

# Simulação Numérica dos Efeitos Térmicos Resultantes de um Incêndio Localizado

Nuno Caiado, Paulo Piloto, Carlos Balsa  
nunocaiado85@gmail.com, ppiloto@ipb.pt, balsa@ipb.pt

## Introdução

Faz-se a simulação dos efeitos térmicos, resultantes do incêndio de um carro, sobre a laje em betão situada no teto de um compartimento fechado.

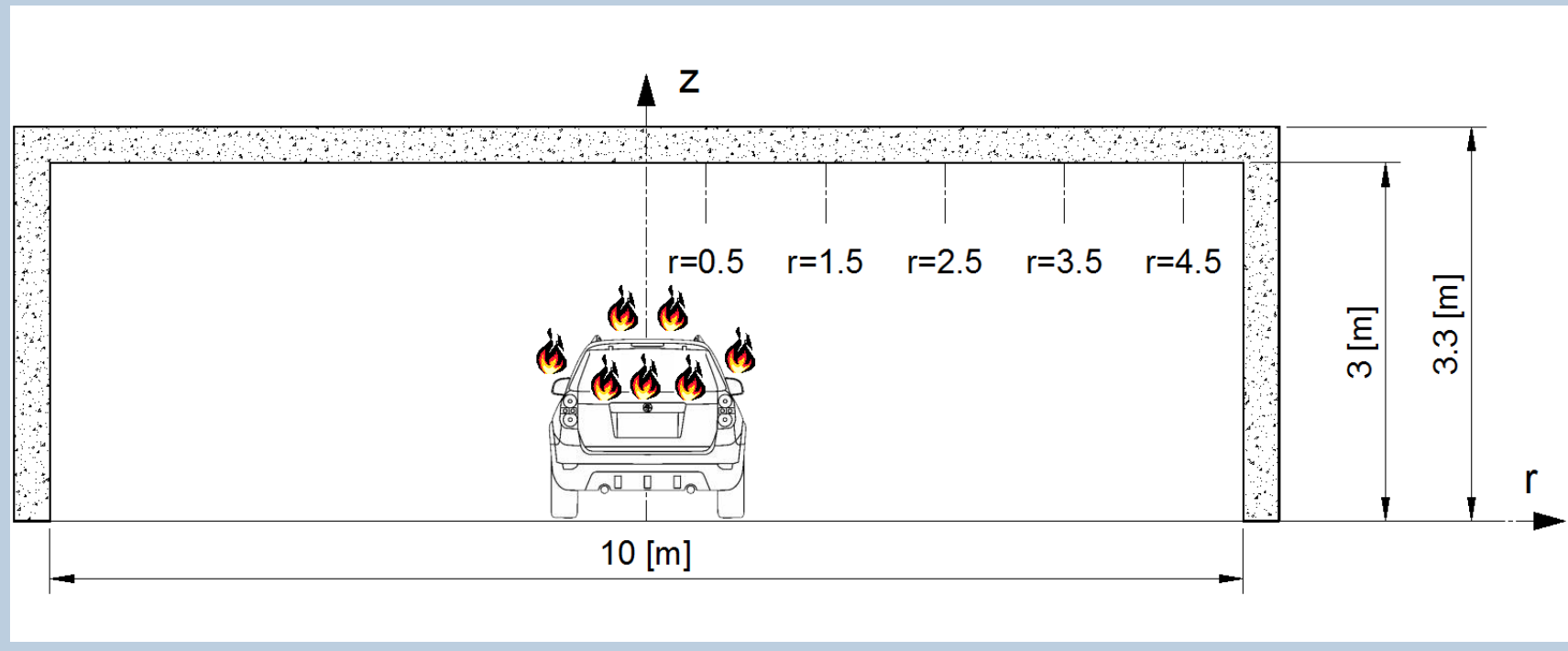


Figure 1: Incêndio em compartimento fechado

## Metodologia

Resolve-se numericamente a equação de transferência de calor não linear

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

em que  $T$  representa a temperatura e  $t$  o tempo. Esta equação é não linear porque a condutividade térmica  $k$ , a massa volumica  $\rho$  e o valor específico  $C$  do betão variam em função da temperatura.

A equação (1) é resolvida por diferenças finitas através de um esquema implícito. O algoritmo foi implementado computacionalmente através do software Octave com recurso a matrizes diagonais esparsas de forma a melhorar a eficiência computacional.

As condições da fronteira inferior da laje são dadas pelos fluxos de calor libertados pelo incêndio, calculados pelo método de Gasemi [1]. Este método é indicado para o caso das chamas atingirem o teto do compartimento.

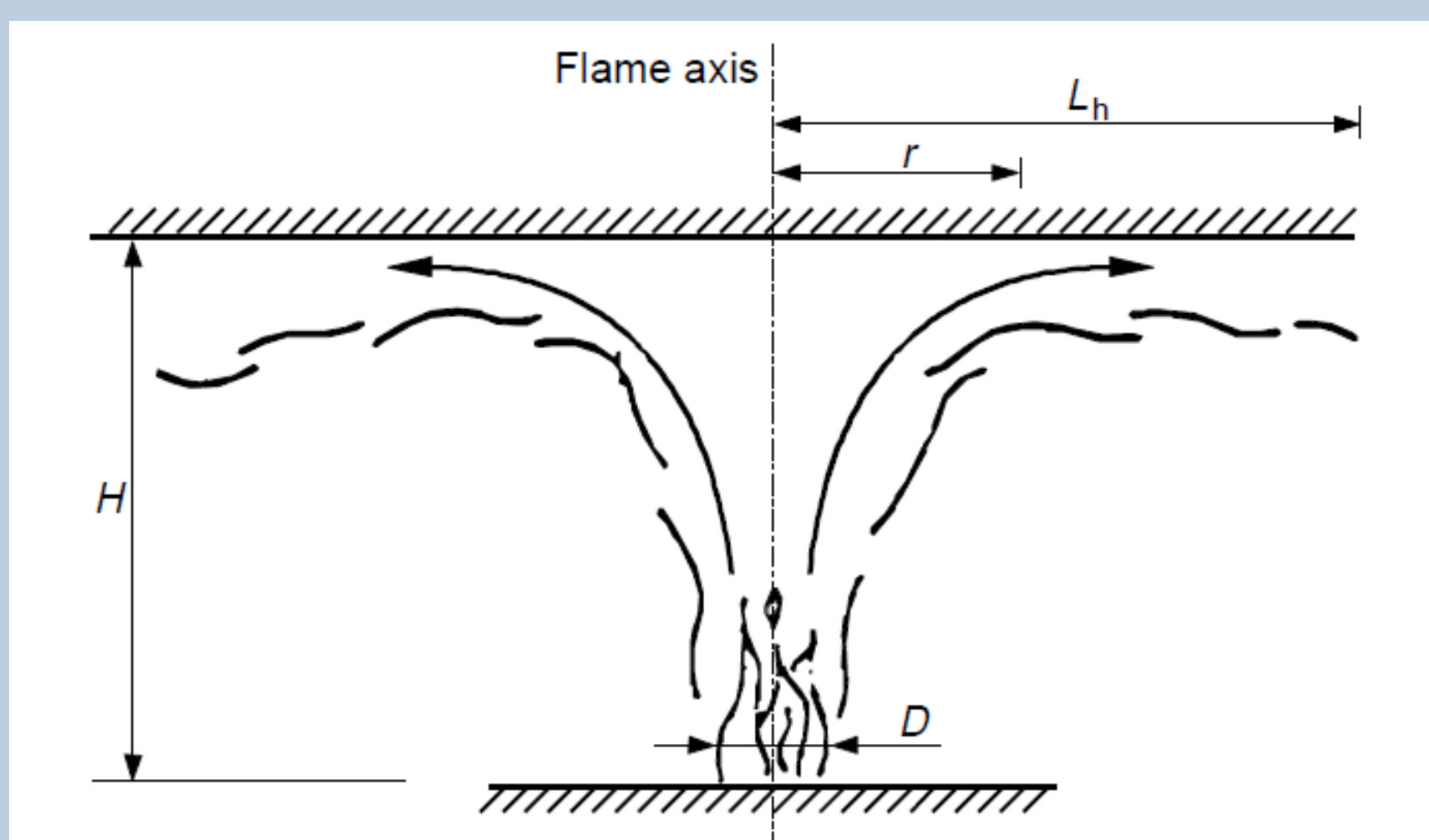


Figure 2: Incêndio em compartimento fechado

Nas restantes fronteiras considera-se que havia perda de calor por radiação.

## Conclusões

Problema muito sensível à dimensão da malha na direção vertical devido ao elevado gradiente de temperatura existente na superfície exposta às chamas e os pontos vizinhos. Temperaturas na parte de baixo da laje podem ser aproximadas pelo polinómio de Bernstein com um numero reduzido de pontos.

## Referencias

- [1] CEN Comité Europeu de Normalização. En1992-1-2 - eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão - parte 1-2: Regras gerais - verificação da resistência ao fogo, 2014.
- [2] L. Piegl and W. Tiller. Curve and surface basics, 1995.

## Propagação do Calor na Direção do Eixo da Chama

Começou-se por efetuar a simulação unidimensional da propagação do calor no interior da laje em betão na direção vertical (eixo  $Z$  na figura 1).

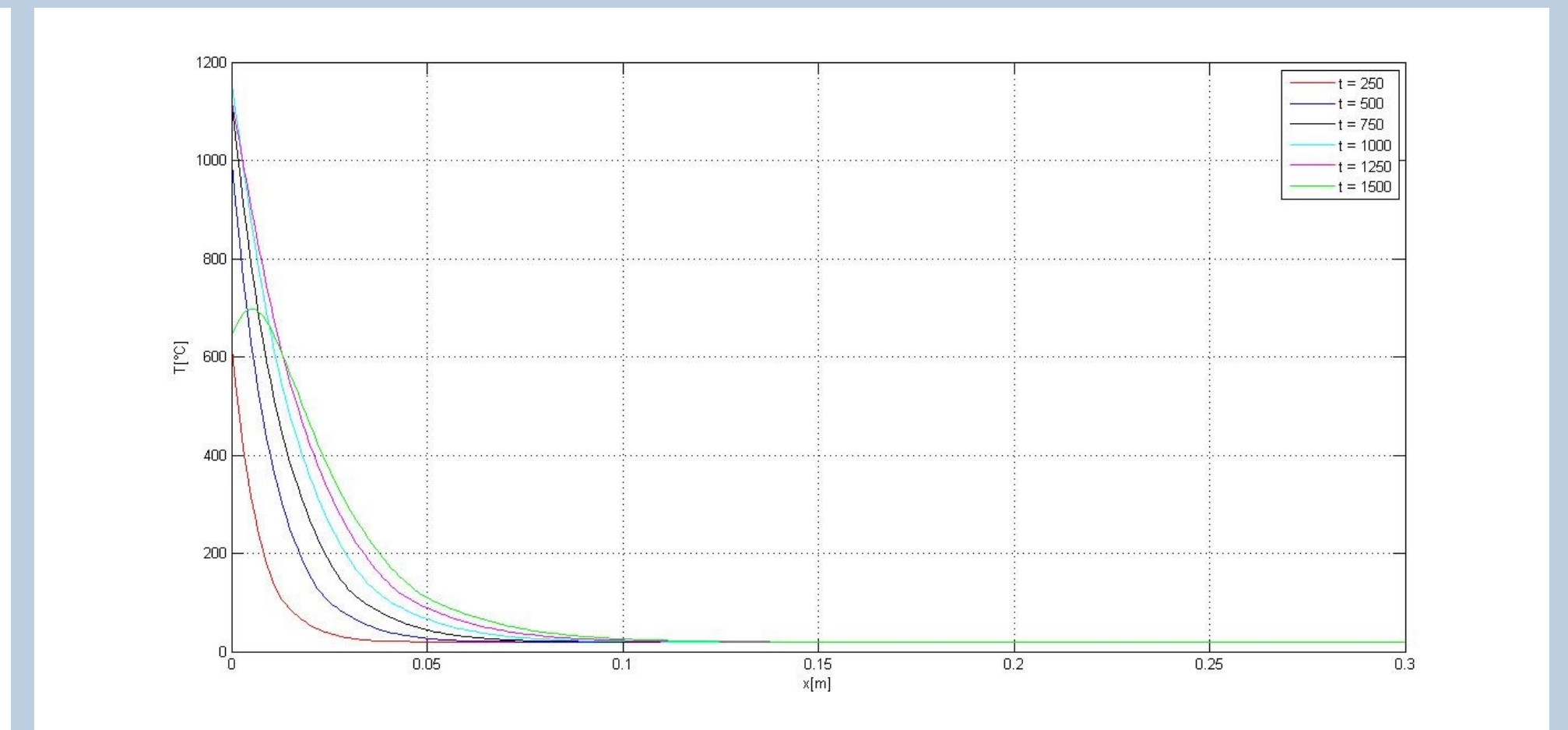
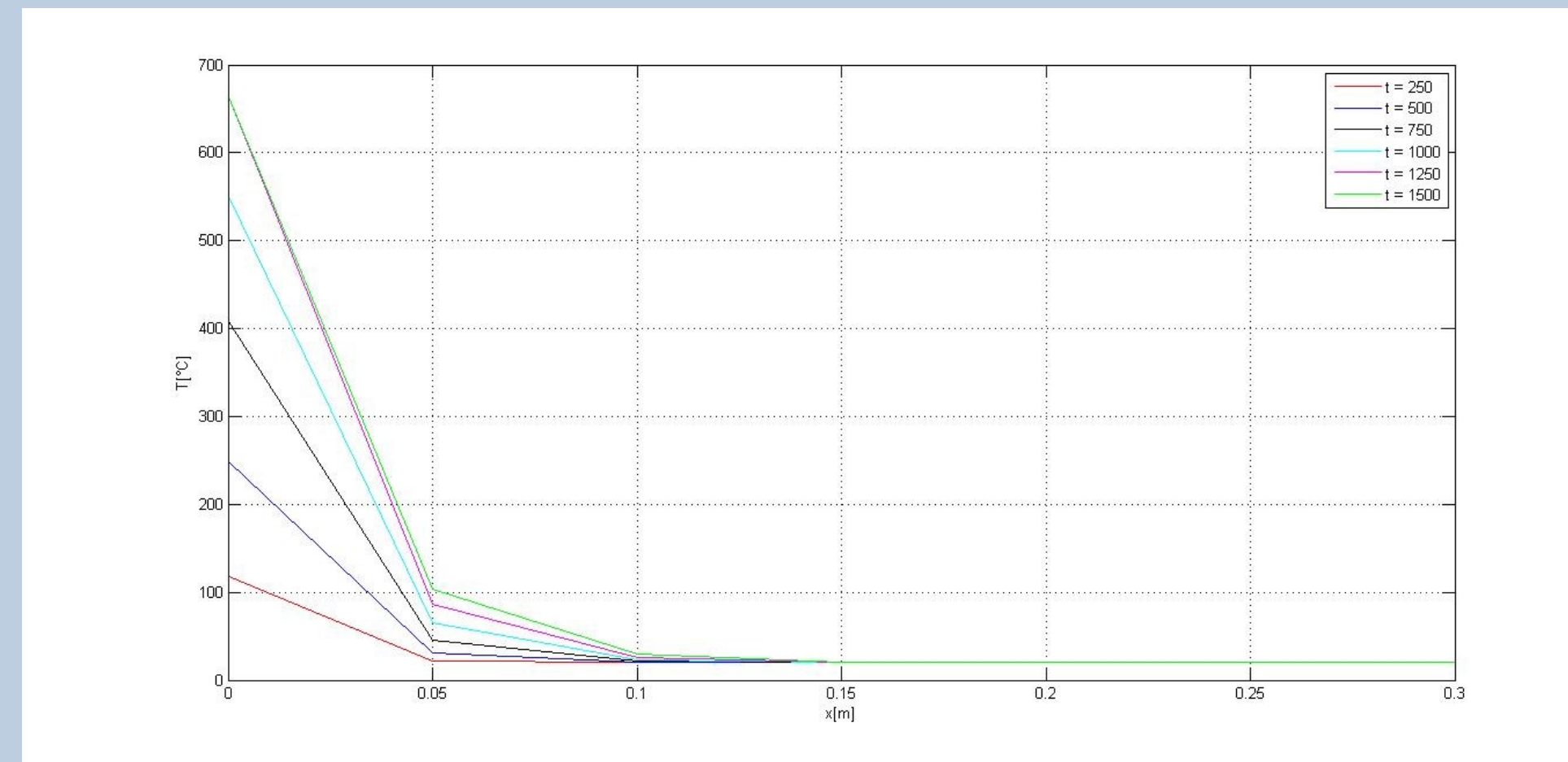


Figure 3: Temperaturas no interior da laje calculadas com dimensão da malha  $\Delta x = 0,5 \times 10^{-2}$  (esquerda) e  $\Delta x = 0,5 \times 10^{-3}$  (direita)

Dimensão da malha influencia os resultados. Mais refinada é a malha mais altas as temperaturas obtidas.

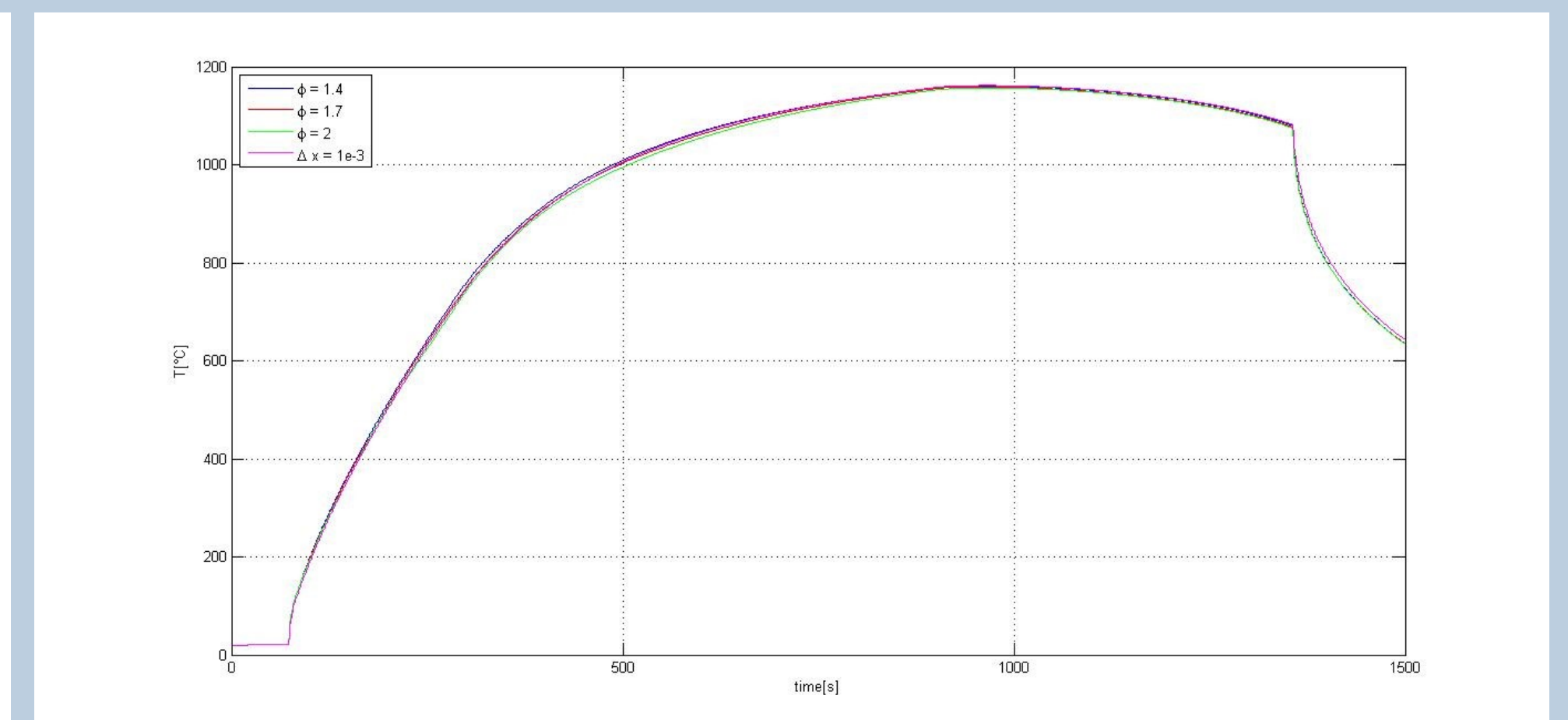
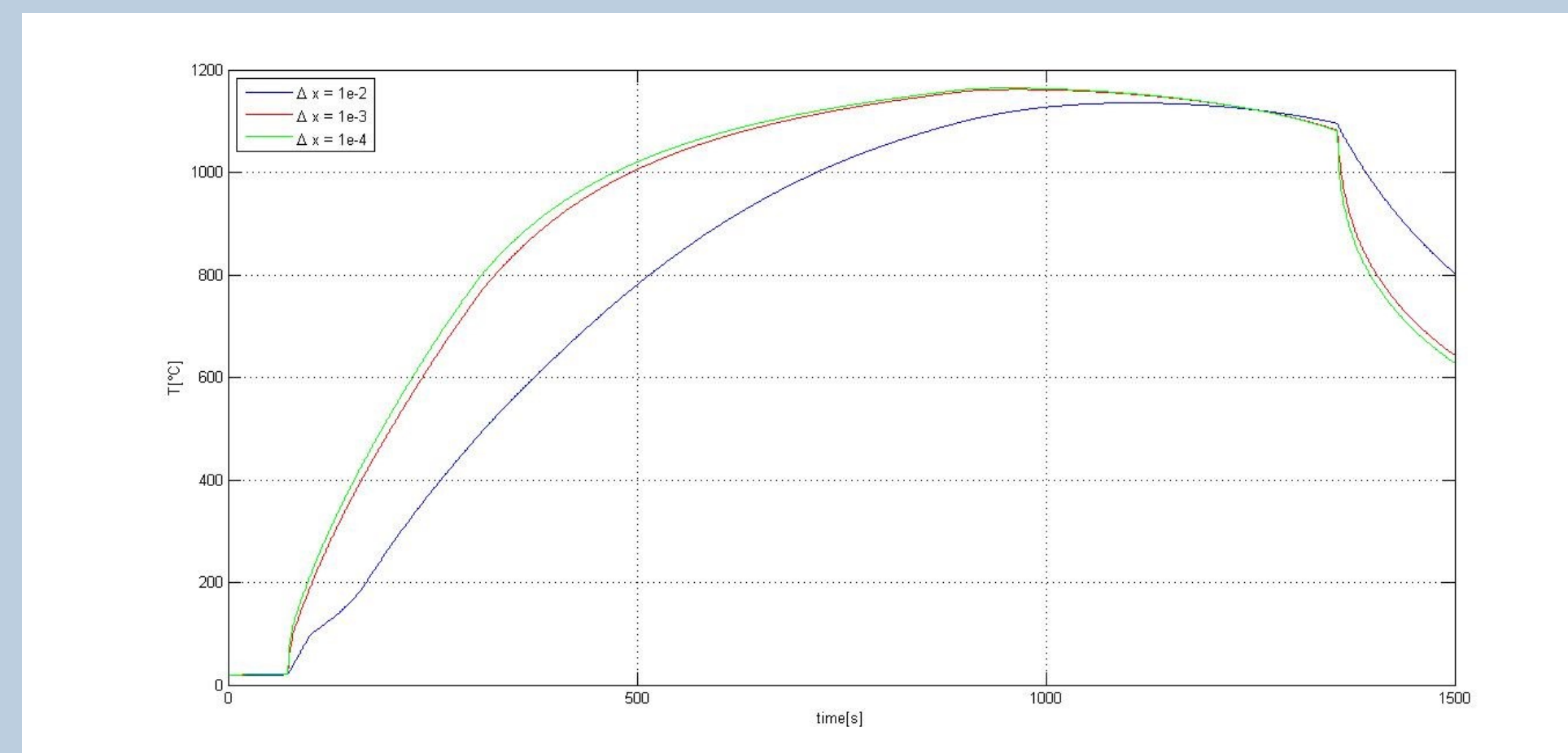


Figure 4: Temperaturas na extremidade inferior da laje calculadas com dimensão da malha constante (esquerda) e variável (direita)

Malha com dimensão crescente, de baixo para cima, de acordo com a proporção  $\Delta x_{i+1} = 1,4 \Delta x_i$  permite estabilizar as soluções.

## Simulação a Duas Dimensões

A distribuição das temperaturas no interior da laje em betão, obtida através da resolução da equação (1) por diferenças finitas, não depende da dimensão horizontal da malha.

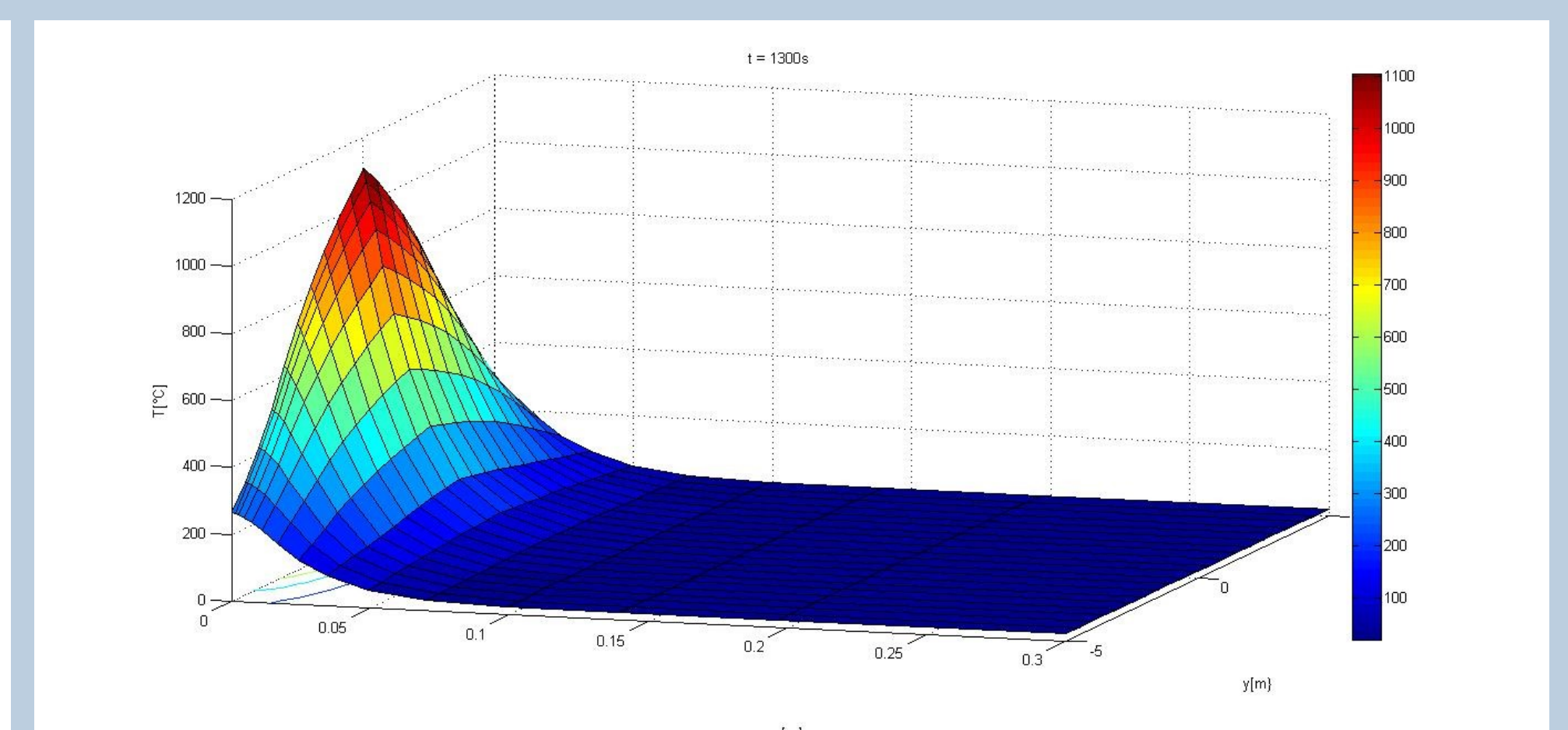
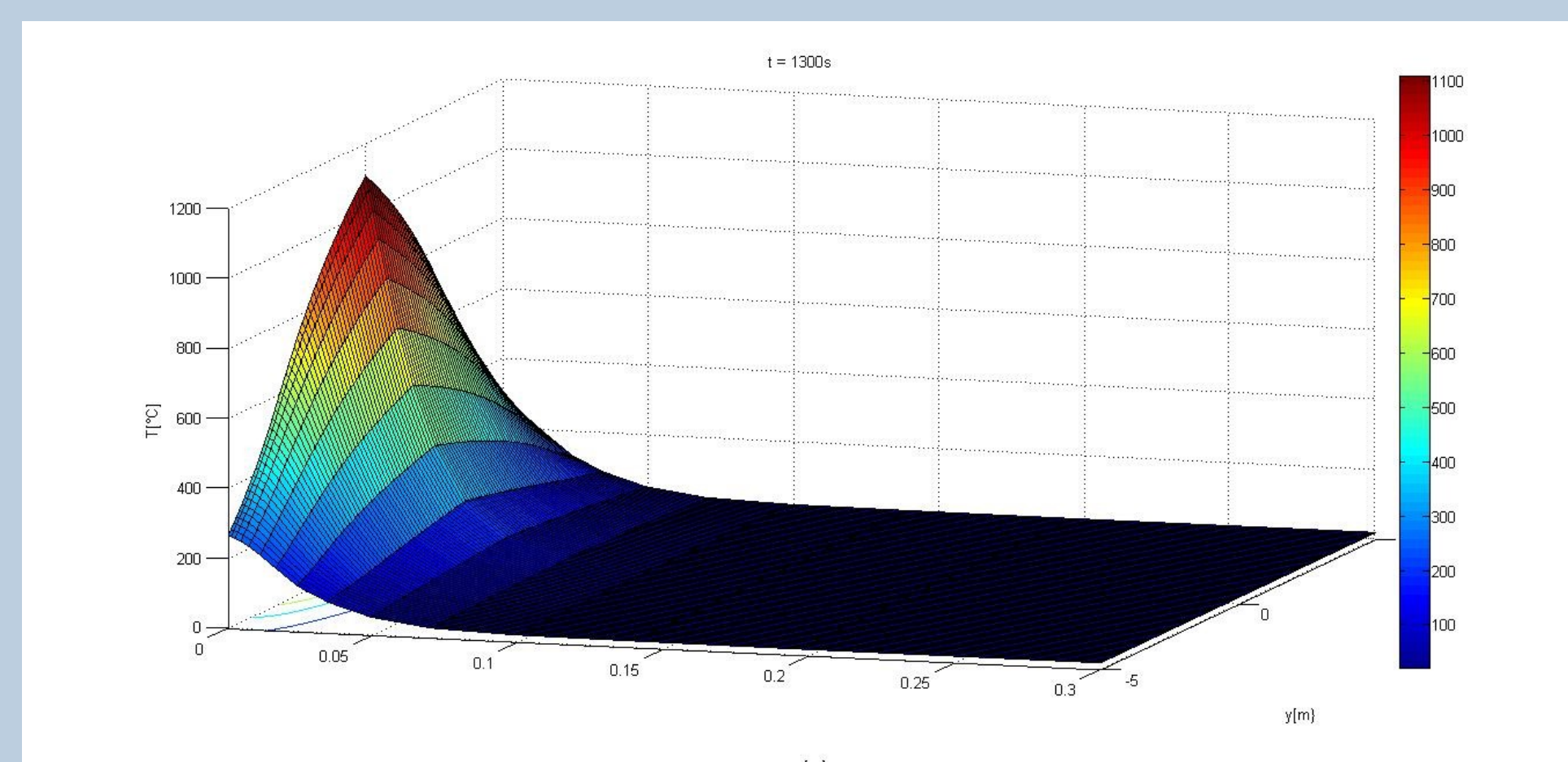


Figure 5: Distribuição das temperaturas no interior da laje obtida com  $\Delta y = 0,1$  (esquerda) e  $\Delta y = 0,5$  (esquerda) no instante  $t = 1300$  segundos

As temperaturas são muito altas apenas junto à extremidade inferior da laje mas devido à baixa condutividade térmica do betão mantêm-se baixas no interior e na extremidade superior.

## Modelo de Cálculo Simplificado para Análise 2D

As temperaturas no interior da laje podem ser aproximadas pelo polinómio de Bernstein

$$P(t) = \sum_{k=0}^n P_k B_n^k(t), \quad \forall t \in [0, 1] \quad (2)$$

obtido a partir das curvas de Bezier [2]

$$B_n^k(t) = \binom{n}{k} t^k (1-t)^{n-k}, \quad \forall t \in [0, 1].$$

20 Pontos de Aproximação

