

# SIMULAÇÃO DE UM EVENTO DE FRENAGEM COM TRAVAMENTO DE RODAS FERROVIÁRIAS<sup>1</sup>

*Fabiola de Souza Viana<sup>2</sup>  
Luiz Carlos Rolim Lopes<sup>3</sup>  
Jayme Pereira de Gouvea<sup>4</sup>  
Luiz Henrique Dias Alves<sup>5</sup>*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é avaliar a distribuição de temperatura gerada por eventos de frenagem, com travamento de rodas ferroviárias, em diferentes situações de frenagem. Para tal fim, desenvolveu-se um modelo numérico com auxílio do aplicativo ANSYS, com a finalidade de simular a condução de calor envolvida em eventos de frenagem com travamento e analisar a distribuição de temperatura no componente. Para isso, diferentes situações de frenagem foram avaliadas variando-se parâmetros como tempo de travamento de rodas, carga axial aplicada e velocidade do veículo. Através de uma situação crítica imposta pelo evento de frenagem, apresentou-se um perfil da temperatura em diferentes condições de frenagem. Os resultados se apresentam sob a forma de soluções nodais fornecidas pelo aplicativo e diagramas de distribuição de temperatura através da seção da roda, na região de contato com o trilho. Os resultados permitem seu emprego em futuras análises de falhas e geração dos principais defeitos em rodas ferroviárias.

**Palavras-chave:** Rodas ferroviárias; Modelo numérico; Condução de calor.

## **SIMULATIONS OF BRAKING EVENTS WITH OF RAILROAD WHEELS SKID**

### **Abstract**

The objective of this work is to evaluate of the distribution of temperature generated for braking events, with of railroad wheels skid, in different situations of braking. For such end, a numerical model with aid of the applicatory ANSYS, the purpose to simulate the involved conduction of heat in events of braking with skid was developed and to analyze the distribution of temperature in the component. For this, different situations of braking are evaluated varying parameters as time of wheels skid, axial load applied and speed of the vehicle. Through a critical situation imposed by the braking event, a profile of the temperature in different conditions of braking was presented. The results if present under the form of nodais solutions supplied by applicatory and the diagrams of distribution of temperature through the section of the wheel, in the region of contact with the rail. The results allow to its job in future analyses of imperfections and generation of the main defects in railroad wheels.

**Key-words:** Railroad wheels; Numerical model; Heat conduction.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Eng<sup>a</sup> Metalúrgica, aluna doutorado do Programa de Pós-graduação da EEIMVR/ UFF*

<sup>3</sup> *Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, Professor Associado EEIMVR /UFF*

<sup>4</sup> *Eng<sup>o</sup> Mecânico, Professor Titular EEIMVR/ UFF*

<sup>5</sup> *Eng<sup>o</sup> Metalúrgico, Gerente Industrial Amsted-Maxion*

## 1 INTRODUÇÃO

O deslizamento roda-trilho é um processo que envolve vários fatores. No caso da frenagem com travamento, a potência máxima de frenagem ou de fricção aplicada em todos os pontos do contato é proporcional ao coeficiente de atrito, ao componente perpendicular de carregamento na superfície (carga axial), e a velocidade do veículo. O deslizamento da roda contra o trilho inicia quando as forças de atrito entre os dois componentes não sustentam as forças geradas pelo torque de frenagem. A potência envolvida pode ser admitida como sendo completamente transformada em potência térmica, e pode ser dada por:<sup>(1)</sup>

$$Pot = \mu \cdot F_N \cdot v \quad , \text{onde: } \mu \text{ - coeficiente de atrito} \quad (1)$$
$$F_N \text{ - carga axial aplicada}$$
$$v \text{ - velocidade}$$

Considerando que o deslizamento da roda com travamento é um processo dinâmico, alguns parâmetros são alterados devido ao aumento da temperatura localizada, como é o caso do coeficiente de atrito. Supondo que inicialmente o coeficiente de atrito se mantenha constante ao longo do período de frenagem com travamento, a potência de frenagem variará linearmente para cada valor de velocidade assumido e carga axial aplicada.

Inicialmente, num evento de frenagem com travamento, a fricção ocasiona um aumento muito rápido da temperatura tanto na roda quanto no trilho. Sendo que a roda e o trilho possuem ciclos de aquecimento diferentes. A superfície de contato no trilho é alterada continuamente, ocasionando ciclos térmicos muito pequenos. No caso da roda ferroviária, a superfície de contato permanece a mesma durante todo o período de deslizamento com travamento. O calor gerado na superfície de contato é então transferido pra roda e atinge uma profundidade considerável. A combinação de altas temperaturas localizadas com altas forças cisalhantes promove grandes deformações plásticas. Tornando-se, portanto, uma condição favorável ao surgimento de trincas e defeitos superficiais, tanto no friso, quanto na pista de rolamento da roda.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No modelamento, foi utilizada a geometria de uma roda Modelo CJ33 classificadas segundo AAR 208,<sup>(2)</sup> com 838,20 mm de diâmetro e limite de carga máxima de 12,5 t aplicada sobre o eixo por roda.

Foi utilizado o Método dos Elementos Finitos – MEF, com auxílio do aplicativo Ansys na obtenção de uma solução numérica para o cálculo da distribuição de temperaturas. A roda foi modelada pela sua seção transversal, já que a condição de aquecimento é axissimétrico, isto é, as temperaturas foram modeladas supondo que se distribuem da mesma forma em qualquer seção radial, em torno do seu eixo central.

O evento de frenagem com travamento das rodas foi caracterizado utilizando como dados de entrada, os dados experimentais apresentados por Ahlström e Karlsson:<sup>(3, 4)</sup>

**Tabela 1.** Parâmetros simulados experimentalmente.

Parâmetros
Tempo de frenagem com travamento de rodas – de 1 a 150 s
Carga axial aplicada – de 6,2 a 18,9 t
Velocidade – de 5 a 80 km/h

Foram simuladas diferentes situações de frenagem utilizando a combinação dos parâmetros apresentados na tabela 1. De forma a comparar os resultados deste trabalho com aqueles publicados por Ahlström e Karlsson <sup>(3)</sup>, foi analisado um caso onde a carga axial aplicada é maior do que a carga máxima aplicada por eixo, que é de 12,5 t.

Como este evento de frenagem pode ser tratado como um problema de transmissão de calor transiente, devido às variações das propriedades dos materiais com a temperatura e à variação do carregamento térmico com o tempo. A variação da temperatura com o tempo é a variável principal e a primeira a ser medida durante a frenagem. Deste modo o modelo térmico terá como dados de saída, as temperaturas nodais em cada situação adotada, onde a distribuição de temperatura em cada caso varia em função da potência de frenagem aplicada sobre a superfície de rolamento da roda.

## 2.1 Modelamento

O modelo numérico foi desenvolvido tendo as seguintes condições iniciais e de contorno:

Condição inicial:

- . Temperatura ambiente (27 °C)

Condições de contorno:

- . Convecção: aplicada na parte externa e interna da roda ferroviária;
- . Condição de simetria: considerando que se deseja avaliar a distribuição de temperaturas ao longo do raio da roda, uma condição de fluxo de calor nulo foi imposta no sentido circunferencial da roda;
- . Fluxo prescrito: calculado conforme a equação 1, para diferentes eventos de frenagem e aplicado diretamente na área correspondente à pista de rolamento da roda, onde há o contato roda-trilho.

Os três eventos mais representativos das simulações são apresentados na Tabela 2:

**Tabela 2.** Parâmetros utilizados na simulação numérica

	Tempo de frenagem (s)	Velocidade (km/h)	Carga axial (t)	Potência de frenagem (J/s)
Evento 1	1	5	6,2	25.336,92
Evento 2	50	40	9,5	310.581,60
Evento 3	150	80	18,9	1.235.787,84

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam o perfil de temperaturas nodais obtidas após a simulação dos eventos de frenagem 1, 2 e 3, respectivamente.

As maiores temperaturas superficiais obtidas em todos os eventos analisados, encontraram-se próxima à pista de rolamento da roda, onde foi aplicado o fluxo de

calor. Observa-se que o evento 3, apresentou maior temperatura superficial, chegando a níveis maiores que a temperatura de austenitização do aço.

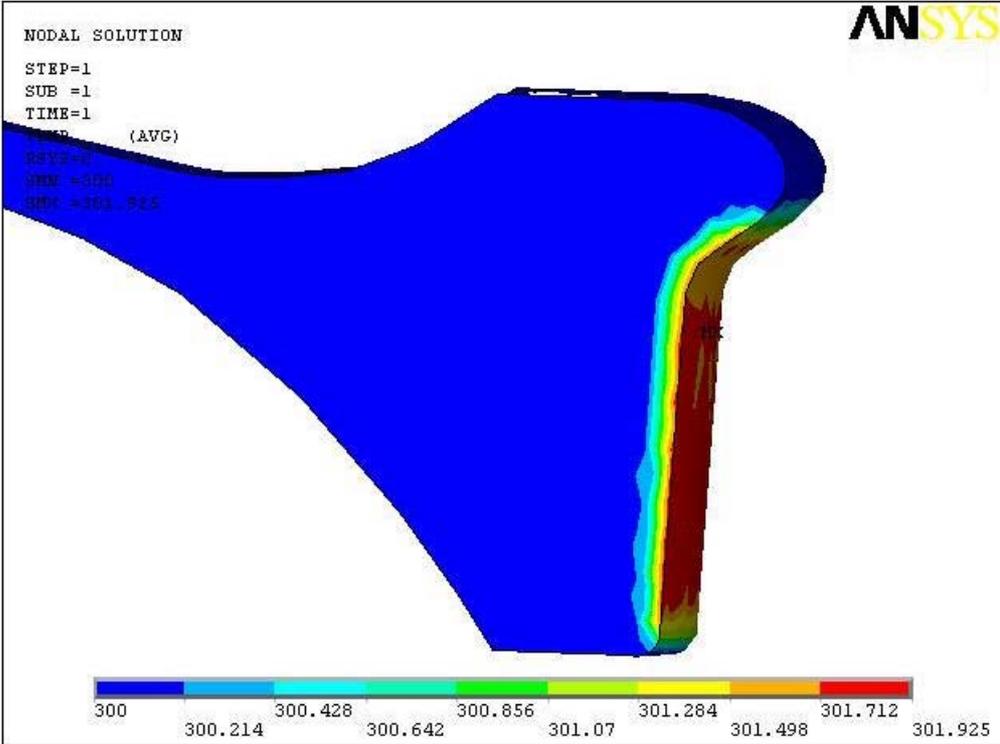


Figura 1. Temperaturas nodais, evento 1. Potência de frenagem = 25.336,92 J/s

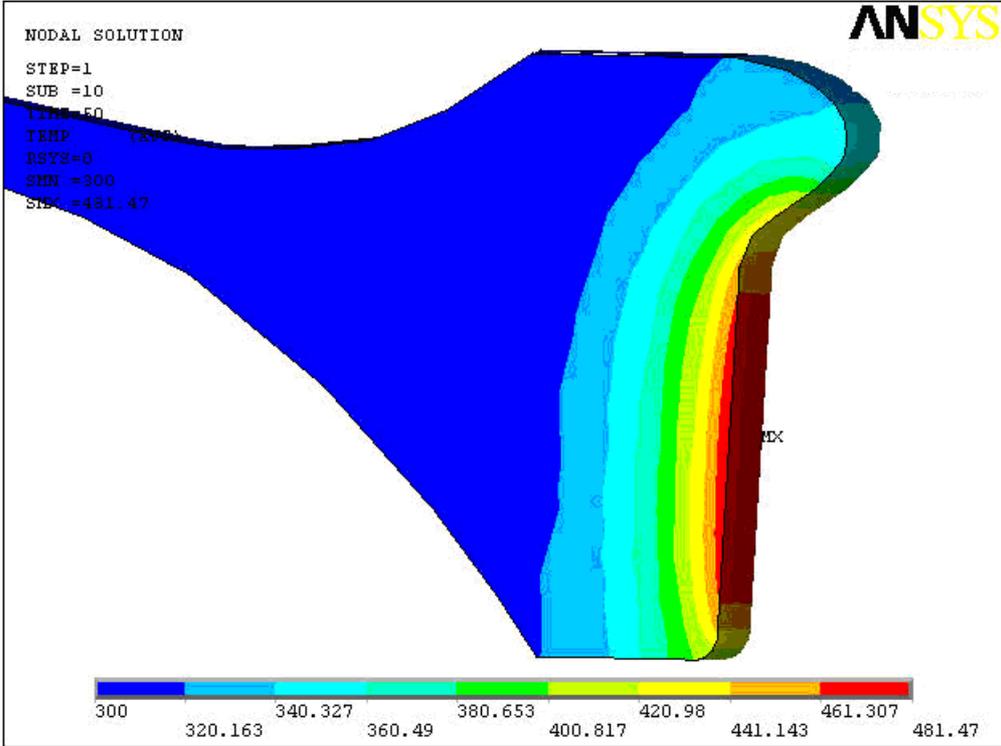
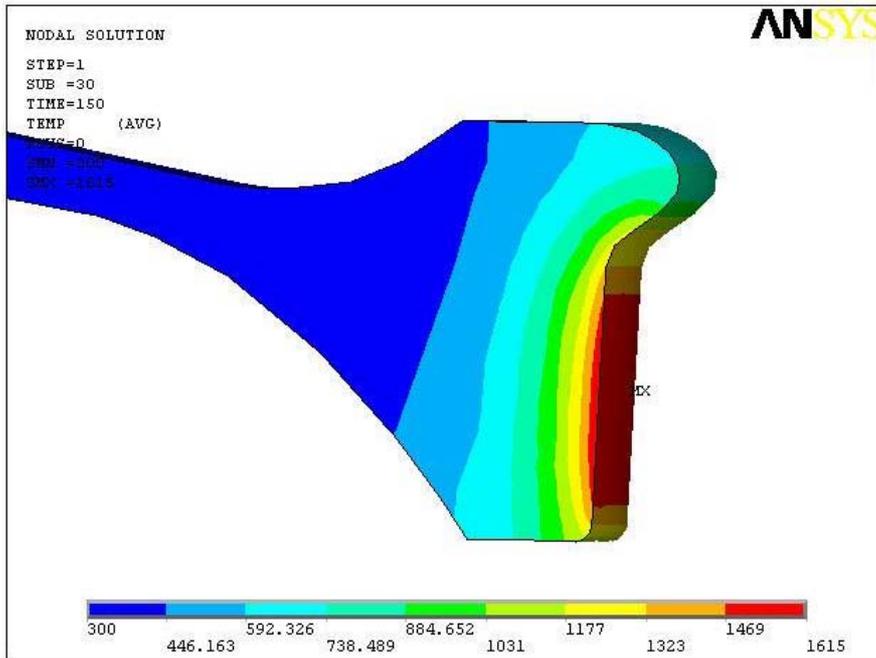
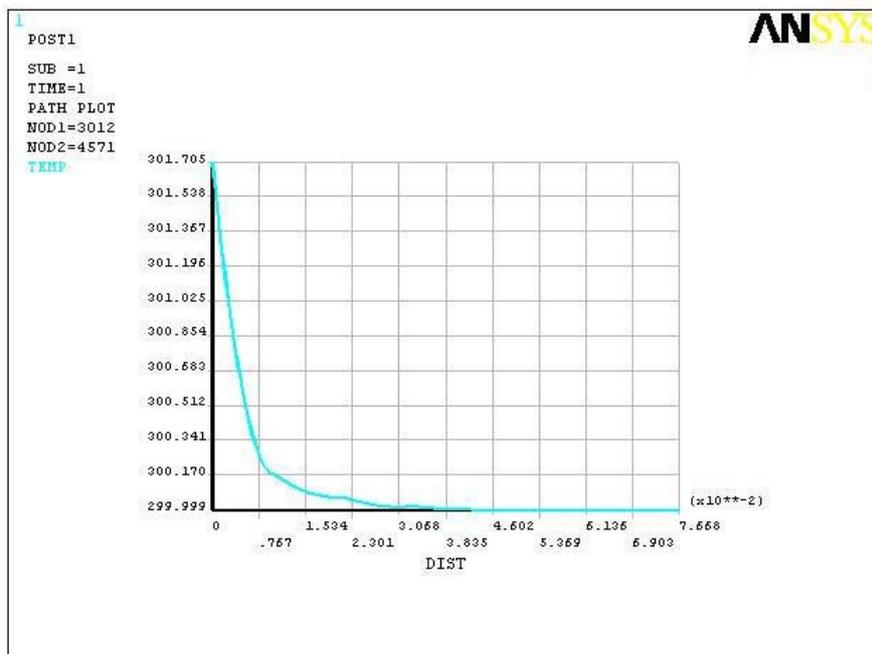


Figura 2. Temperaturas nodais, evento 2. Potência de frenagem = 310.581,60 J/s

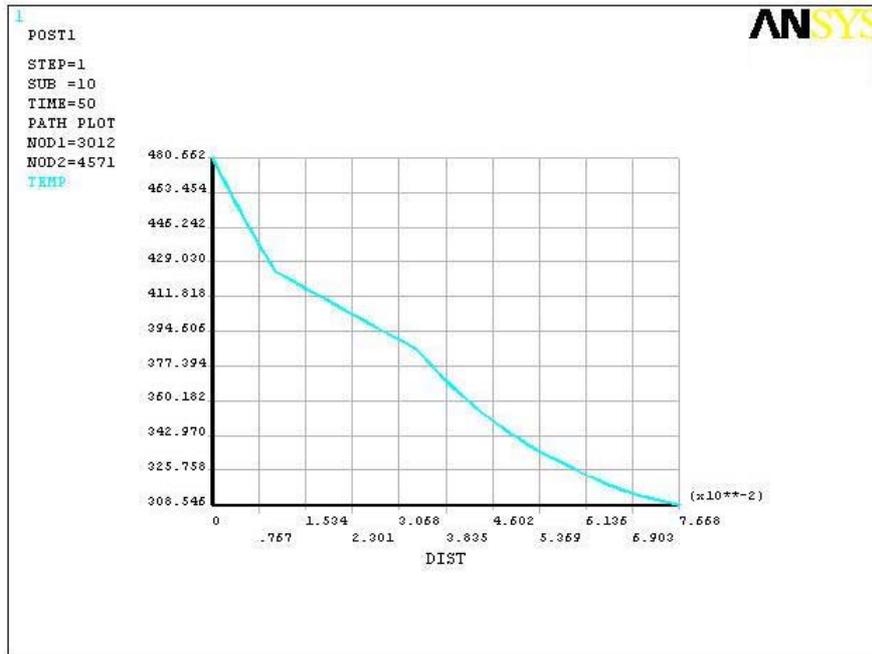


**Figura 3.** Temperaturas nodais, evento 3. Potência de frenagem = 1.235.787,84 J/s

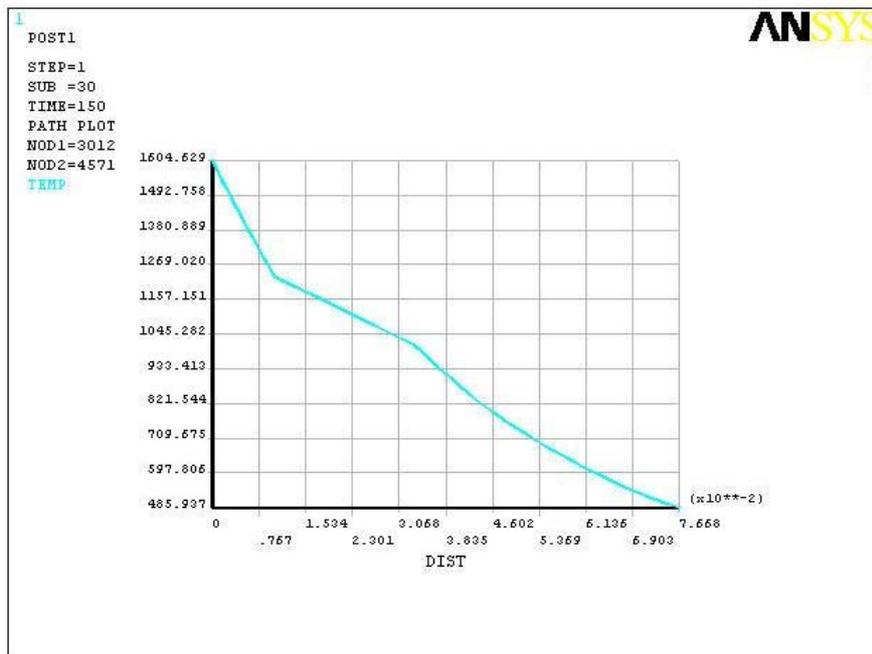
As Figuras 4, 5 e 6 mostra a relação observada entre temperatura superficial e a profundidade alcançada em relação ao raio da roda. Observa-se que as maiores zonas afetadas correspondem à maior potência de frenagem aplicada.<sup>(5, 6)</sup>



**Figura 4.** Relação entre temperaturas nodais e profundidade. Evento 1 - Potência de frenagem = 25.336,92 J/s



**Figura 5.** Relação entre temperaturas nodais e profundidade. Evento 2 - Potência de frenagem = 310.581,60 J/s



**Figura 6.** Relação entre temperaturas nodais e profundidade. Evento 3 - Potência de frenagem = 1.235.787,84 J/s

## CONCLUSÃO

Os resultados indicam que as diferenças no perfil de temperaturas apresentado nos três eventos podem ser atribuídos essencialmente aos efeitos da potência de frenagem, sendo ela diretamente proporcional à carga axial aplicada e à velocidade do veículo.

Efeitos como o tempo de travamento de rodas também foi verificado, porém apresentando um efeito menor.

O carregamento térmico apresentado nas simulações indica a forte possibilidade de iniciação e propagação de defeitos superficiais nas rodas ferroviárias. O que pode ser agravado com a ação conjunta da deformação plástica atuante no sistema roda-trilho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior, CAPES e a Amsted-Maxion pela colaboração na execução desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 JERGÉUS, J. "Martensite formation and residual stresses around railway wheel flats". Proc. Inst. Mech. Eng. Vol 212 Part C, 1998. 69 – 79.
- 2 ASSOCIATION OF AMERICAN RAILROADS. Manual of Standards and Recommended Practices. Section G, AAR-M 107/208 (1998).
- 3 AHLSTRÖM, J.; KARLSSON, B. "Modelling of heat conduction and phase transformations during sliding of railway wheels". Wear 253, 2002. 291-300.
- 4 AHLSTRÖM, J.; KARLSSON, B. "Microstructural evaluation and interpretation of the mechanically and thermally affected zone under railway wheel flats". Wear 232, 1999. 1-14.
- 5 SANTOS JR., A. A. "Aquecimento em rodas ferroviárias durante e após frenagens contínuas prolongadas".
- 6 EKBERG, A; KABO, E. " Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading – an overview". Wear 258, 2005. 1288 – 1300.