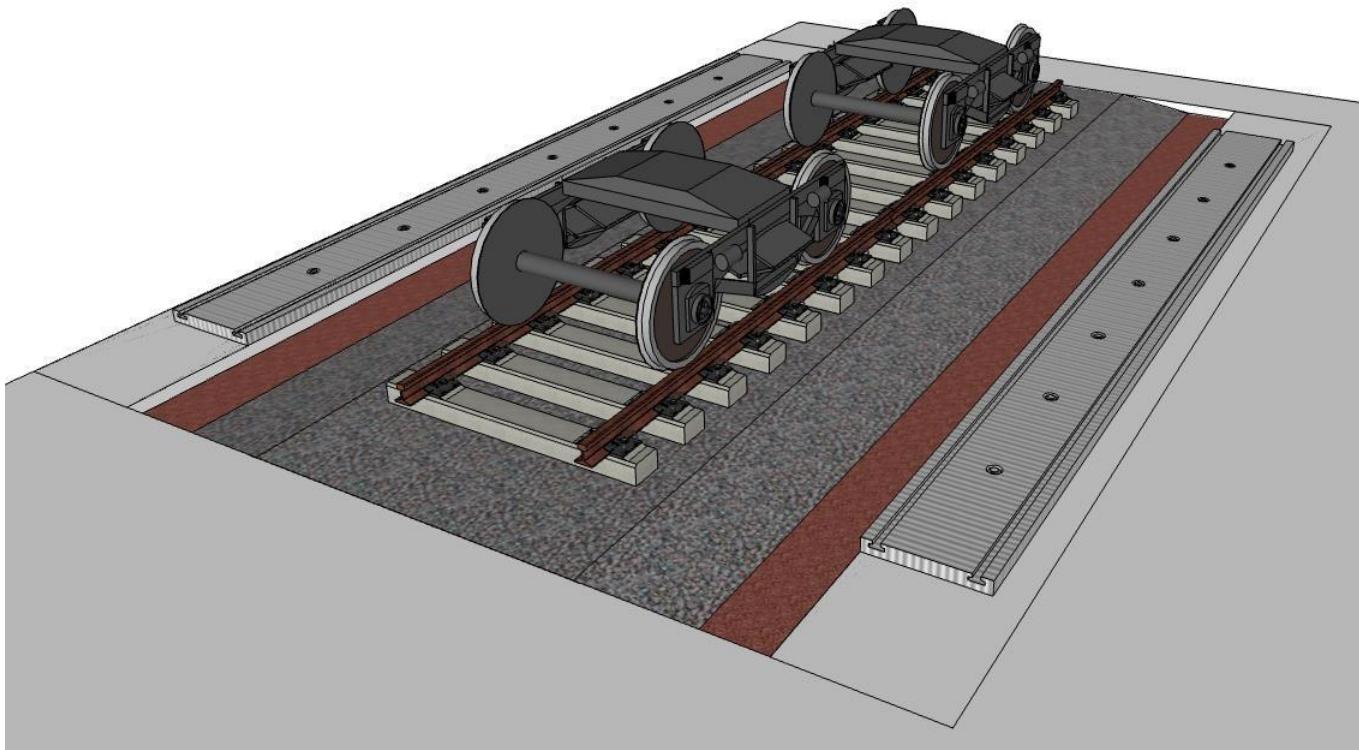
- Concept #1 – Layout – **1DOF - 2 Columns Portal Frame for each actuator**



# IME – PORTAL FRAME 1MN – 1DOF CONCEPT & IDEAS



- Concept #1 – Layout – **1DOF - 2 Columns Portal Frame for each actuator**





# LARM – Fase Equipamentos



## Resultados Parciais

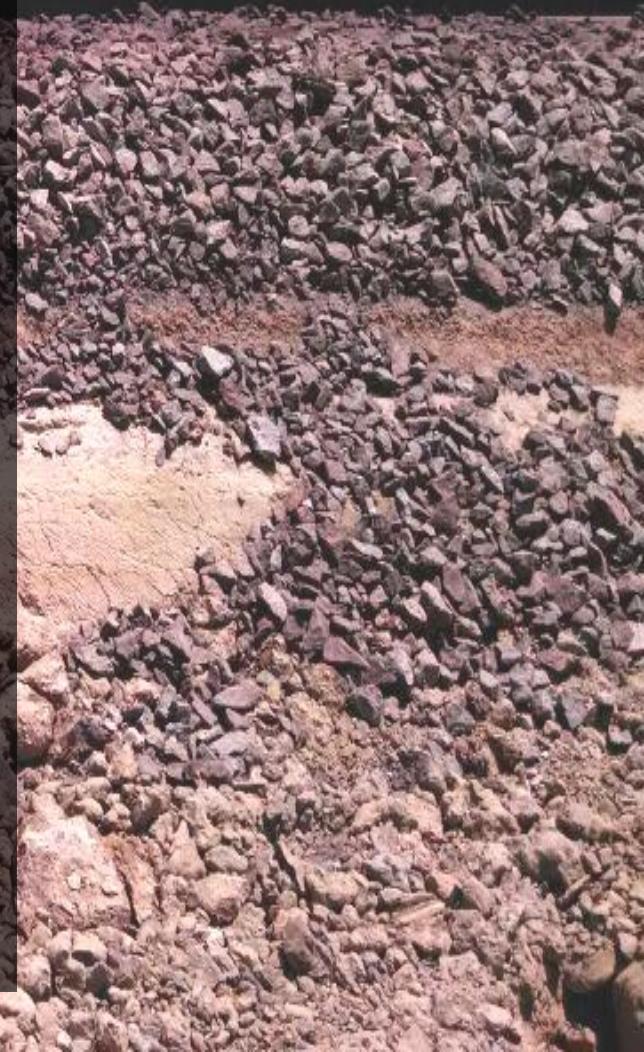
1<sup>a</sup> parte do sistema de atuadores de carga adquirida



Desembarque do equipamento  
no CTEx  
(Guaratiba, Rio de Janeiro)

# SUMÁRIO

- Introdução;
- Conceito de Pavimento Ferroviário
- Maturidade Tecnológica
- Inovações Por Grupos
- Inovações Desenvolvidas (2012 – 2025)
- Inovações em Desenvolvimento e Perspectivas
- **Conclusões**
- Agradecimentos





# CONCLUSÕES

- Foram apresentadas algumas inovações na área de geotecnica de pavimentos, tais como os softwares SystRain, IVFlow, Uso de solo LA' como sublastro, equipamento para ensaio de lastro e metodologia de avaliação estrutural da plataforma ferroviária.