

PREVISÃO DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE EM AÇOS INOXIDÁVEIS USANDO DICTRA®

Aluno: Renata Caroline Mota Santos – renata_cms@hotmail.com
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco – rodrmagn@fei.edu.br

Como prever a precipitação de fases em materiais que são utilizados por longos períodos sem a realização de ensaios?



Recuperador de calor após 12 anos de operação

Nas plantas siderúrgicas a utilização de tubos em aços inoxidáveis remete aos recuperadores de calor, que são utilizados por longos períodos para diminuir custos energéticos e o consumo de combustível.

Os tubos desse equipamento de uma importante planta siderúrgica têm se apresentado muito oxidados antes da vida útil prevista em projeto e com alta incidência de perda de eficiência.

Diante disso, estudou-se a previsão de precipitação de fase Sigma e carbonetos $M_{23}C_6$ usando o DICTRA® para cinco ligas utilizadas no recuperador de calor para selecionar qual material apresenta melhor desempenho nas condições de operação.

Termodinâmica Computacional e Simulação de Transformação de fase

- ✓ Redução de custo
- ✓ Diminuição do tempo utilizado para seleção de material
- ✓ Menor necessidade de manutenção

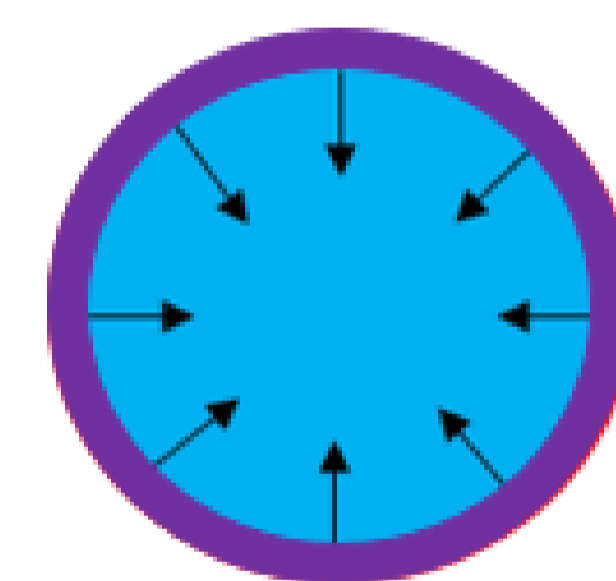
METODOLOGIA



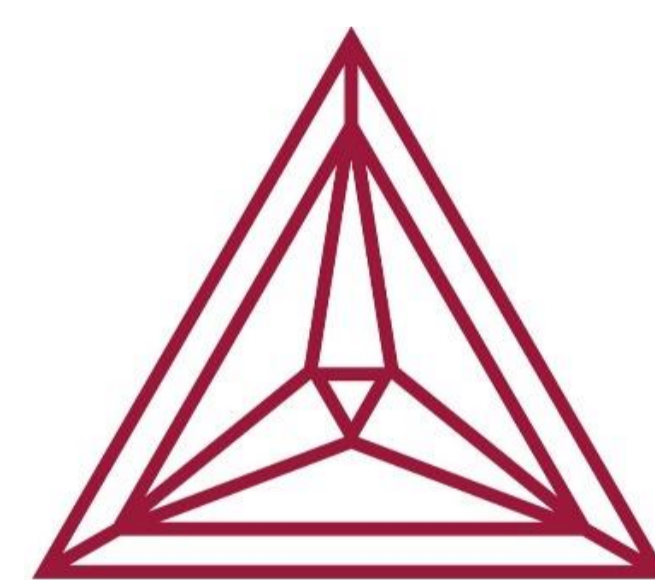
As simulações foram realizadas conforme as condições de processo, no intervalo de 550°C a 950°C para os materiais estudados.

A célula termodinâmica utilizada possui interface esférica com 100µm e formação da fase na extremidade.

Austenita (γ)
Fase sigma (σ)



Célula computacional



TCFE9

Simulação de equilíbrio



MOBFE4

Simulação de Cinética

- ✓ Previsão de $M_{23}C_6$
- ✓ Previsão de Sigma

PREVISÃO DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE EM AÇOS INOXIDÁVEIS USANDO DICTRA®

Aluno: Renata Caroline Mota Santos – renata_cms@hotmail.com

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco – rodrmagn@fei.edu.br

RESULTADOS

AISI 442

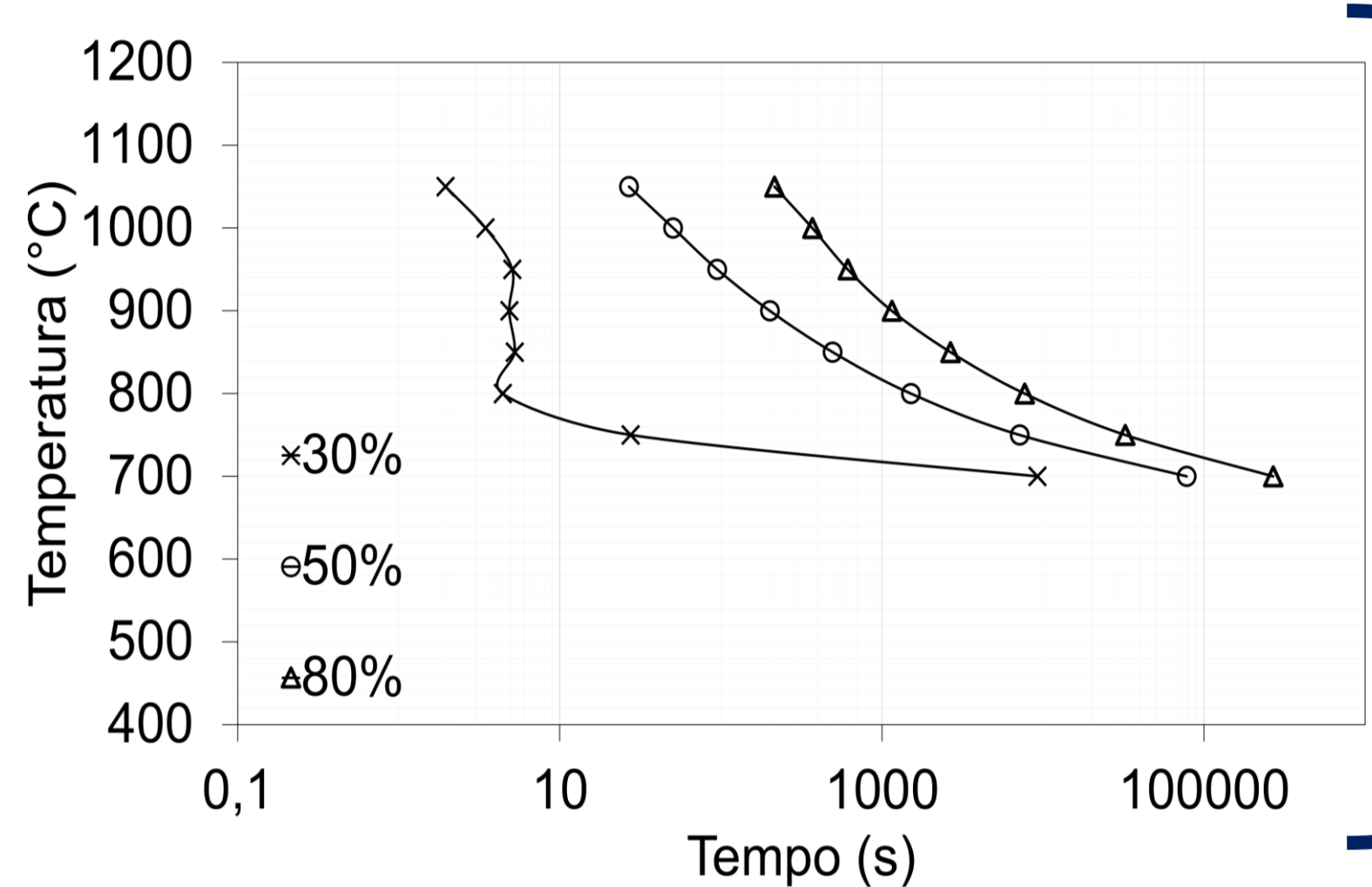
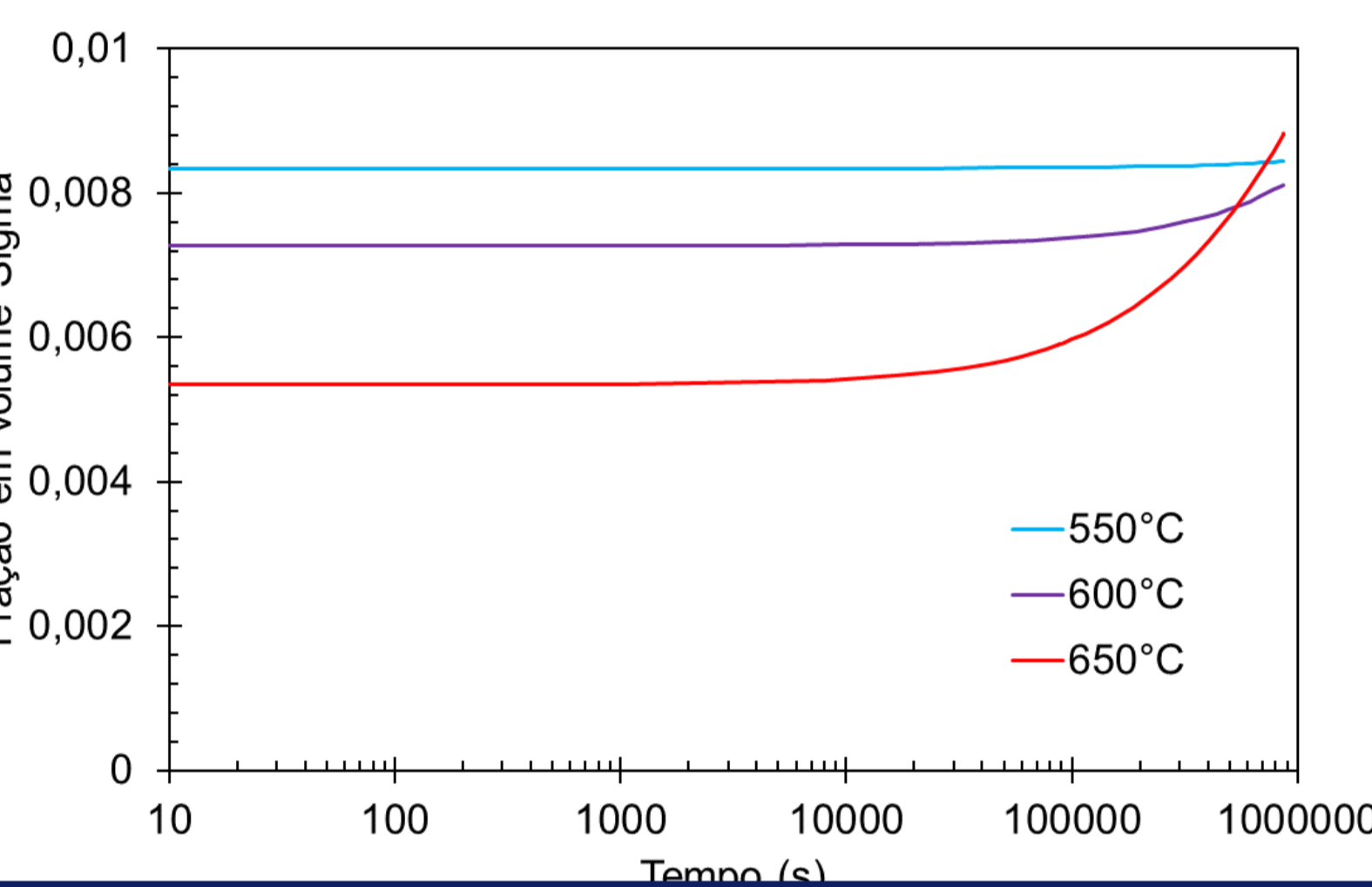


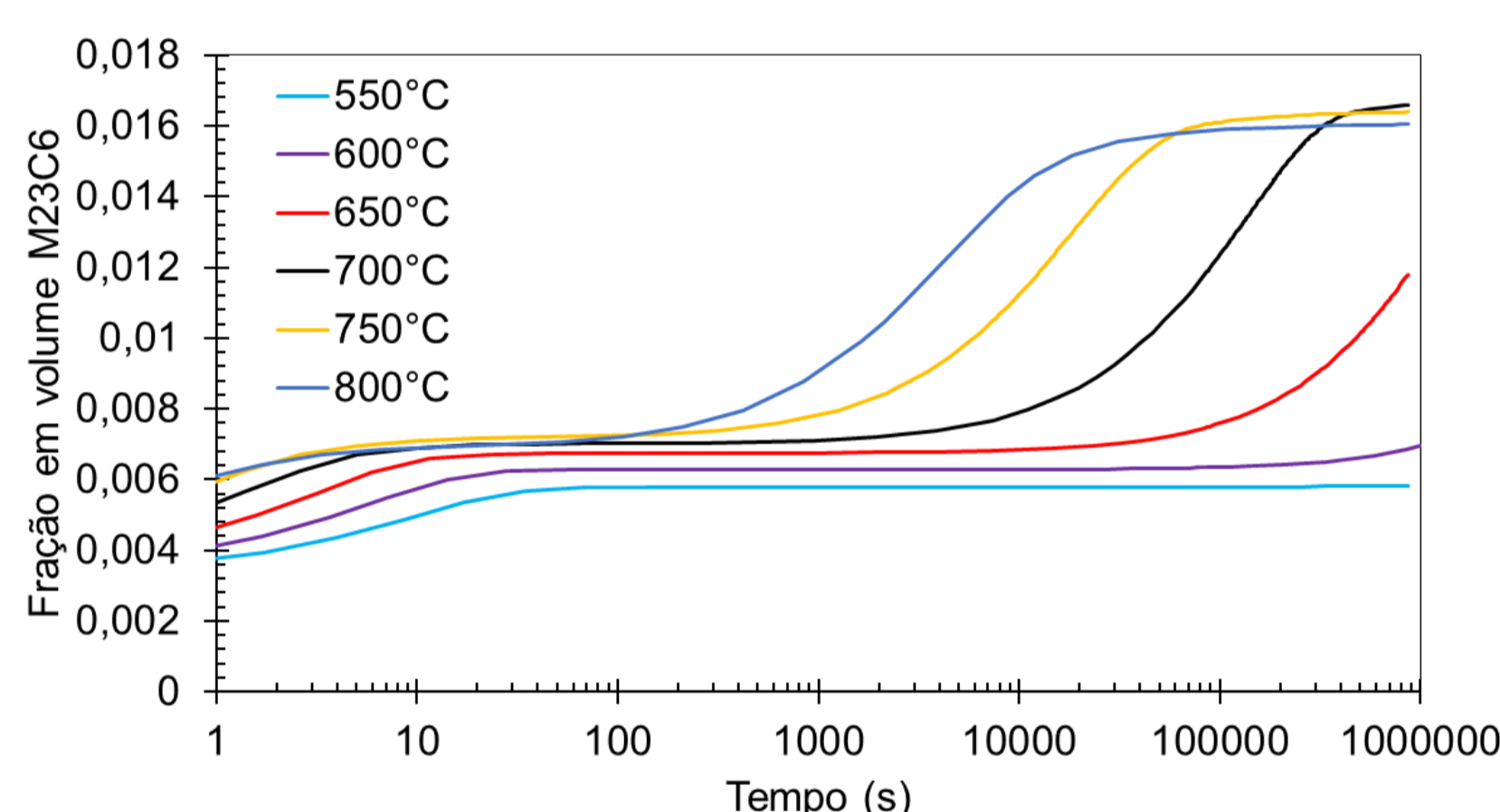
Diagrama TTP para a formação de carbonetos $M_{23}C_6$

- ✓ A formação de carbonetos teve maior cinética de precipitação ao ser comparado com a fase Sigma para mesmo período de tratamento (10 dias)



AISI 405

- ✓ O aumento da temperatura provocou aumento da cinética de precipitação para a formação de carbonetos $M_{23}C_6$



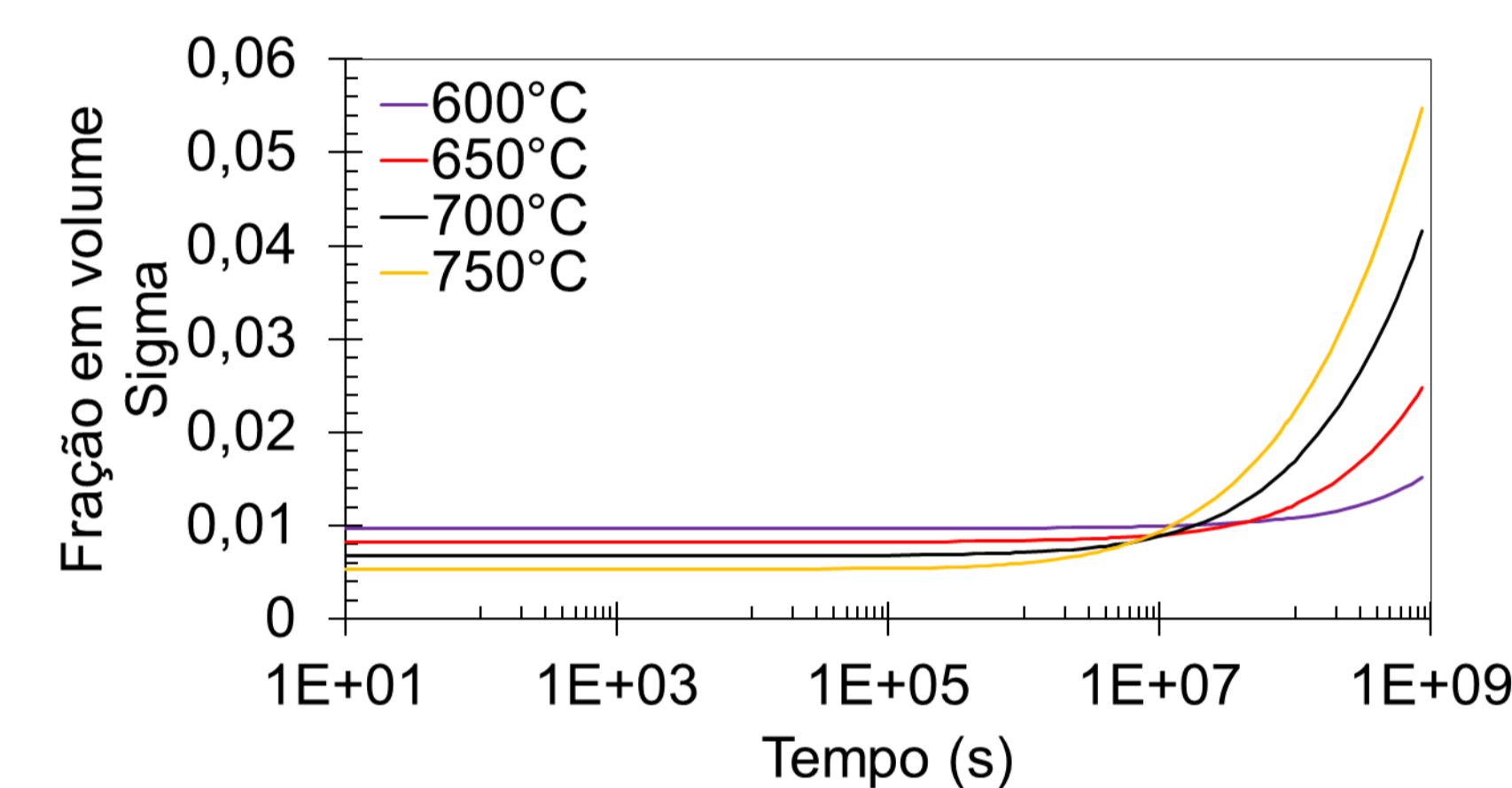
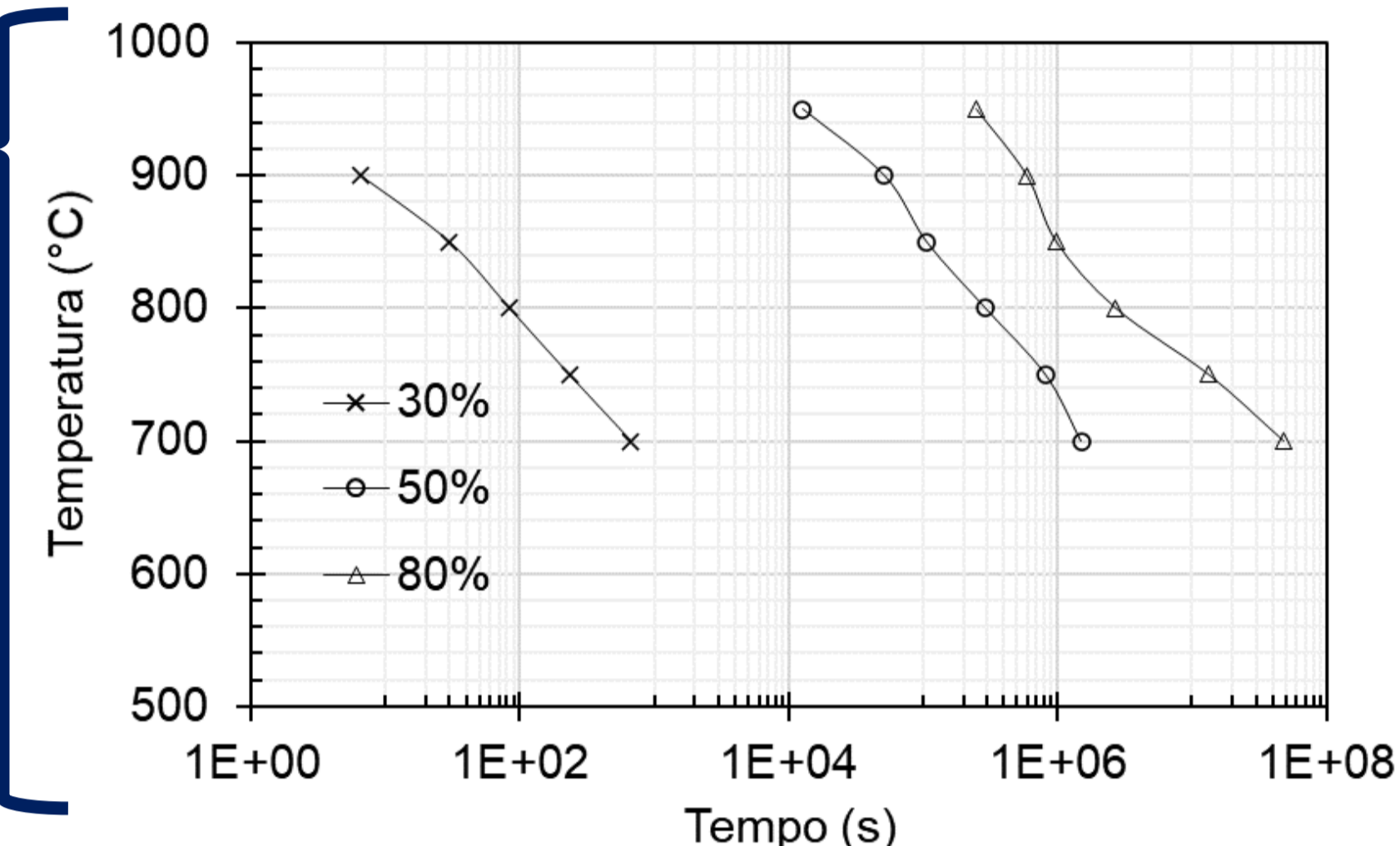
AISI 409

- ✓ A fase encontrada no diagrama de equilíbrio da liga foi TiC

253 MA

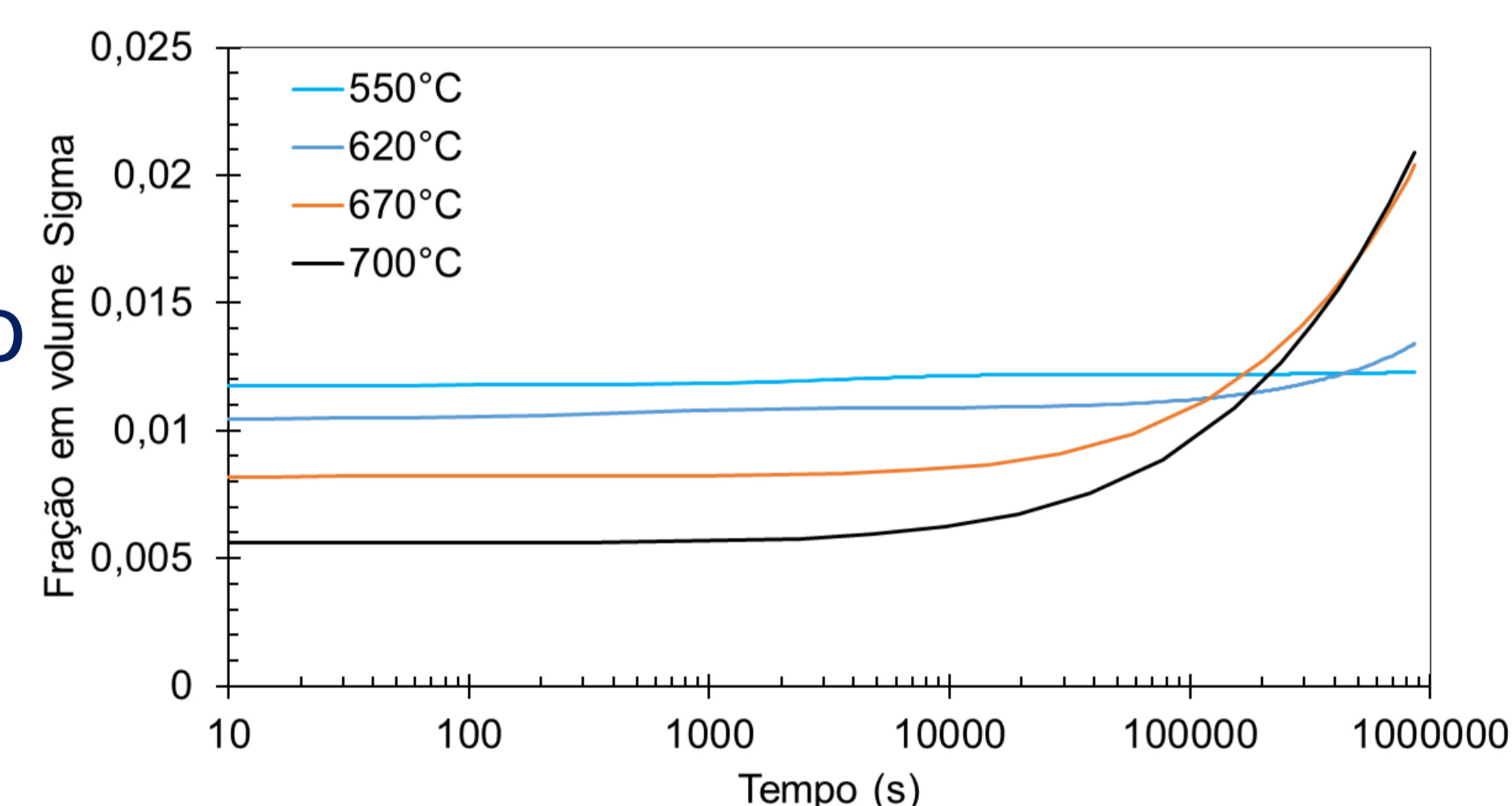
Diagrama TTP para a formação de carbonetos $M_{23}C_6$

- ✓ A formação de carbonetos teve maior cinética de precipitação em relação a fase Sigma para 10.000 dias de tratamento
- ✓ O aumento de temperatura permite maior cinética de precipitação



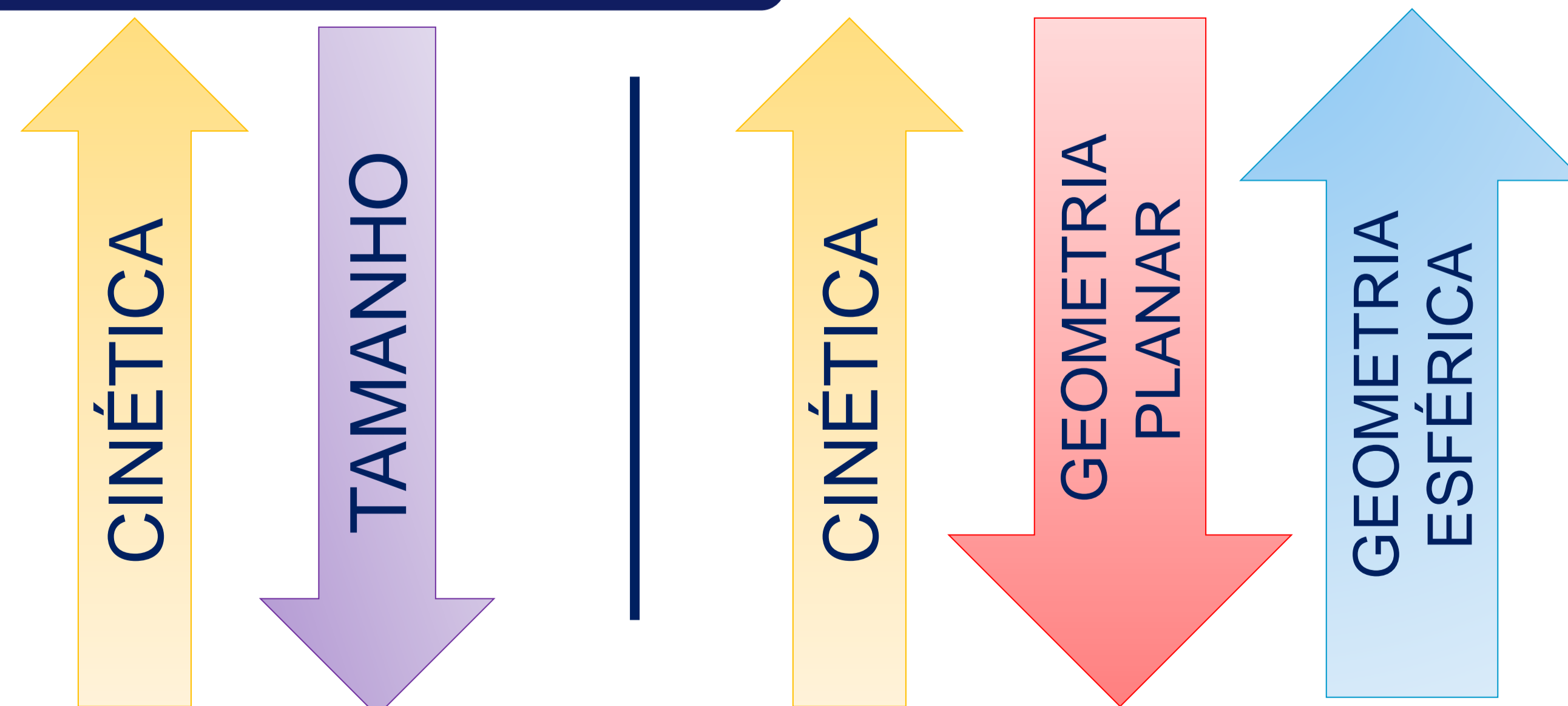
AISI 446

- ✓ O aumento da temperatura provocou aumento da cinética de precipitação para a formação de Sigma



MUDANÇAS NA CÉLULA COMPUTACIONAL

- ✓ Foi simulada a mudança na geometria e tamanho da célula computacional
- ✓ Independente da liga, fase simulada, tempo e temperatura de tratamento, os parâmetros tiveram comportamentos semelhantes



PREVISÃO DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE EM AÇOS INOXIDÁVEIS USANDO DICTRA®

Aluno: Renata Caroline Mota Santos – renata_cms@hotmail.com

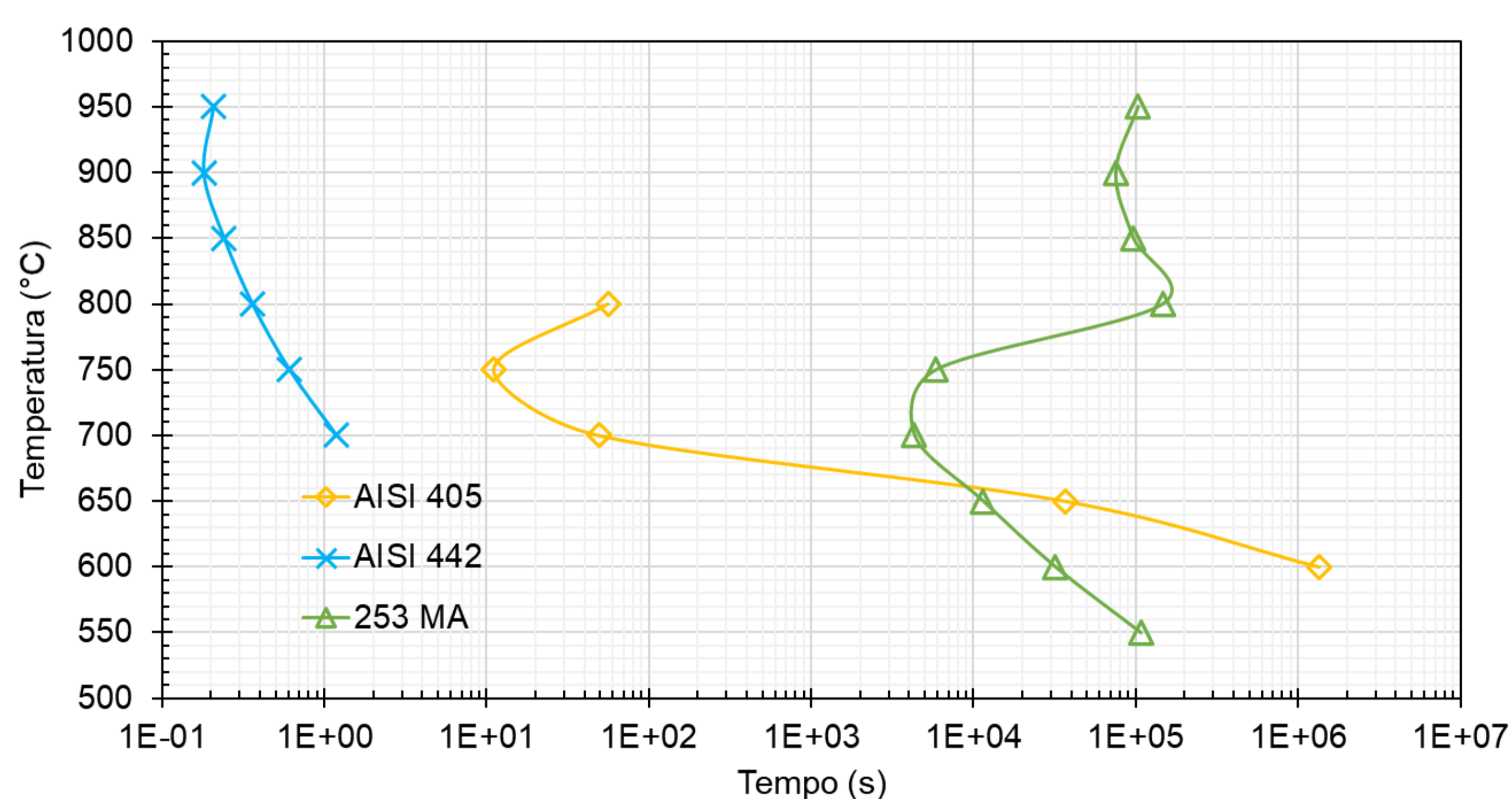
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco – rodrmagn@fei.edu.br

COMPARAÇÃO ENTRE AS LIGAS

$M_{23}C_6$

- ✓ A liga AISI 442 apresentou maior cinética de precipitação ao ser comparada com as demais
- ✓ Para temperaturas inferiores a 650°C, o AISI 405 se mostrou melhor opção para o equipamento. Já para temperaturas superiores, o 253 MA é o material mais adequado devido a baixa cinética
- ✓ O meio em que o material se encontra e esforços da tubulação não foram considerados na análise

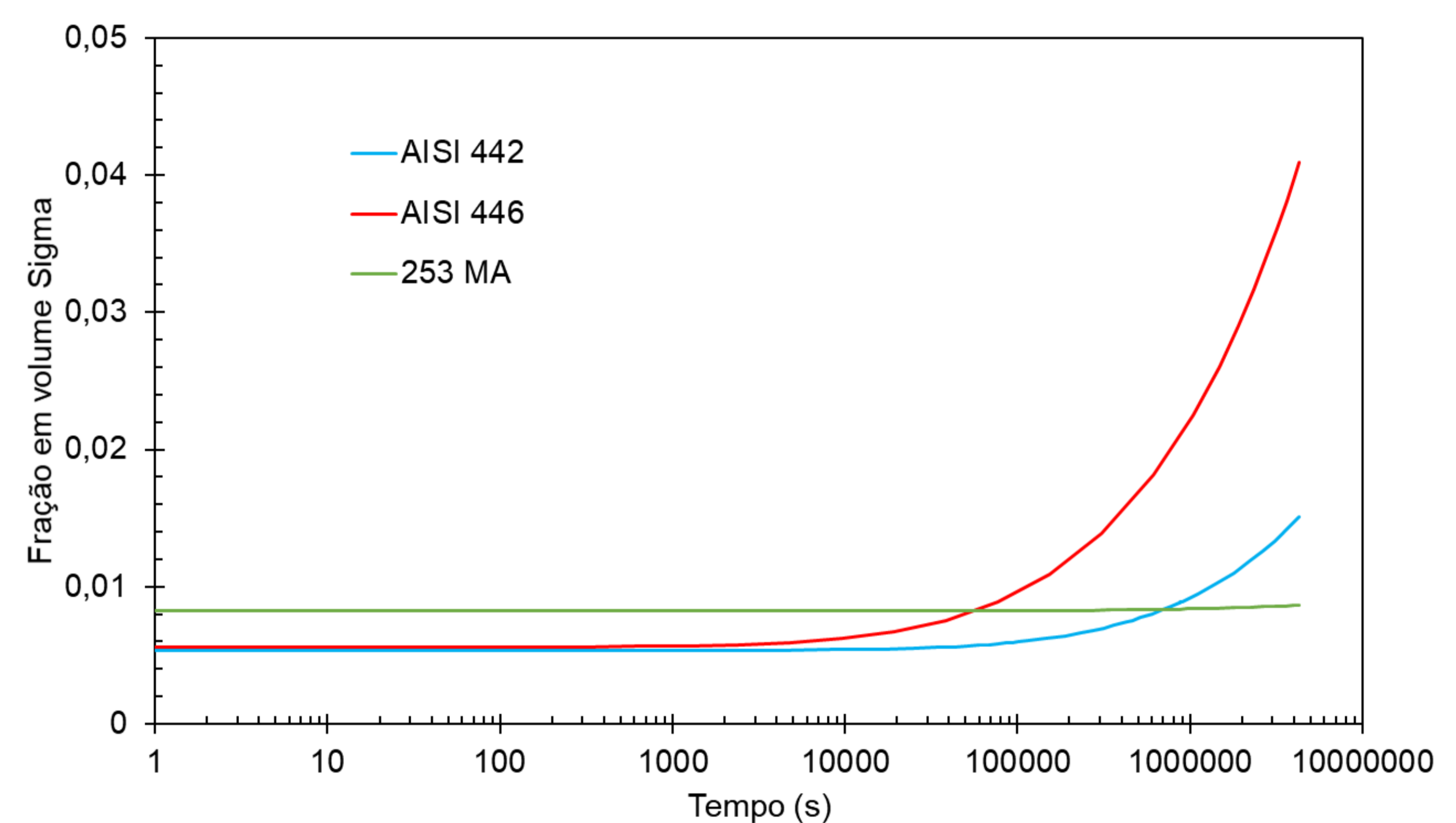
DIAGRAMA TTP DE CARBONETOS $M_{23}C_6$ PARA DIFERENTES LIGAS



FASE SIGMA

- ✓ Apesar do período de simulação ser cinco vezes superior em relação ao tempo das simulações para carbonetos para as ligas ferríticas, não foi possível atingir toda formação da fase
- ✓ As ligas ferríticas (AISI 442 e AISI 446) apresentaram maior cinética de precipitação ao comparar com a austenítica (253 MA), pois possuem maior coeficiente de difusão

CURVAS SIGMOIDAIS DE FORMAÇÃO DE SIGMA A 650°C PARA 50 DIAS DE TRATAMENTO PARA DIFERENTES LIGAS



CONCLUSÕES

- ✓ Conforme as simulações, os carbonetos de cromo apresentam cinética de precipitação mais rápida ao serem comparados com a fase Sigma;
- ✓ O software pode ser usado como auxílio para avaliar desempenho de materiais a longo prazo, mas ressalta-se a importância dos testes experimentais para sua validação;
- ✓ É necessária a calibração do tamanho da célula computacional e geometria pois sua mudança provoca significativa mudança na cinética;
- ✓ A liga 253 MA apresentou melhor comportamento em relação a formação das fases quando comparada a outras ligas;
- ✓ A simulação abordou apenas a formação das fases, assim se faz necessário demais estudos para a verificação de outras condições do equipamento (meio e esforços mecânicos);