

AMPLIAÇÃO DO LIMITE DE DESGASTE DOS TRILHOS

Wesley das Chagas
METRÔ-SP – Diretoria de Operações / Gerência de Manutenção

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária



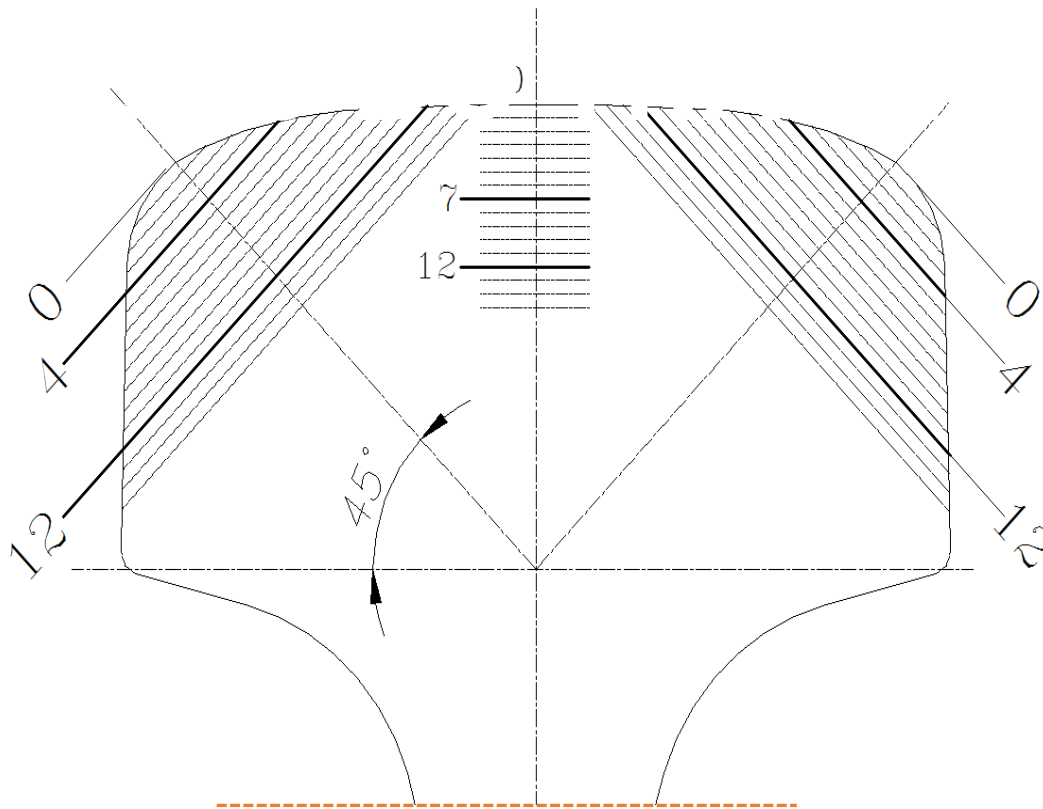
MAPA DA APRESENTAÇÃO

- CONDICIONANTES QUE INTERFEREM NO LIMITE DE DESGASTE
 - Consequências no Gabarito Dinâmico;
 - Consequências na Força Lateral;
 - Resistência Mecânica dos Trilhos; (se necessário)
 - Aumento da Resistência Ôhmica do Trilho;
- CONSUMO DE TRILHO E ECONOMIA PROPOSTA
- ANÁLISE DOS RESULTADOS
- CONCLUSÕES



LIMITES DOS DESGASTES

- LIMITE ATUAL = 12mm (Lateral e Vertical)
 - Velocidade do desgaste = 1mm/ano

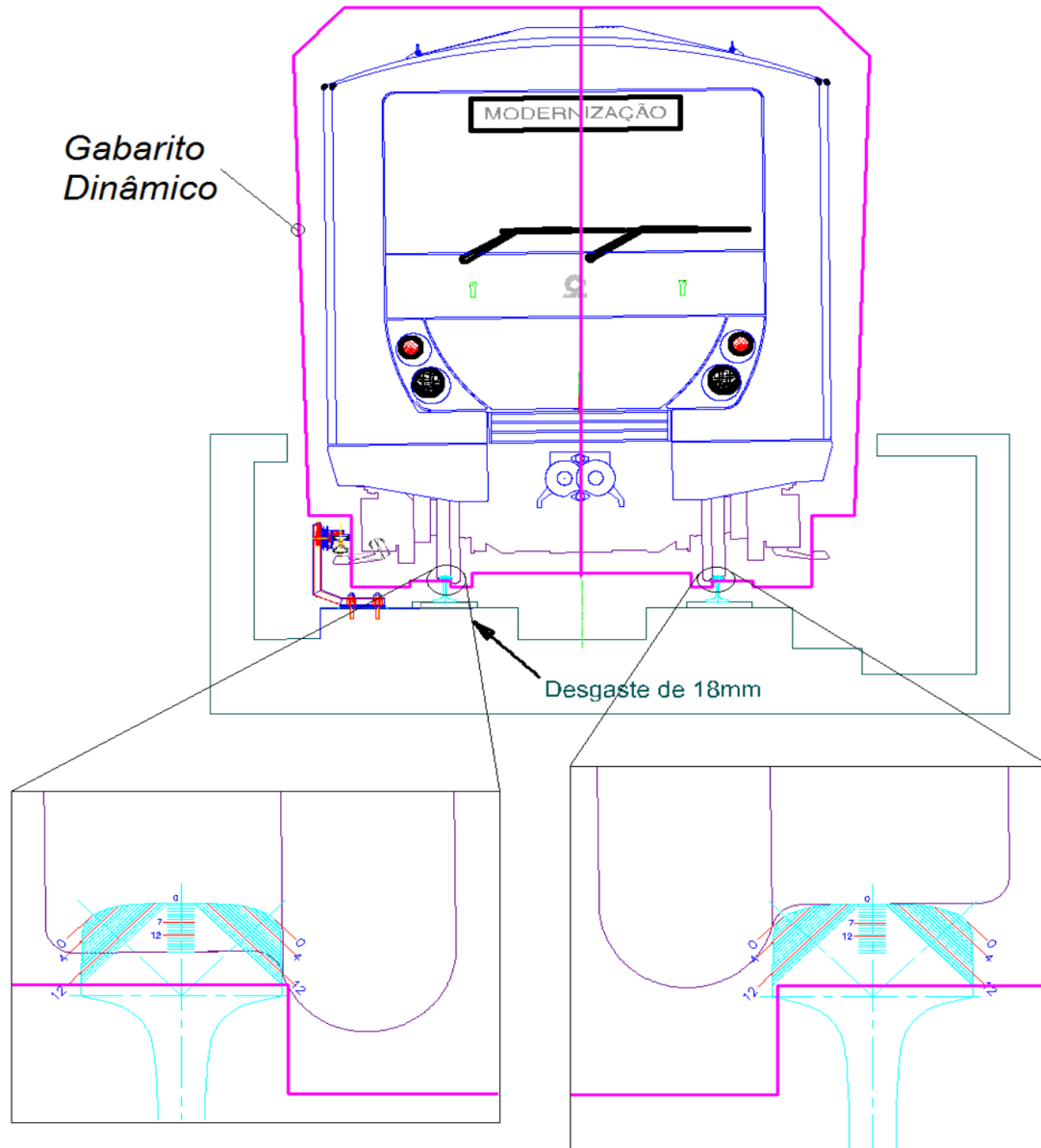


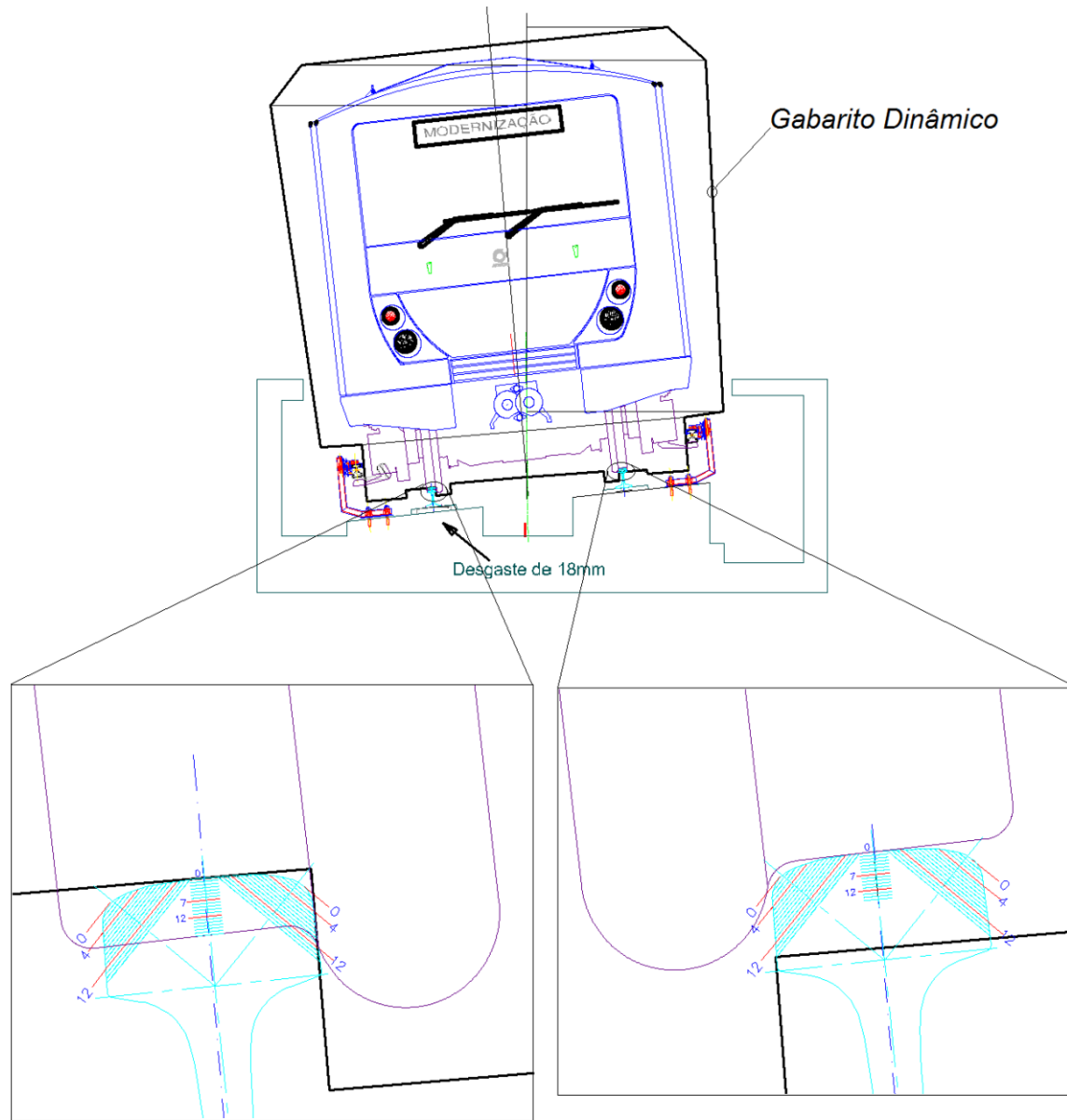
CONDICIONANTES

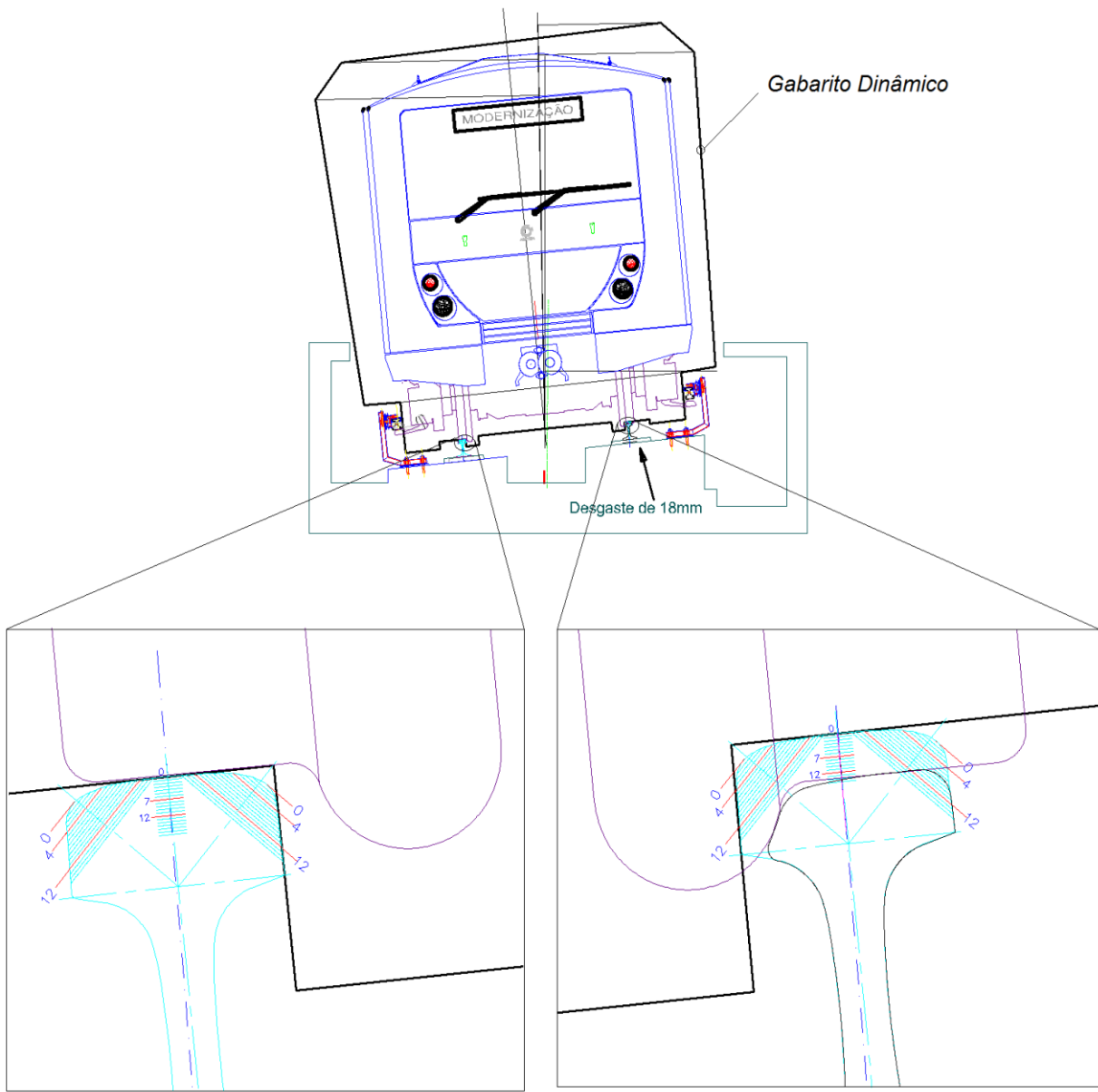
- CONSEQUÊNCIAS NO GABARITO DINÂMICO
 - Análises através do software CAD
 - Análises em tangente e curva com superelevação



Gabarito Dinâmico





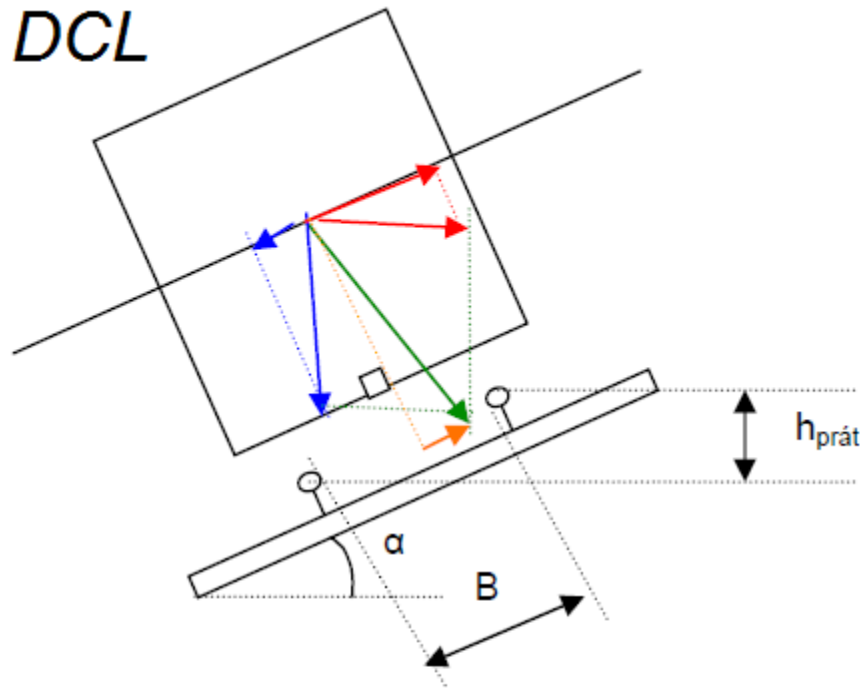


CONDICIONANTES

- CONSEQUÊNCIAS NA FORÇA LATERAL



DCL



- Força Resultante
- Força Centrífuga
- Força Peso
- Força $\eta \cdot m$
- h Superelevação prática

$$F_c \cdot \cos \alpha - P \cdot \sin \alpha = m \cdot \eta$$

$$\frac{m \cdot V^2}{R} - m \cdot g \cdot \frac{h_{PRÁT MAX}}{B} = m \cdot \eta$$

$$\eta = \frac{V^2}{R} - g \cdot \frac{h_{PRÁT MAX}}{B}$$

FORÇA LATERAL

- Curva raio 300m, superelevação 170mm, velocidade 80km/h

$$a_{cpn} = \frac{v^2}{R} - g \frac{h}{B} \rightarrow a_{cpn} = \frac{22,2^2}{300} - 9,81 \frac{0,170}{1,6} \rightarrow a_{cpn} = 0,6005 \text{ m/s}^2$$

(eq. 01)

$$F_{cpn} = m \cdot a_{cpn} \rightarrow F_{cpn} = 17500 \cdot 0,6005 \rightarrow F_{cpn} = 10,5 \text{ kN}$$

- Curva raio 300m, superelevação 152mm, velocidade 80km/h
(desgaste de 18mm)

$$a_{cpn} = \frac{v^2}{R} - g \frac{h}{B} \rightarrow a_{cpn} = \frac{22,2^2}{300} - 9,81 \frac{0,152}{1,6} \rightarrow a_{cpn} = 0,6809 \text{ m/s}^2$$

(eq. 02)

$$F_{cpn} = m \cdot a_{cpn} \rightarrow F_{cpn} = 17500 \cdot 0,6809 \rightarrow F_{cpn} = 11,9 \text{ kN}$$



CONDICIONANTES

- RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS TRILHOS
 - Análise através do Método dos Elementos Finitos
- Utilizado software ANSYS
- Analisados trilhos com desgastes de 12mm, 15mm e 18mm
- Força Vertical = 87,5kN ; Força Lateral = 10,5kN.

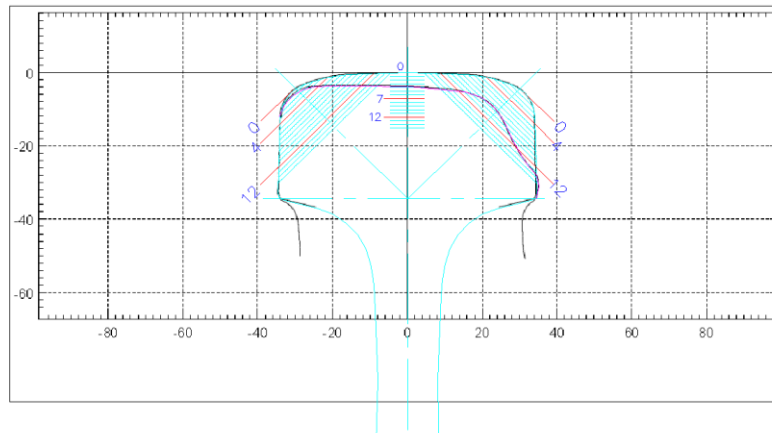


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

MiniProf for Windows
Version 2.43.73

Page 1 of 1

Date: terça-feira, 9 de maio de 2017
Time: 02:03:15



20170508-01401.ban
08/05/2017
211-1512

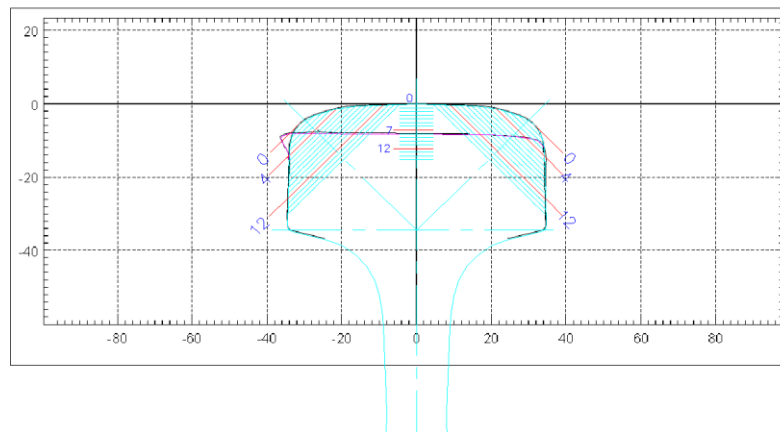
Line = Line3
Direction = South
Position = MT61097
Rail = EXTERNO
W1 = 3.970 mm
W2 = 8.899 mm
W3 = 10.148 mm
Gauge = 1594.082 mm

Line =
Direction =
Position =
Rail =

MiniProf for Windows
Version 2.43.73

Page 1 of 1

Date: terça-feira, 9 de maio de 2017
Time: 01:47:43



20170508-00501.ban
08/05/2017
211-1512

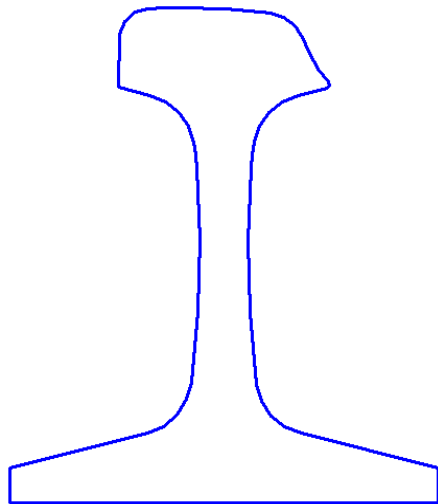
Line = Line3
Direction = North
Position = MT61296
Rail = INTERNO
W1 = 8.120 mm
W2 = -0.653 mm
W3 = 5.120 mm
Gauge = 1587.443 mm

Line =
Direction =
Position =
Rail =

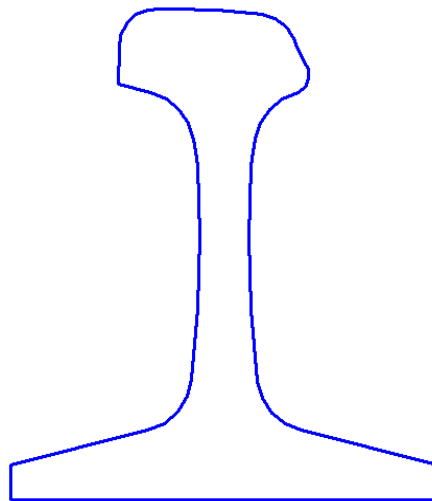


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

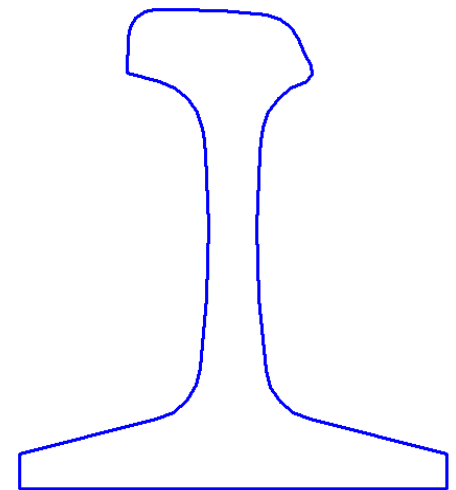
Desg. 12mm



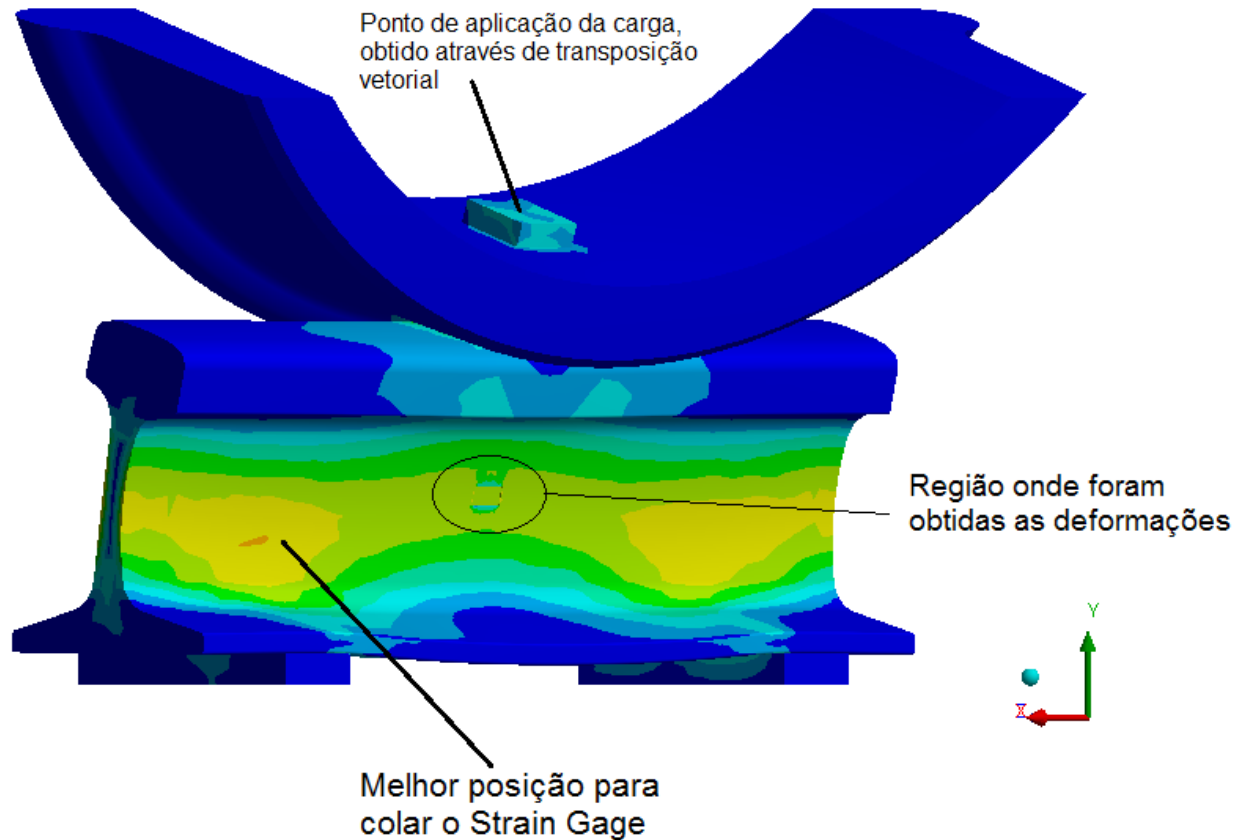
Desg. 15mm



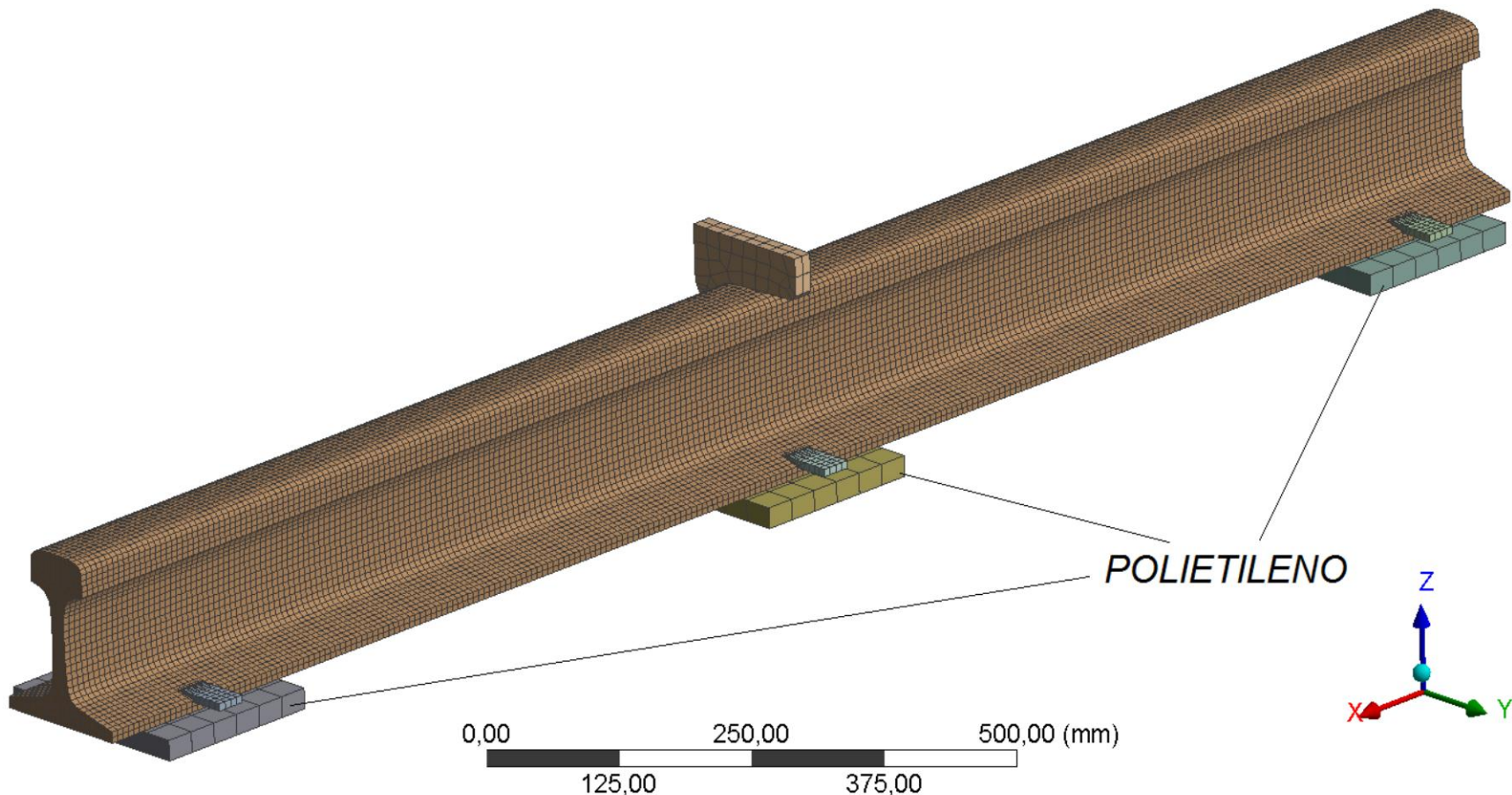
Desg. 18mm



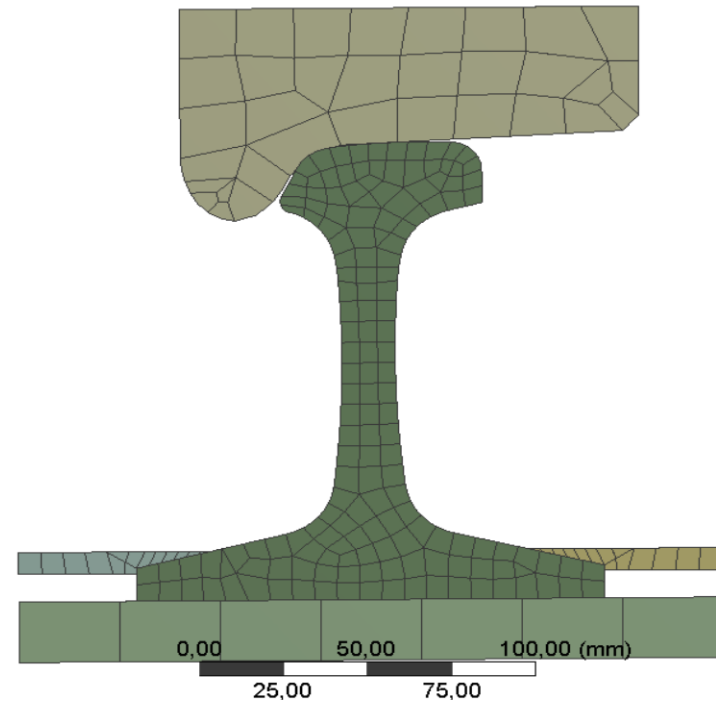
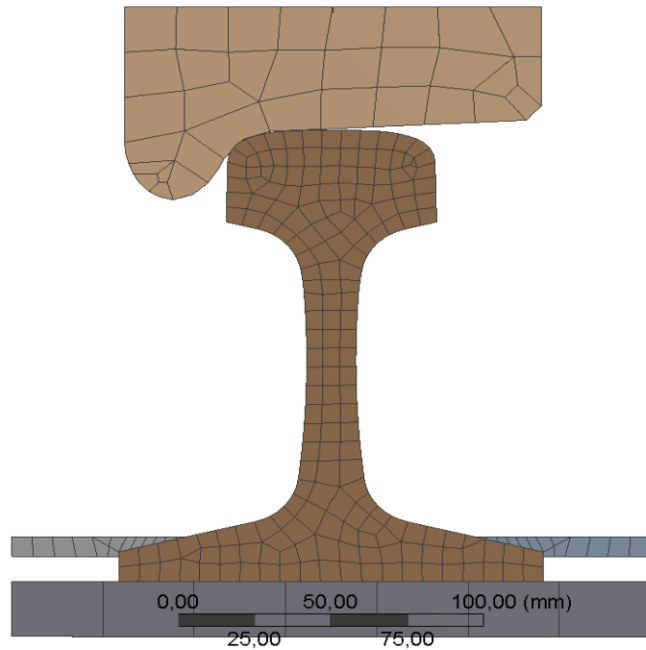
MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS



MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS



MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

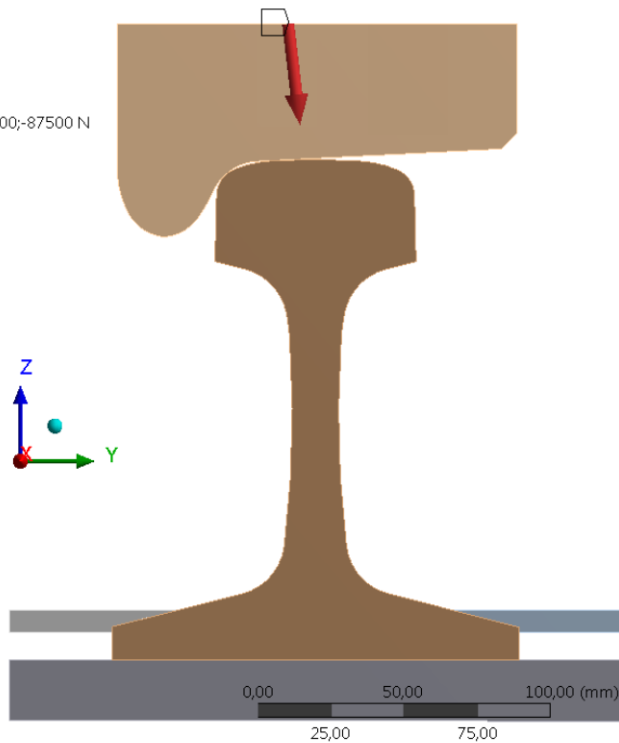


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A: Static Structural

Force
Time: 1, s
30/05/2017 15:37

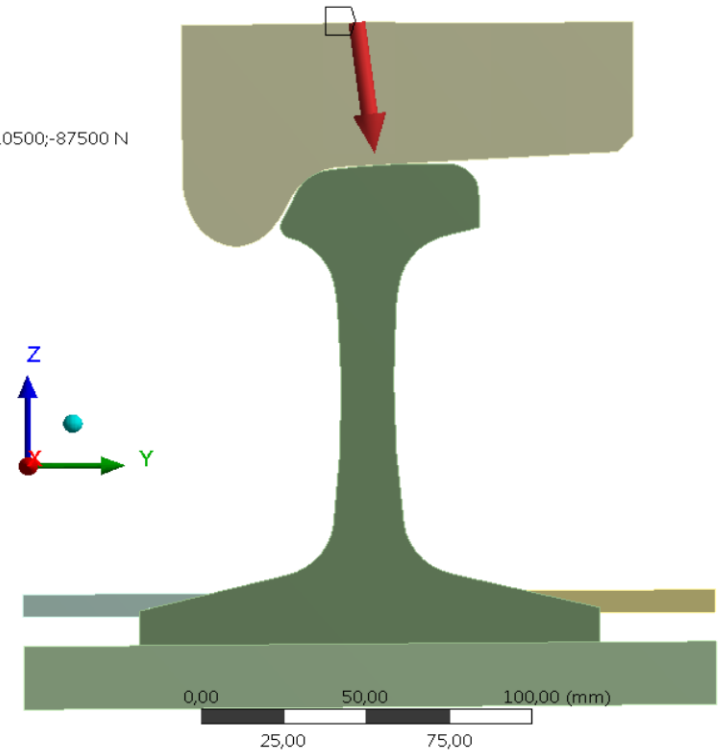
Force: 88128 N
Components: 0;10500;-87500 N



A: Static Structural

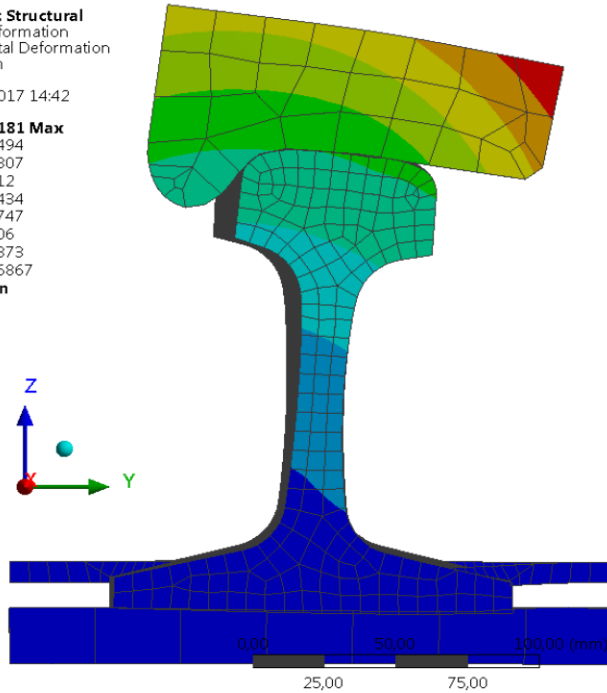
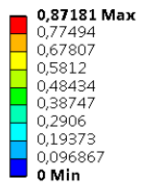
Force
Time: 1, s
05/06/2017 10:13

Force: 88128 N
Components: 0;10500;-87500 N

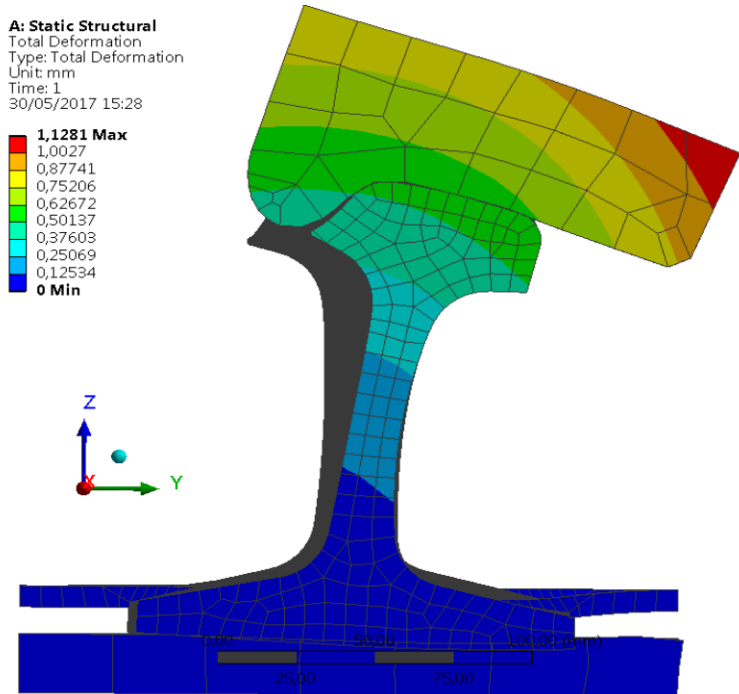
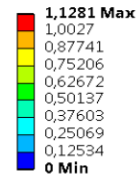


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
30/05/2017 14:42

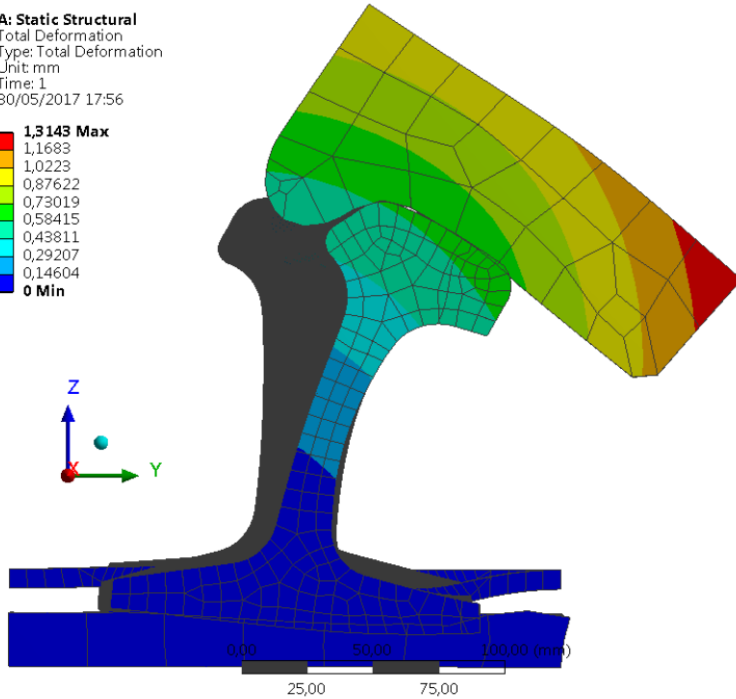
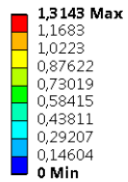


A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
30/05/2017 15:28

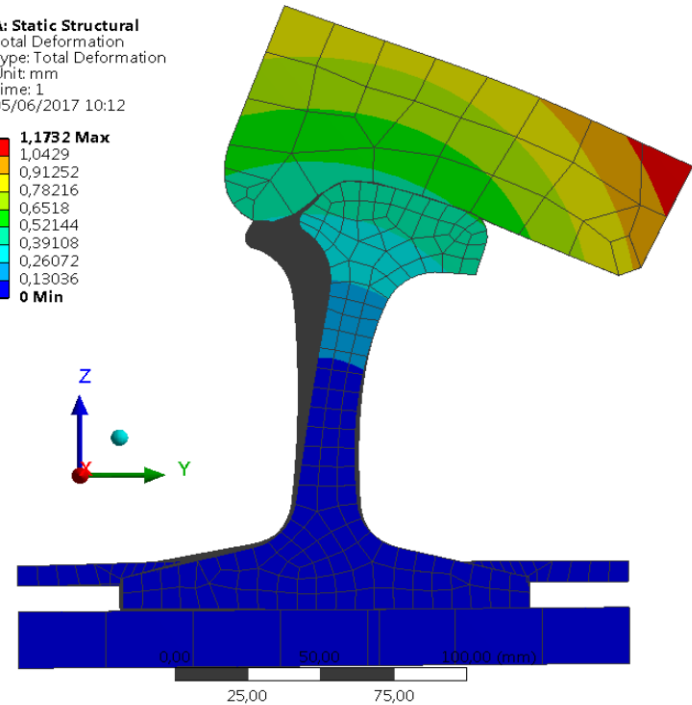
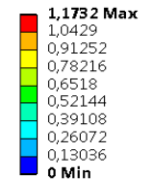


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
30/05/2017 17:56



A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
05/06/2017 10:12

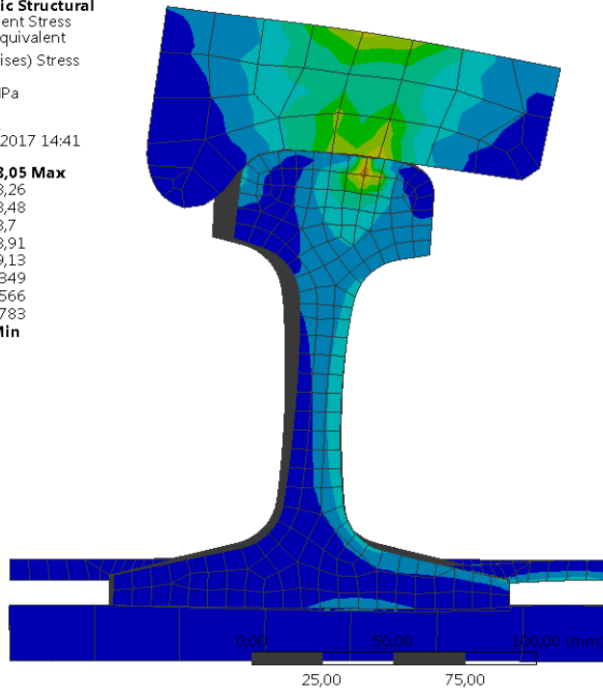
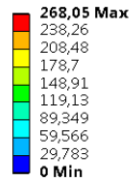


MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent
(von-Mises) Stress

Unit: MPa

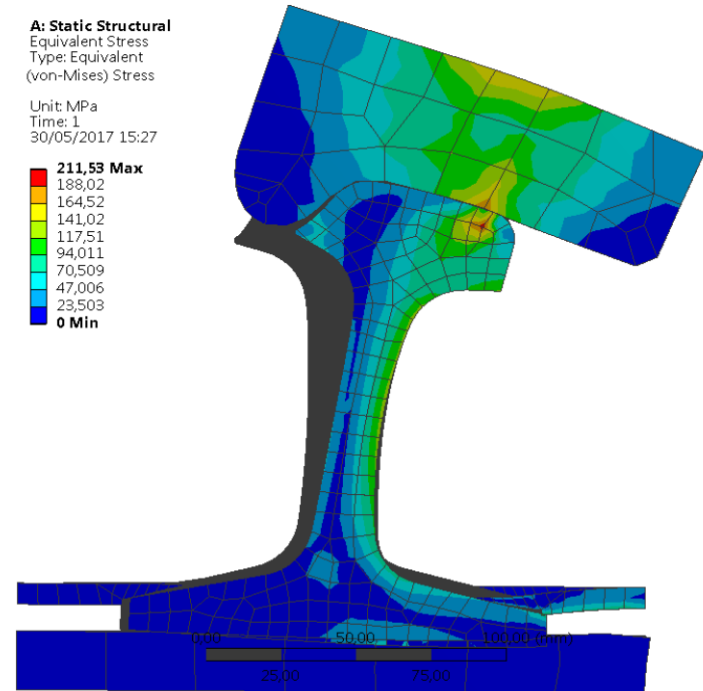
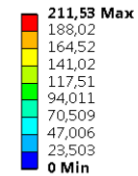
Time: 1
30/05/2017 14:41



A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent
(von-Mises) Stress

Unit: MPa

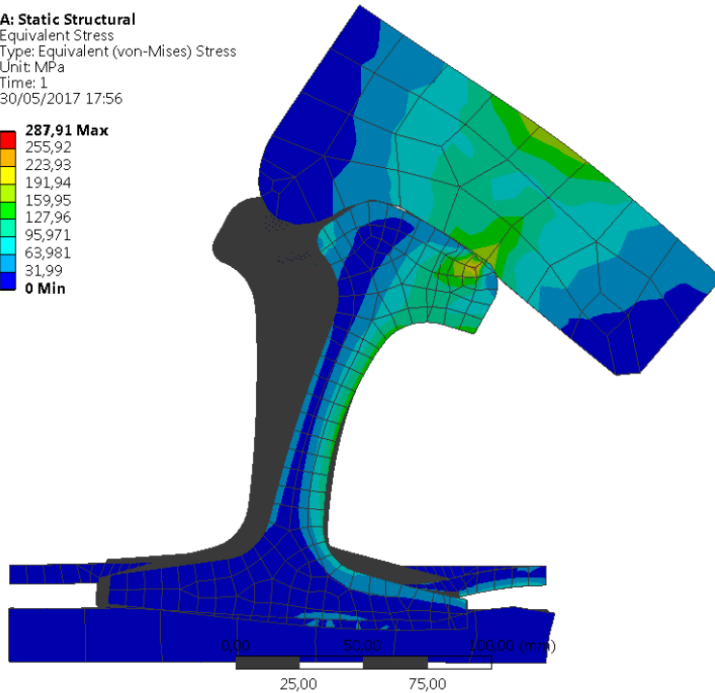
Time: 1
30/05/2017 15:27



MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

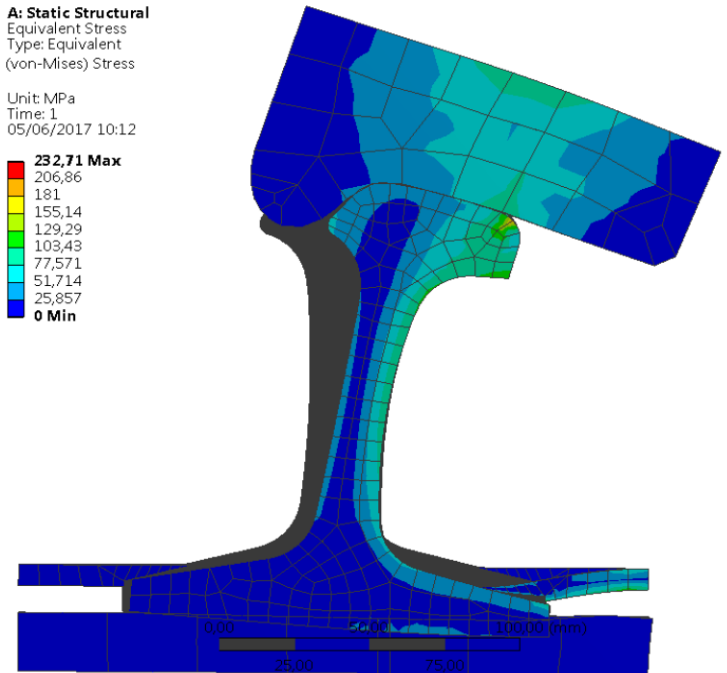
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
30/05/2017 17:56

287,91 Max
255,92
223,93
191,94
159,95
127,96
95,971
63,981
31,99
0 Min



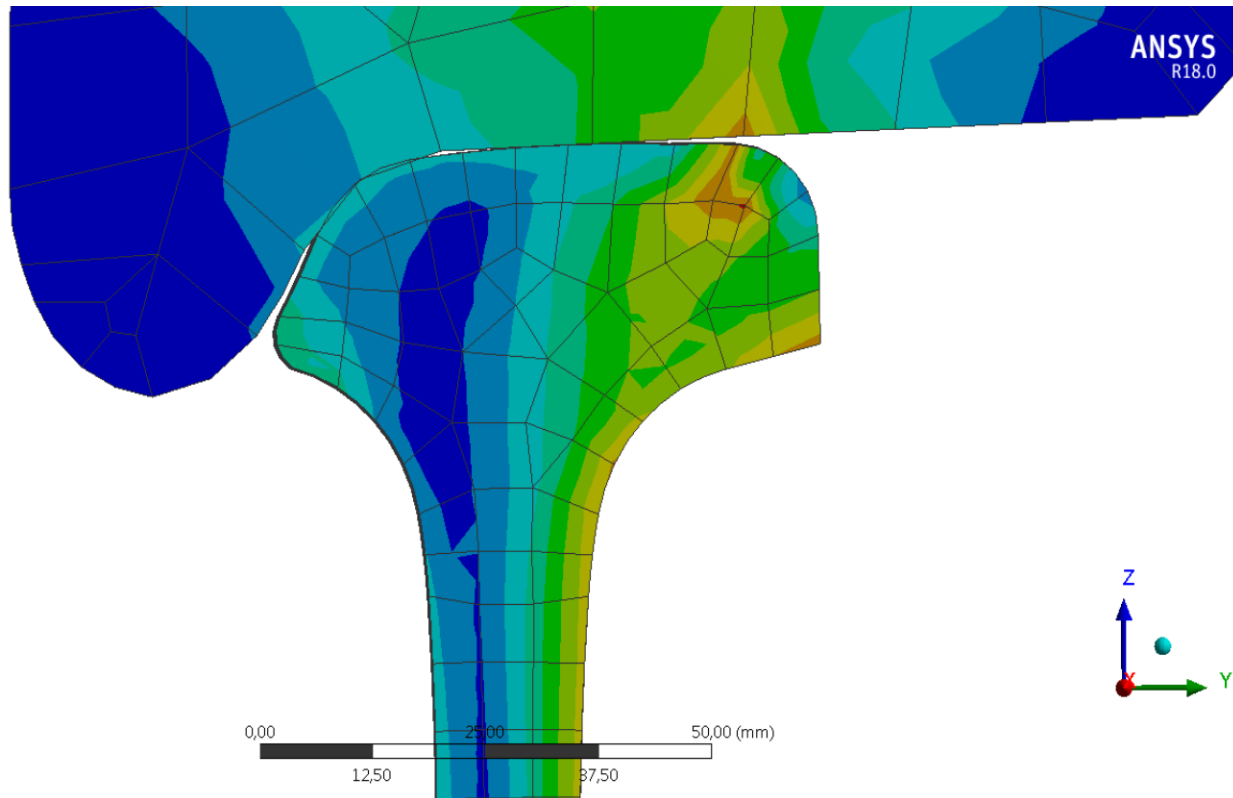
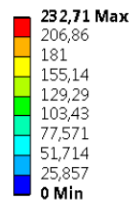
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
05/06/2017 10:12

232,71 Max
206,86
181
155,14
129,29
103,43
77,571
51,714
25,857
0 Min



MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
05/06/2017 09:28



PROPRIEDADES MECÂNICAS



CHAPTER 4

RAIL¹

c. Tensile Properties of Standard Chemistry Rail Steel

Table 4-2-1-4-1c. Tensile Properties Table for Standard Chemistry Rail Steel

Description	Standard	High-Strength
Yield Strength, ksi, minimum	74.0	120.0
Tensile Strength, ksi, minimum	142.5	171.0
Elongation in 2 inches, percent, minimum	10 Note 1	10 Note 1

Note 1: Up to 5% of the order may be less than 10% elongation if purchaser's authorized representative and supplier agree, but in no case may the elongation be less than 9%.

74 ksi = 510 MPa ; 142 ksi = 979 MPa



CONDICIONANTES

- RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS TRILHOS
- Utilizado cenário mais crítico:
- 4 Trens no trecho da subestação considerada
- 4 trilhos com desgaste de 15mm



RESISTÊNCIA ÔHMICA (por trilho)

$$R_{original} = \frac{\rho_{aço} \cdot L}{A} \rightarrow R = \frac{3 \times 10^{-7} \cdot 1}{0,0072075} \rightarrow R = 4,16 \times 10^{-5} \Omega/m$$

$$R_{desg. 12mm} = \frac{\rho_{aço} \cdot L}{A} \rightarrow R = \frac{3 \times 10^{-7} \cdot 1}{0,0065086} \rightarrow R = 4,61 \times 10^{-5} \Omega/m$$

$$R_{desg. 15mm} = \frac{\rho_{aço} \cdot L}{A} \rightarrow R = \frac{3 \times 10^{-7} \cdot 1}{0,0063212} \rightarrow R = 4,74 \times 10^{-5} \Omega/m$$

$$R_{desg. 18mm} = \frac{\rho_{aço} \cdot L}{A} \rightarrow R = \frac{3 \times 10^{-7} \cdot 1}{0,0060742} \rightarrow R = 4,94 \times 10^{-5} \Omega/m$$

(eq. 03)



POTÊNCIA DISSIPADA NO TRILHO

- Entre o desgaste atual de 12mm e o de 15mm
- $\Delta R = R(\text{desg. 15mm}) - R(\text{desg. 12mm})$

$$P = \Delta R \times i^2 \rightarrow P = (4,74 \times 10^{-5} - 4,61 \times 10^{-5}) \cdot 1200^2 \rightarrow P = 1,44 \text{ W/m} \quad (\text{eq. 04})$$

$$P_{Total} = 1,44 \frac{\text{W}}{\text{m}} \times 229.408 \text{ m} \rightarrow P_{Total} = 330.348 \text{ W} \quad (\text{eq. 05})$$



ENERGIA GASTA ANUALMENTE

- OPERAÇÃO COMERCIAL : 20HORAS

$$E = 330.348 \times 20 \times 365 \rightarrow E = 2.411.536.896 Wh \rightarrow E = 2.412 MWh$$

(eq. 06)

- MWh (2017) = R\$ 220,00 + R\$ 70,91
- Valor da Energia dissipada anualmente = R\$ 701.674,92



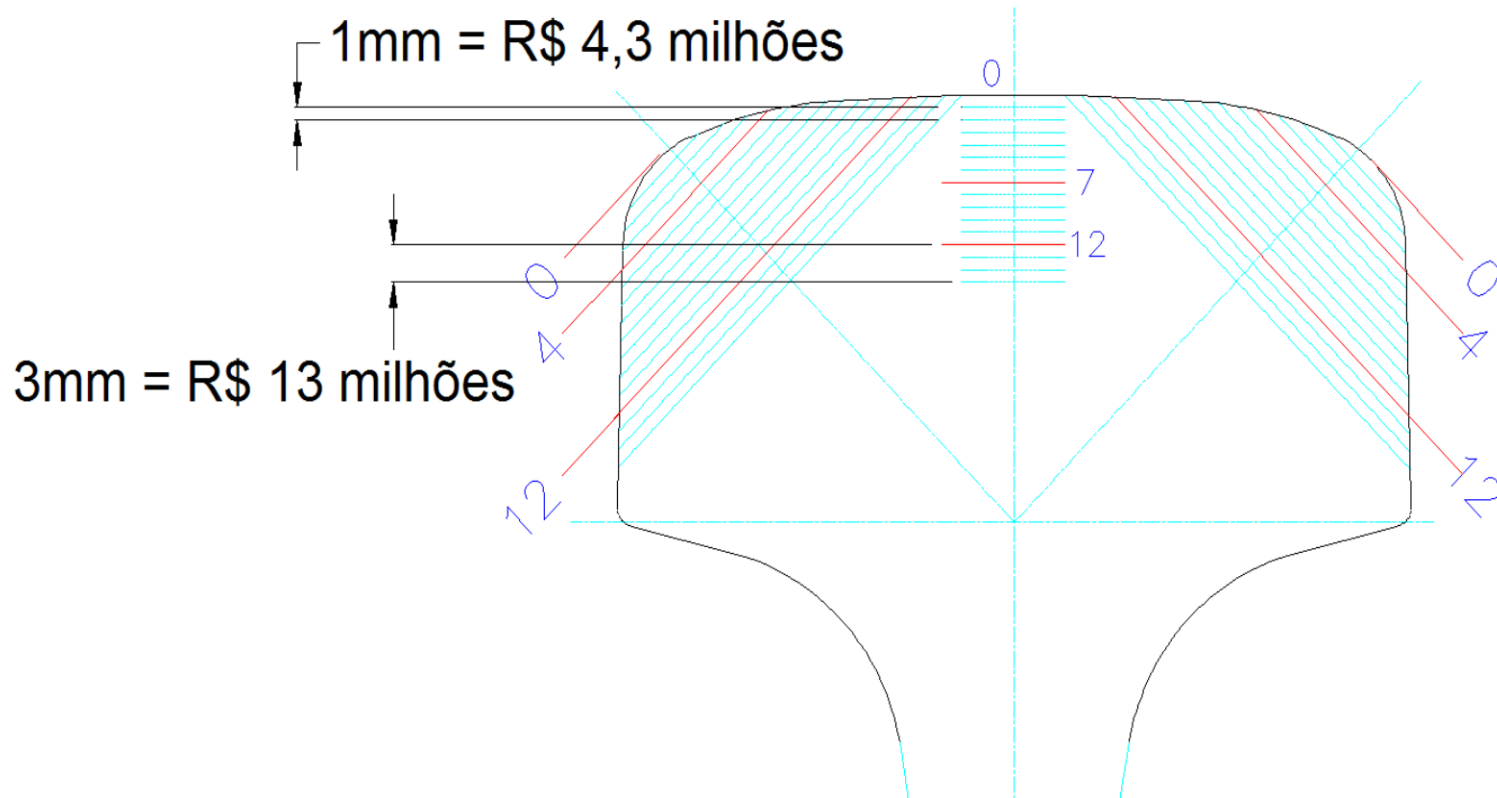
CONSUMO DE TRILHO

DESCRIÇÃO	CMM (2016)	CMP	VALOR UNIT.	CUSTO ANUAL
UIC-60 (24 m)	13	10	R\$ 8.487,86	
UIC-60 (18m)	0	15	R\$ 4.916,28	R\$ 885.000,00 (180 barras)
TR-57 (24m)	24,6	58	R\$ 4.916,25	R\$ 3.422.000,00 (696 barras)

- CMM (Consumo Médio Mensal)
- CMP (Consumo Mensal Previsto)



CUSTO DO DESGASTE DE TRILHO



ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Mesmo na pior condição (um trilho novo e o outro com desgaste de 18mm), o trem não invadirá o gabarito dinâmico de livre passagem ;
- Mesmo com desgaste de 18mm, o trilho resistirá ao carregamento, por apresentar tensões dentro do seu limite de escoamento ;
- Quanto ao aumento do consumo de energia, em função da diminuição da seção transversal, não foi significativo, apenas 8%, se comparado com a economia no consumo de trilhos .



CONCLUSÕES

- Em função da necessidade de diminuição do custeio da Gerência de Manutenção do METRÔ-SP, foi proposto o aumento do limite de desgaste dos trilhos para **15mm**, inicialmente ;
- Foram analisados os seguintes itens: interferência com o gabarito dinâmico, aumento da força centrípeta nas curvas, resistência mecânica e aumento da resistividade ôhmica. Os itens analisados mostraram-se pouco interferentes no aumento de limite de desgaste do trilho ;
- Como não houve possibilidade de avaliar dinamicamente a passagem do rodeiro no trilho desgastado, conclui-se, inicialmente, que a ampliação do limite de desgaste para **15mm** seja aplicada nas tangentes e trilhos internos das curvas .



PRÓXIMOS TRABALHOS

- Simulação computacional dinâmica, poder-se-á estender o desgaste de 15mm para os trilhos externos das curvas, além de analisar o aumento do limite de desgaste até 18mm, gerando, em 3 anos, mais R\$ 13 milhões de economia no custeio da Gerência de Manutenção do METRÔ-SP.



AMPLIAÇÃO DO LIMITE DE DESGASTE DOS TRILHOS

Wesley das Chagas
METRÔ-SP – Diretoria de Operações / Gerência de Manutenção

wesley.chagas@metrosp.com.br
+55 11 5060-4597

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

