

APÊNDICE C – Ferramentas de auxílio para cálculos simplificados

C.1 Isotermas de seções usuais de elementos de concreto armado

Características do concreto:

Densidade normal: $\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3$;

Umidade livre: $U = 1,5\%$;

$$\text{Condutividade térmica: } \lambda_{c,\theta} = 1,36 - 0,136 \cdot \frac{\theta}{100} + 0,0057 \cdot \left(\frac{\theta}{100} \right)^2,$$

onde: $\lambda_{c,\theta}$ = condutividade térmica do concreto de densidade normal, em função da temperatura $\theta [\text{W/m/}^\circ\text{C}]$;

θ = temperatura elevada do concreto $[^\circ\text{C}]$.

Calor específico:

$$c_{p,\theta} = 900, \quad \text{se } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

$$c_{p,\theta} = c_{p,\text{pico}}, \quad \text{se } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 115^\circ\text{C}$$

$$c_{p,\theta} = 900 + (\theta - 100) \quad \text{se } 115^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C}$$

$$c_{p,\theta} = 900 + \frac{\theta}{2}, \quad \text{se } 200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$c_{p,\theta} = 1100, \quad \text{se } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

onde: $c_{p,\theta}$ = calor específico por unidade de massa do concreto de densidade normal em função da temperatura $\theta [\text{J/kg/}^\circ\text{C}]$;

$c_{p,\text{pico}}$ = valor de pico do calor específico por unidade de massa do concreto, em função da umidade de equilíbrio do concreto e da temperatura $\theta [\text{J/kg/}^\circ\text{C}]$.

Valor de pico do calor específico ($U = 1,5\%$): $c_{p,\text{pico}} = 1470 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$.

C.1.1 Lajes maciças

A Figura C.1 é válida para lajes maciças aquecidas em apenas uma superfície, para as espessuras:

- 30 min $\rightarrow h \geq 50$ mm;
- 60 min $\rightarrow h \geq 80$ mm;
- 90 min $\rightarrow h \geq 100$ mm;
- 120 min $\rightarrow h > 100$ mm.

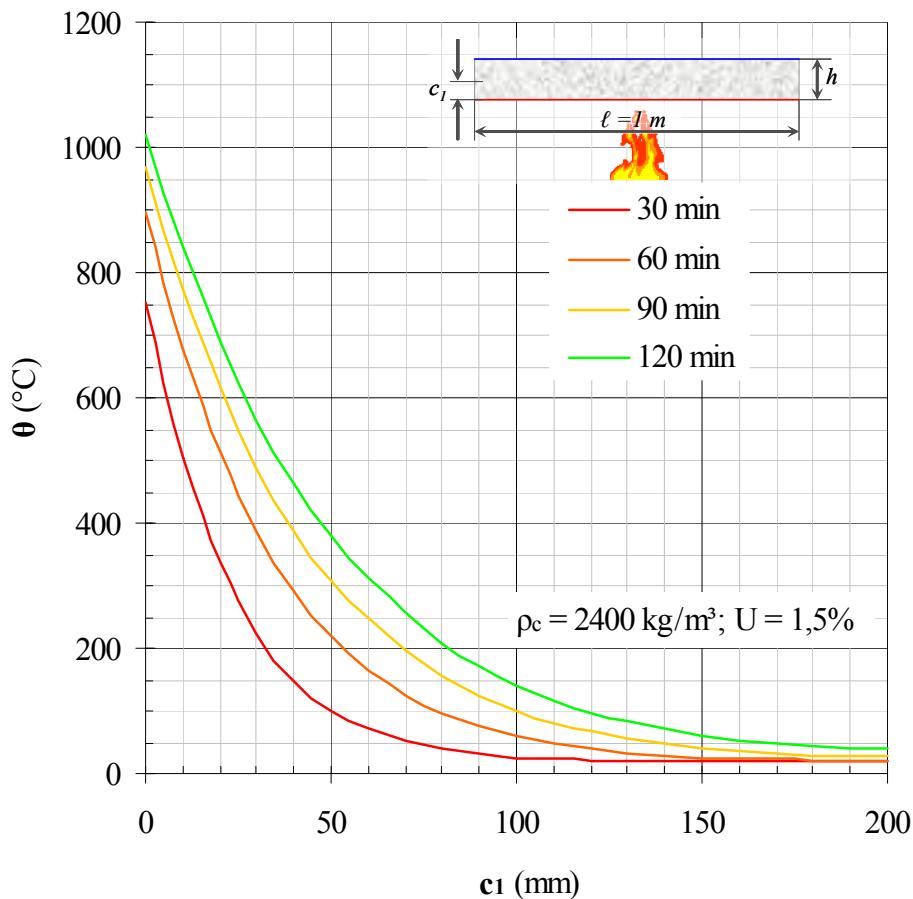
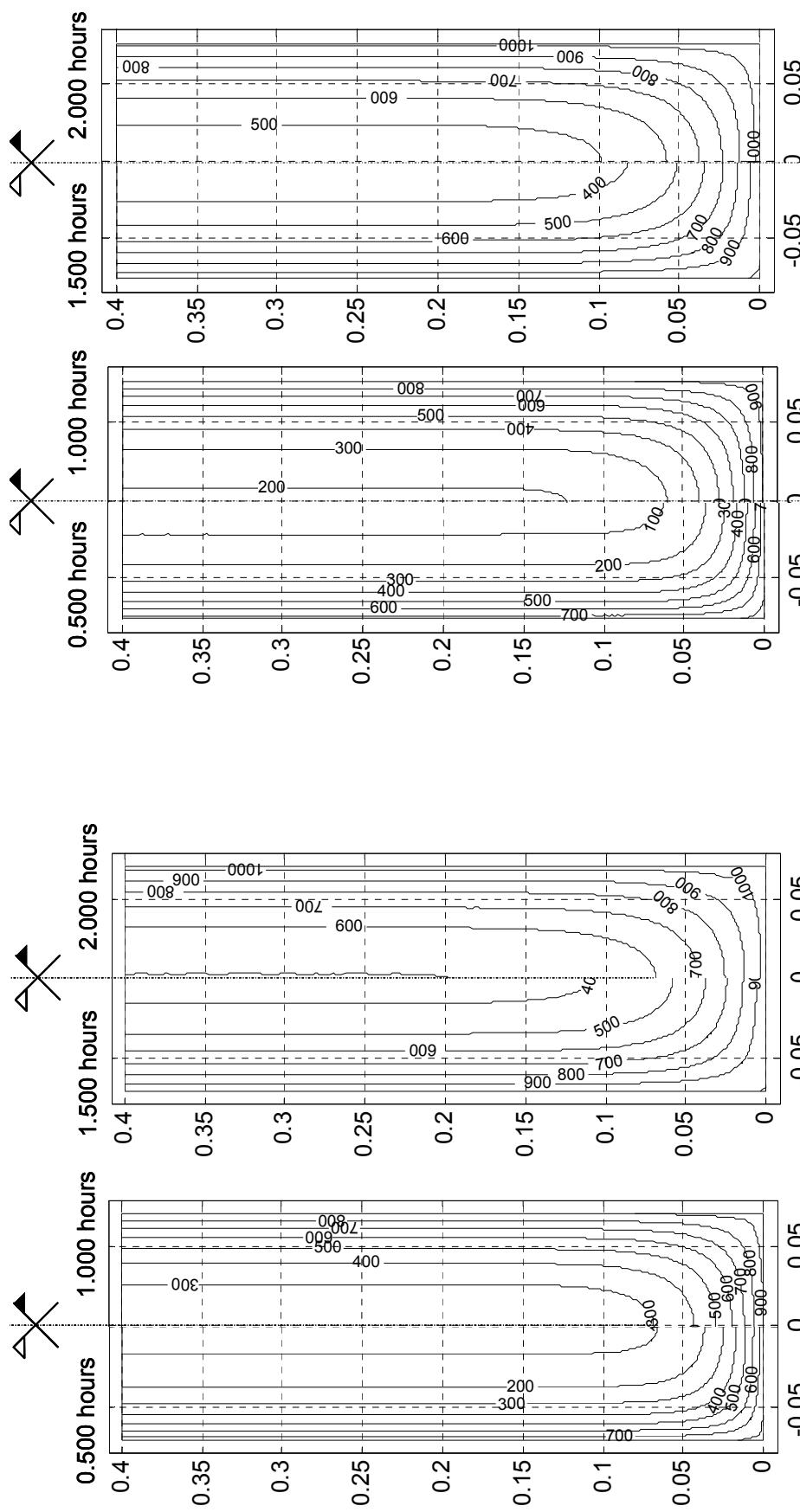


Figura C.1: Isotermas para seções de lajes maciças em função da distância “ c_1 ” em relação à superfície exposta ao calor.

C.1.2 Vigas



$b_w = 15\text{ cm e } h \geq 25\text{ cm}$

Figura C.2: Isotermas para seção de largura $b_w = 14\text{ cm e } b_w = 15\text{ cm}$, aquecida nas 3 superfícies.

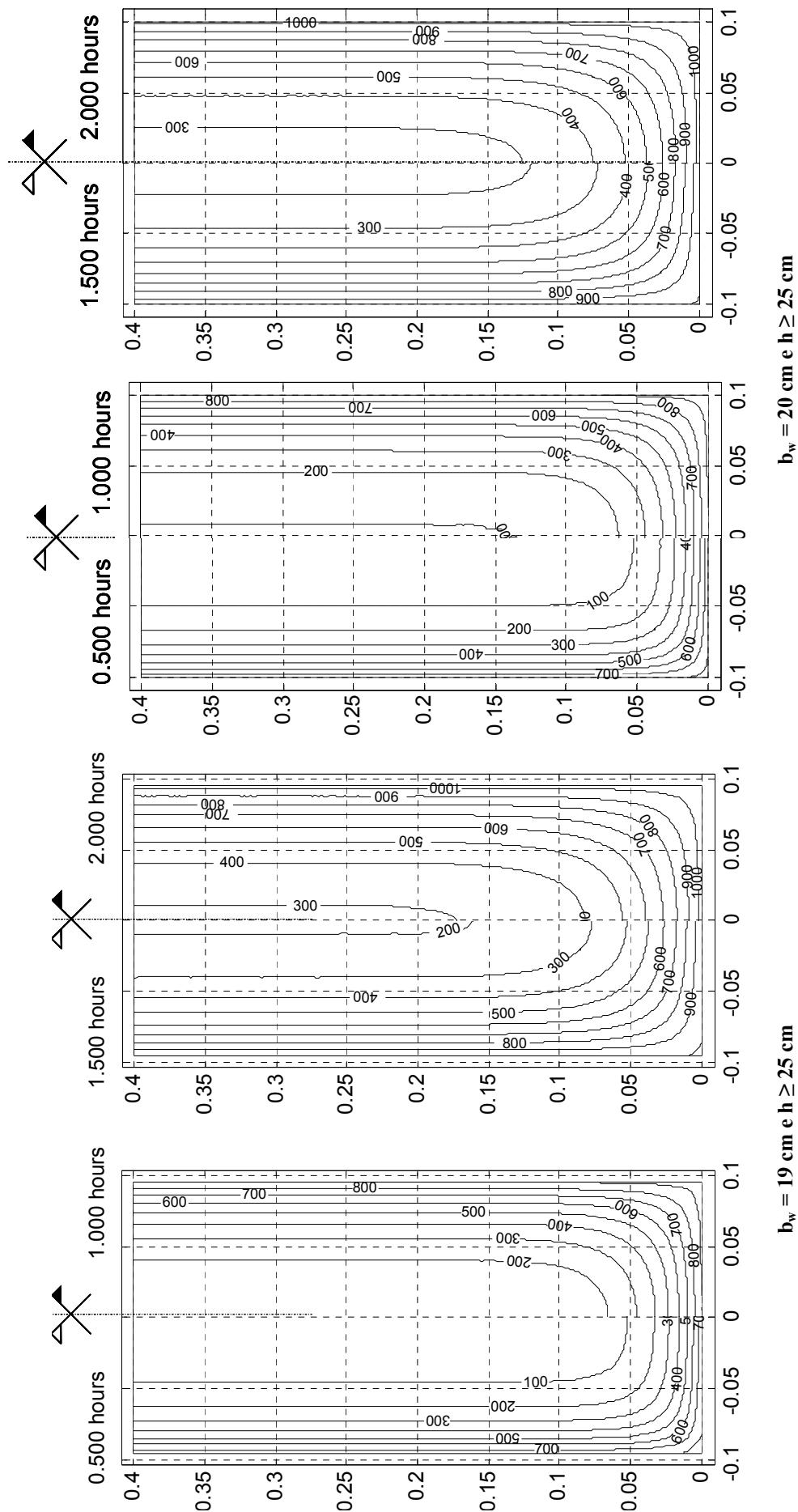


Figura C.3: Isotermas para seção de largura $b_w = 20 \text{ cm}$ e $h \geq 25 \text{ cm}$, aquecida nas 3 superfícies.

$b_w = 19 \text{ cm}$ e $h \geq 25 \text{ cm}$

C.1.3 Pilares

C.1.3.1 Aquecimento em 4 faces

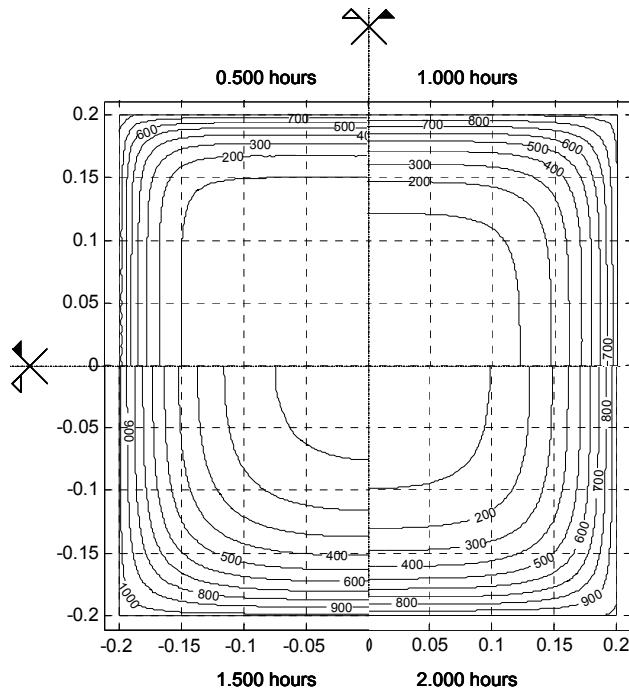


Figura C.4: Isotermas para seção 40 cm x 40 cm aquecida em 4 faces.

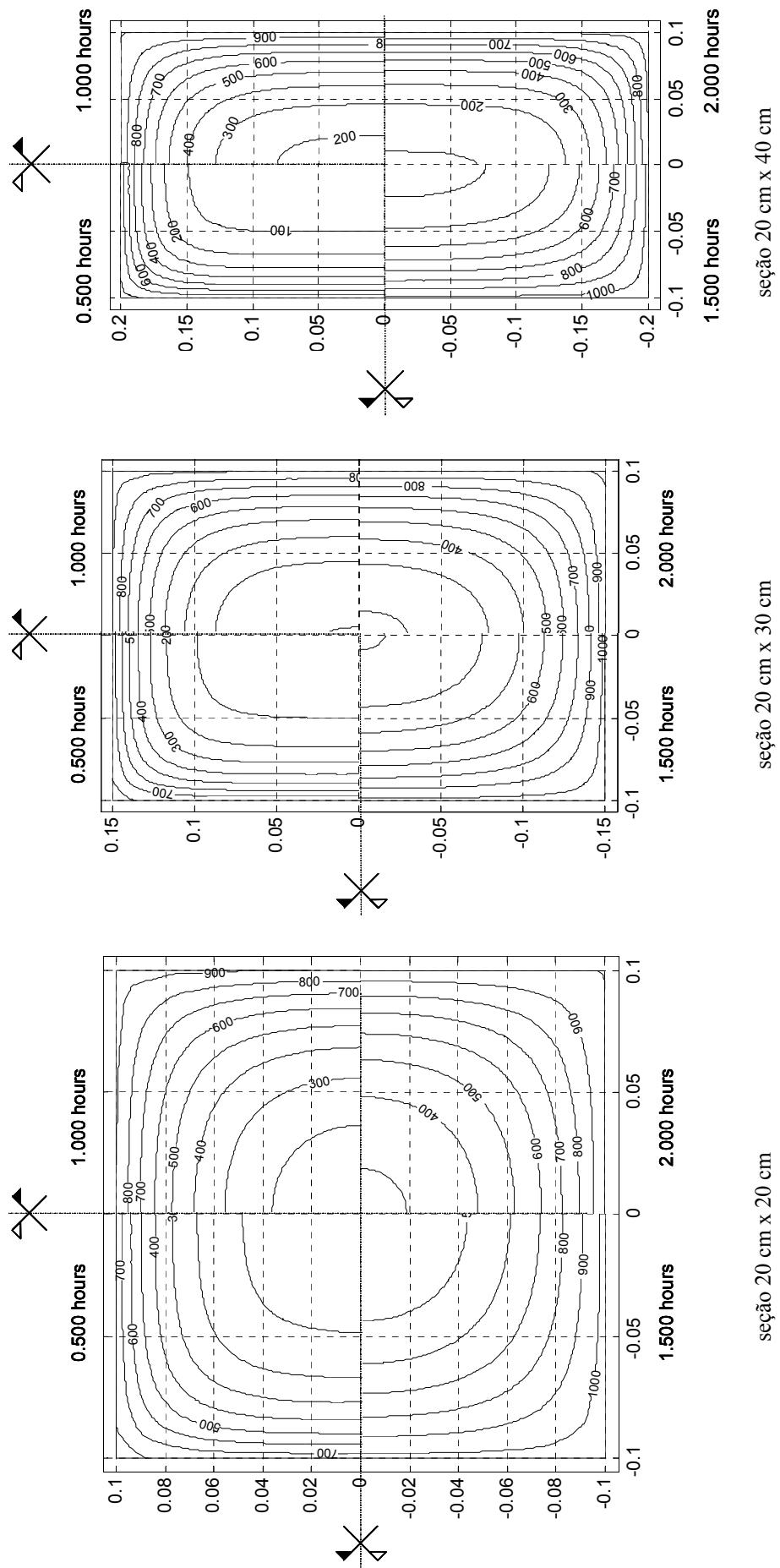


Figura C.5: Isotermas para seções aquecidas nas 4 faces.

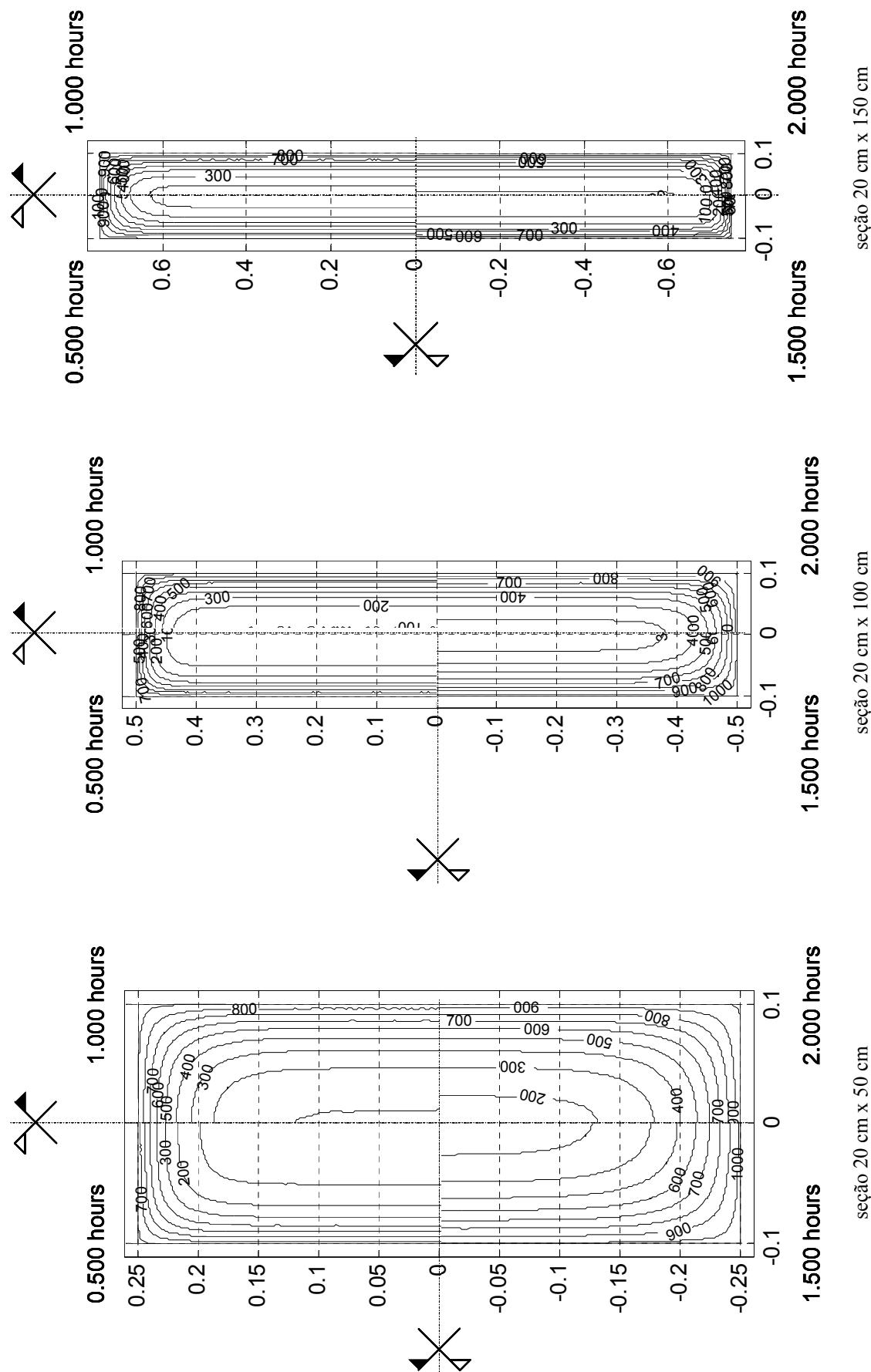


Figura C.6: Isotermas para seções aquecidas nas 4 faces.

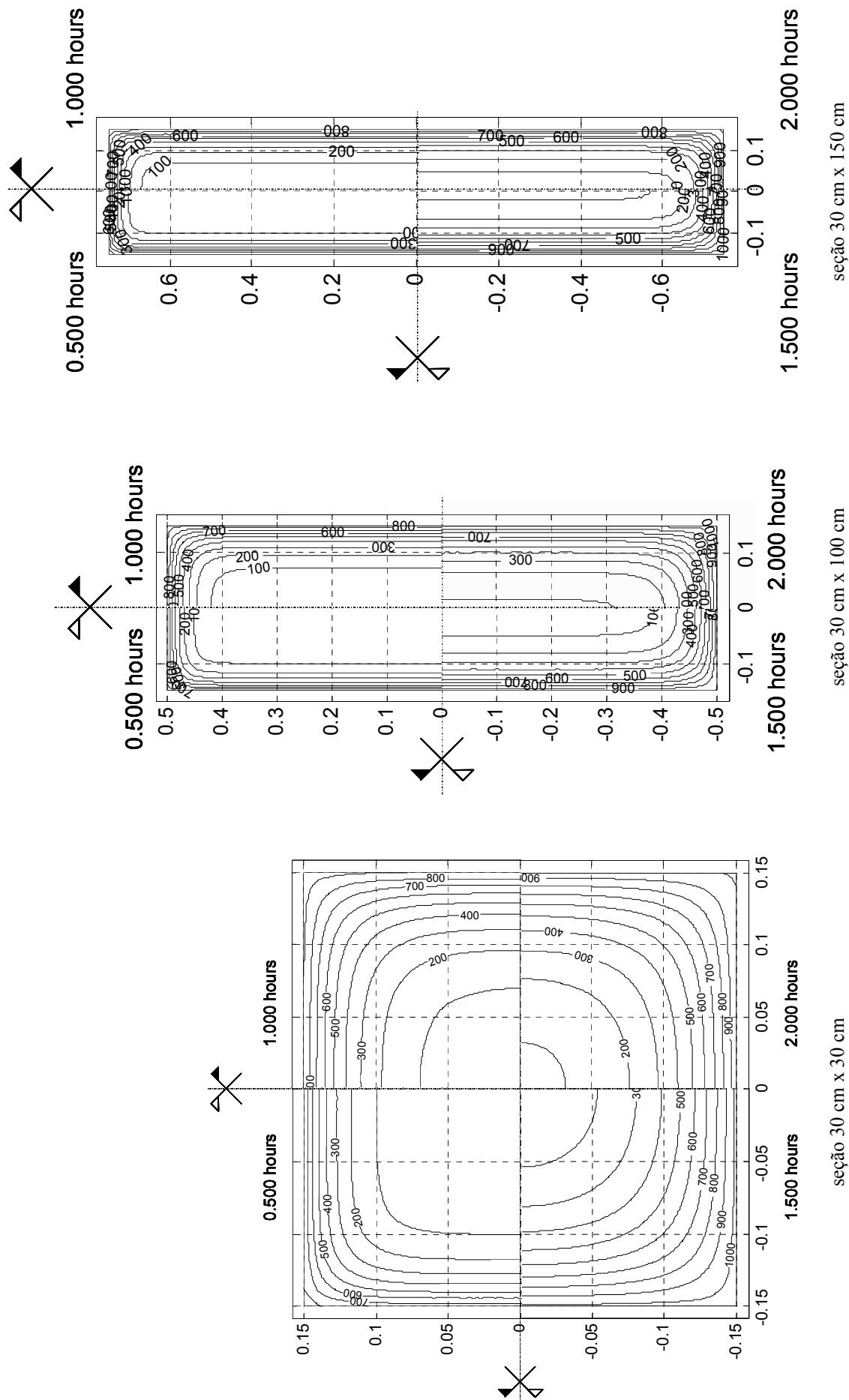


Figura C.7: Isotermas para seções aquecidas nas 4 faces.

C.1.3.2 Aquecimento em 2 faces

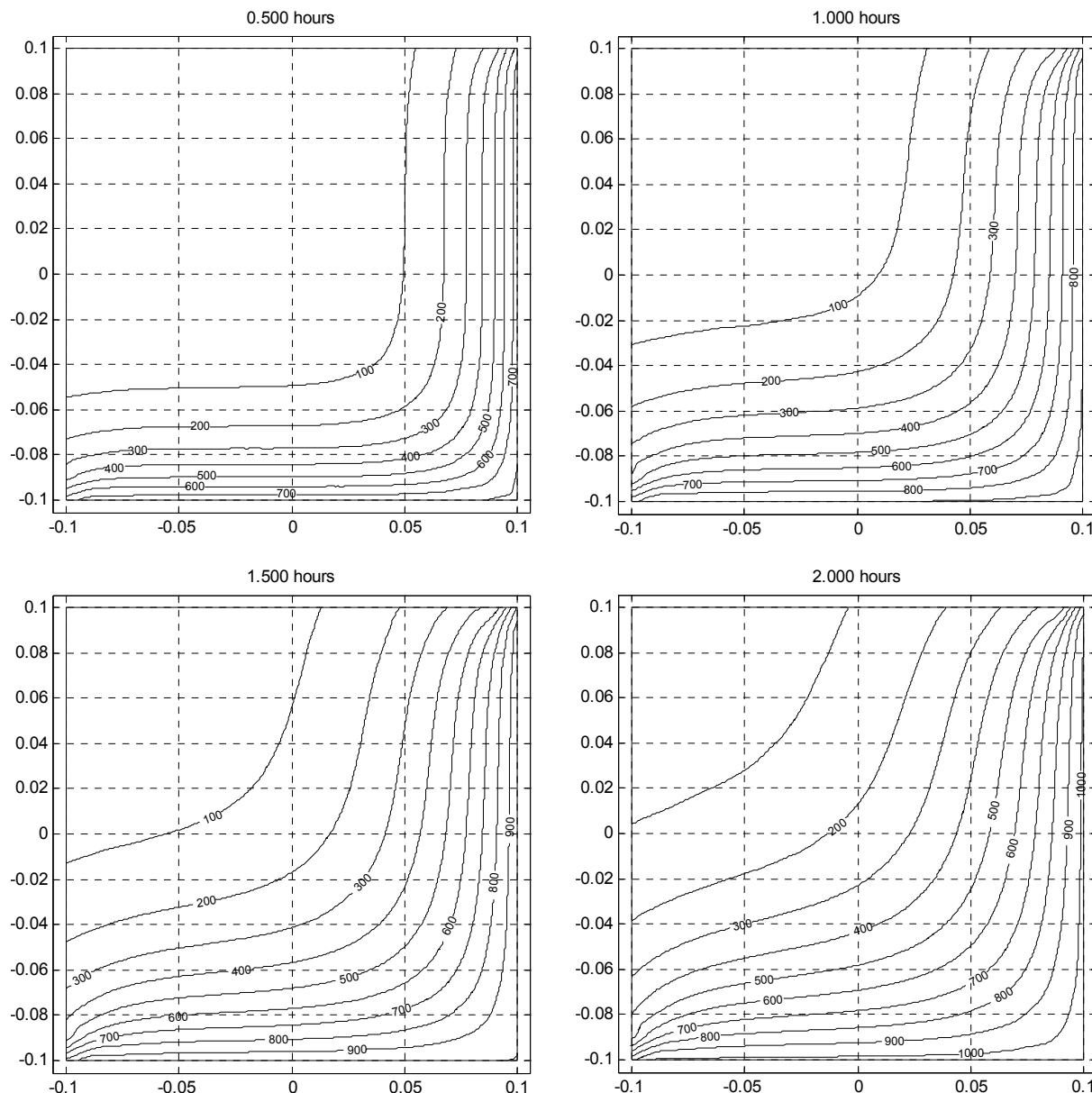


Figura C.8: Isothermas para seção 20 cm x 20 cm aquecida em 2 faces.

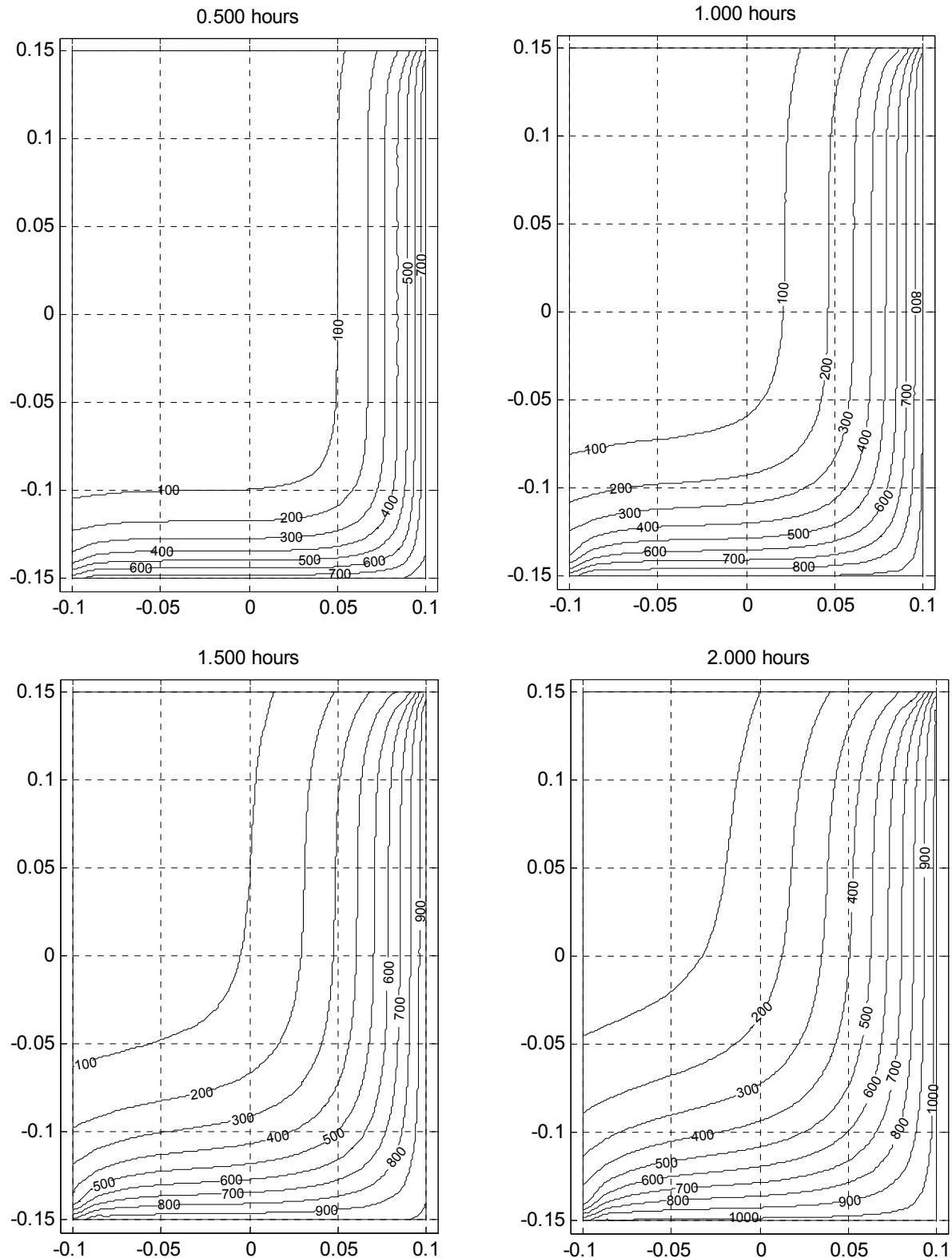


Figura C.9: Isotermas para seção 20 cm x 30 cm aquecida em 2 faces.

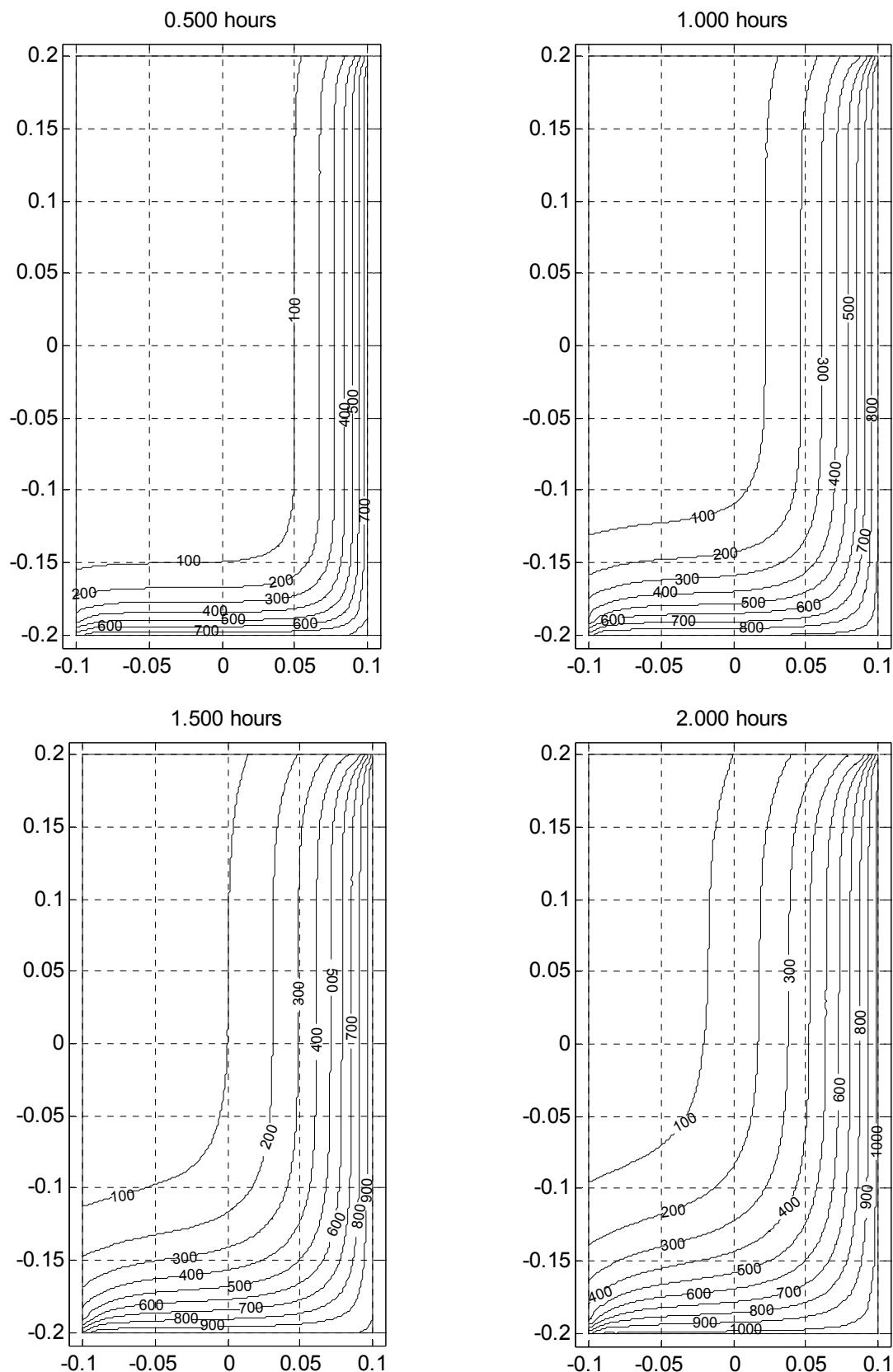


Figura C.10: Isotermas para seção 20 cm x 40 cm aquecida em 2 faces.

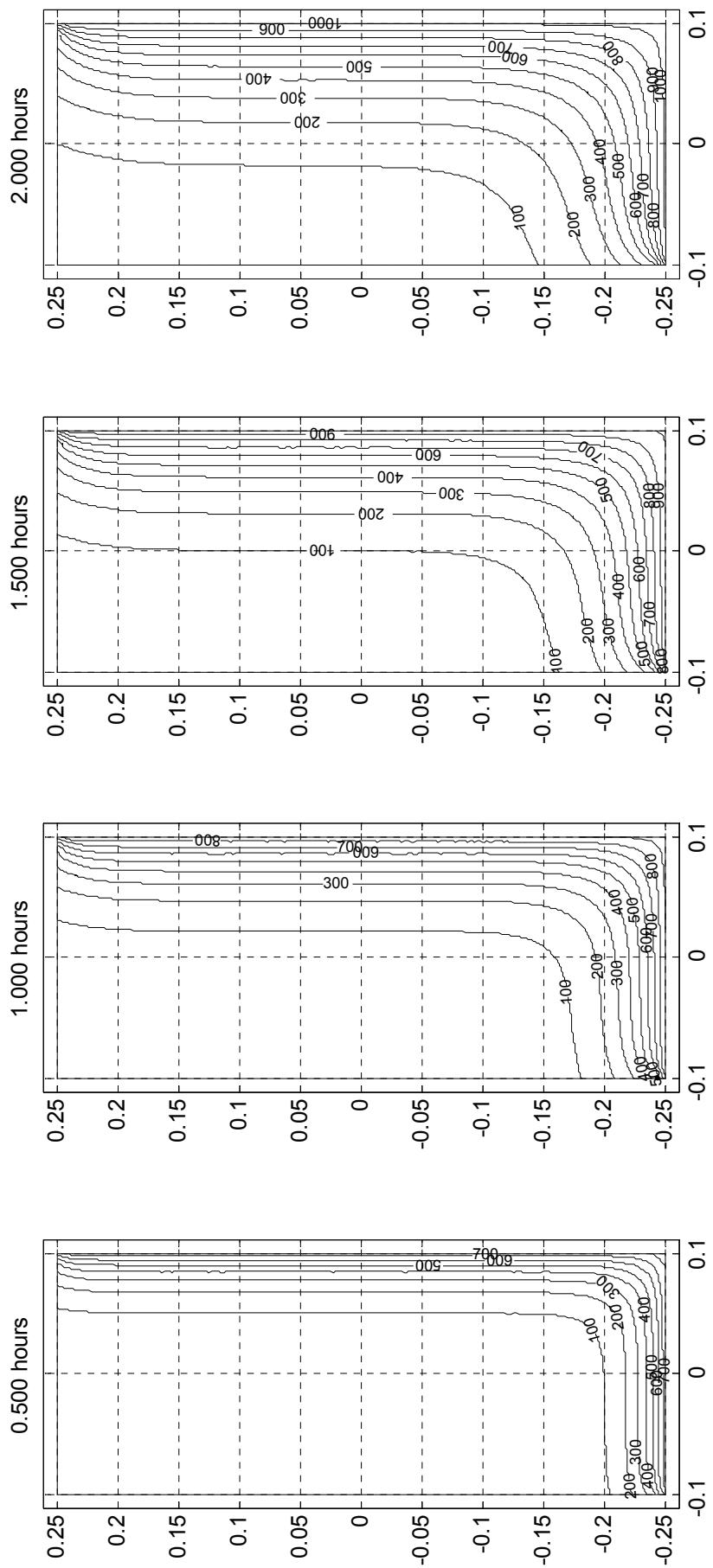


Figura C.11: Isothermas para seção 20 cm x 50 cm aquecida em 2 faces.

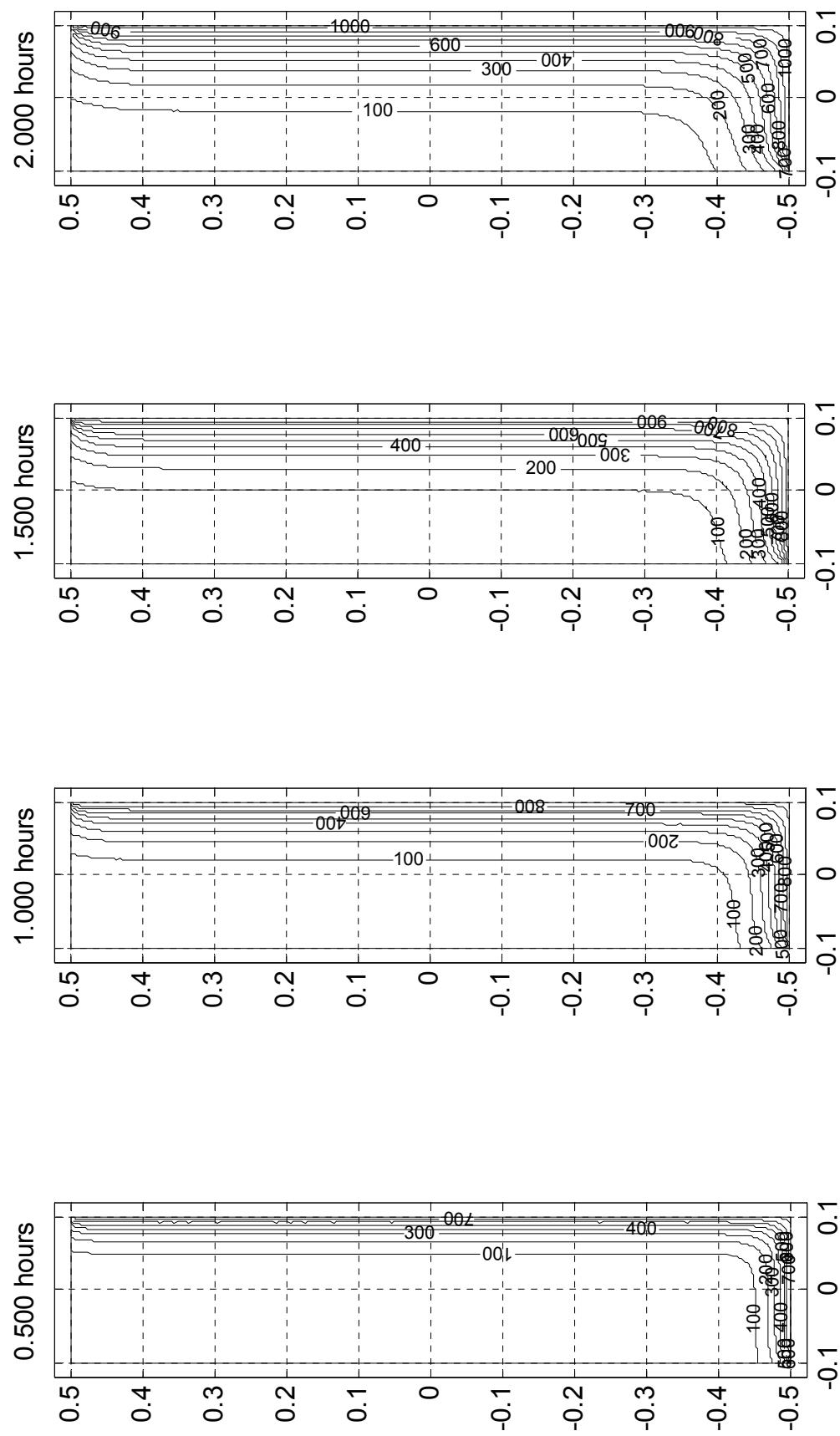


Figura C.12: Isothermas para seção 20 cm x 100 cm aquecida em 2 faces.

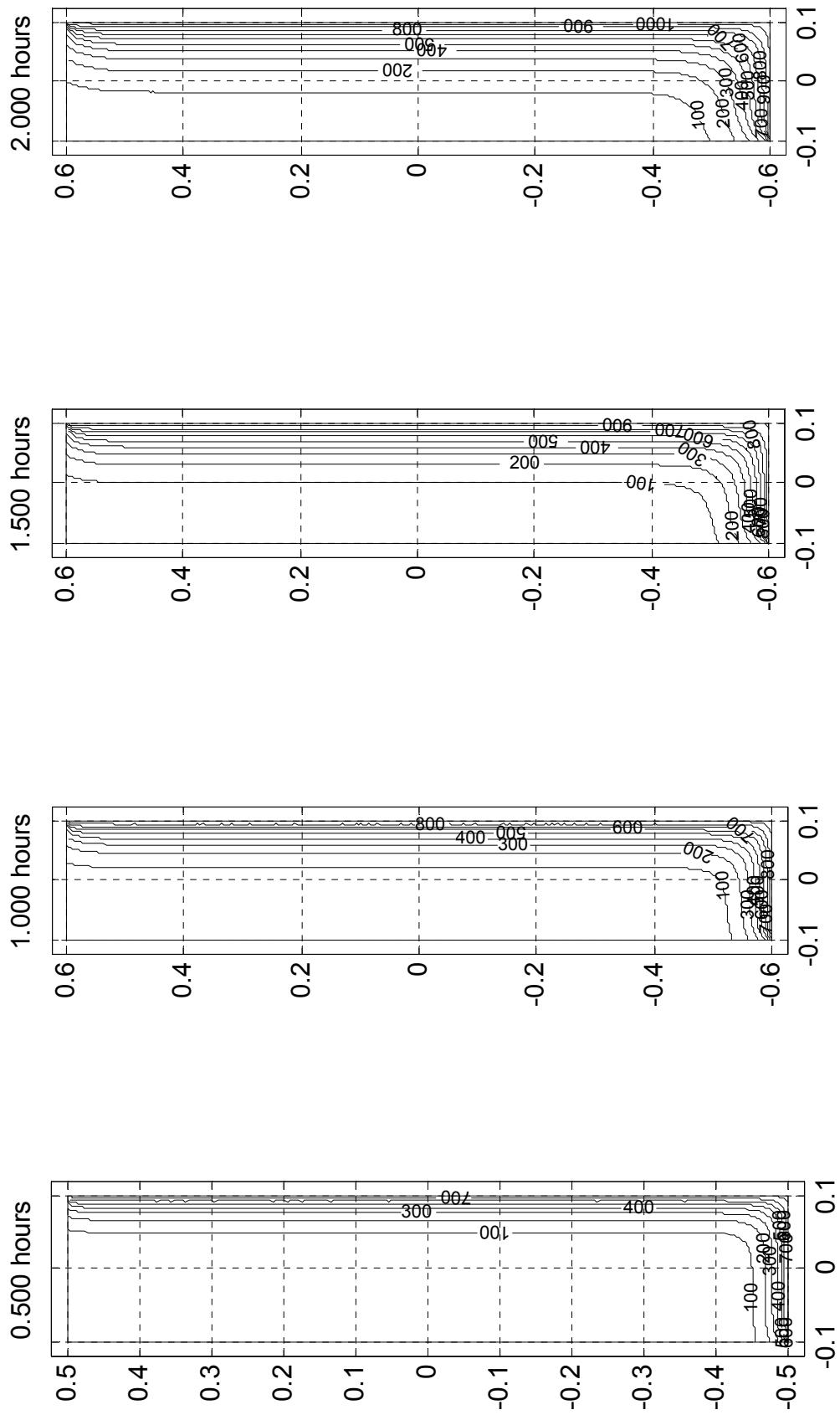


Figura C.13: Isothermas para seção 20 cm x 120 cm aquecida em 2 faces.

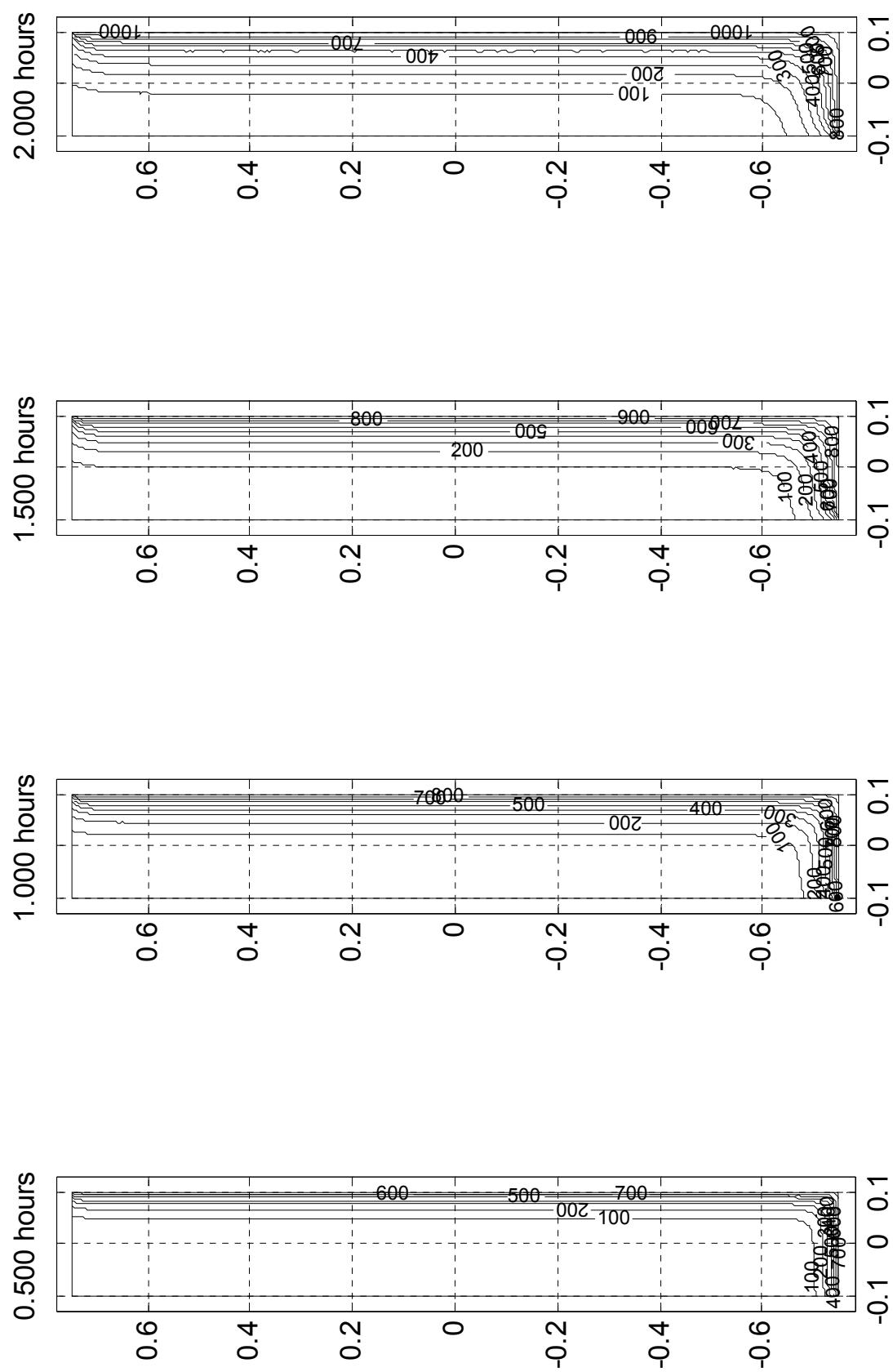


Figura C.14: Isotermas para seção 20 cm x 150 cm aquicida em 2 faces.

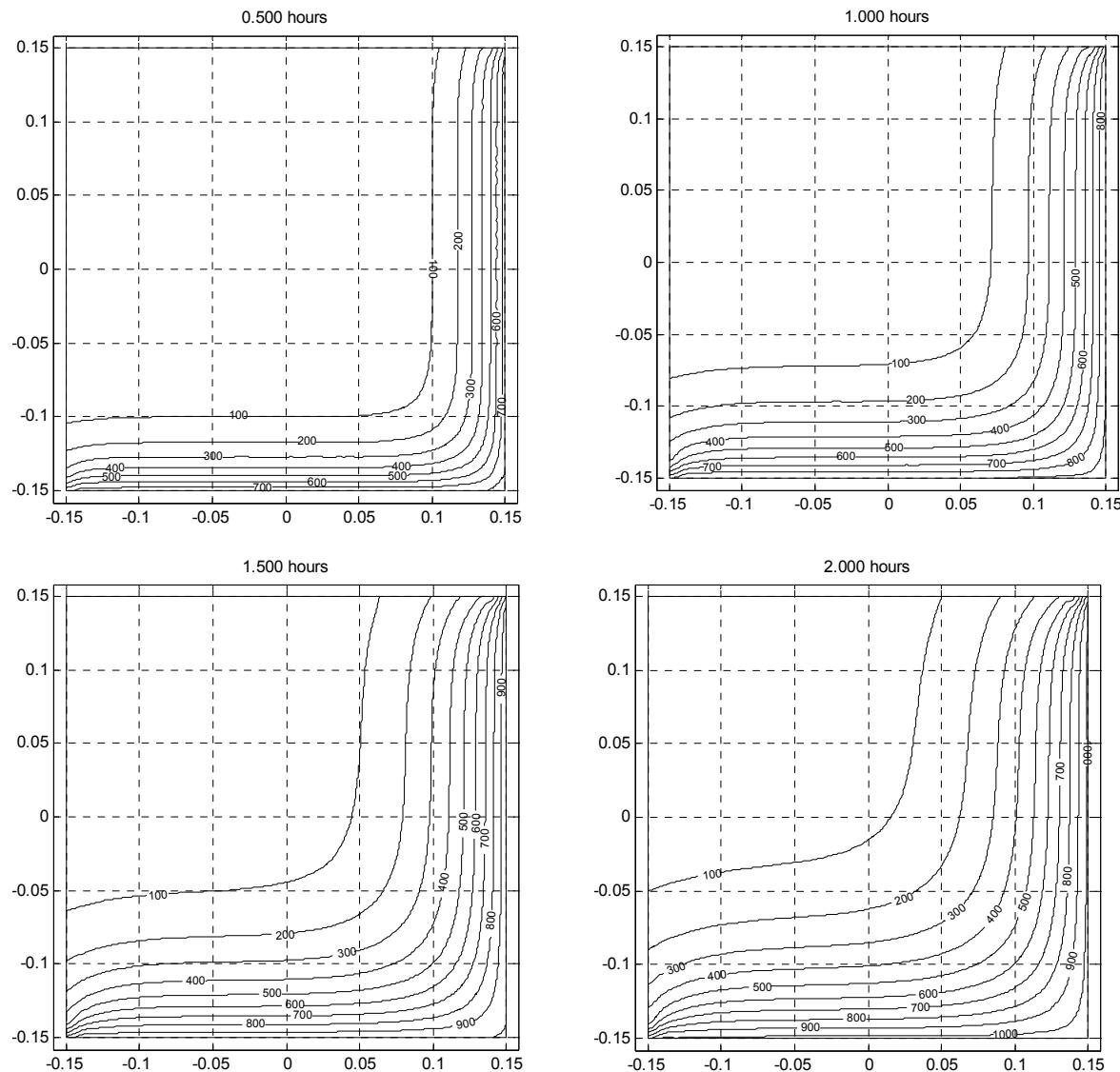


Figura C.15: Isotermas para seção 30 cm x 30 cm aquecida nas 2 faces.

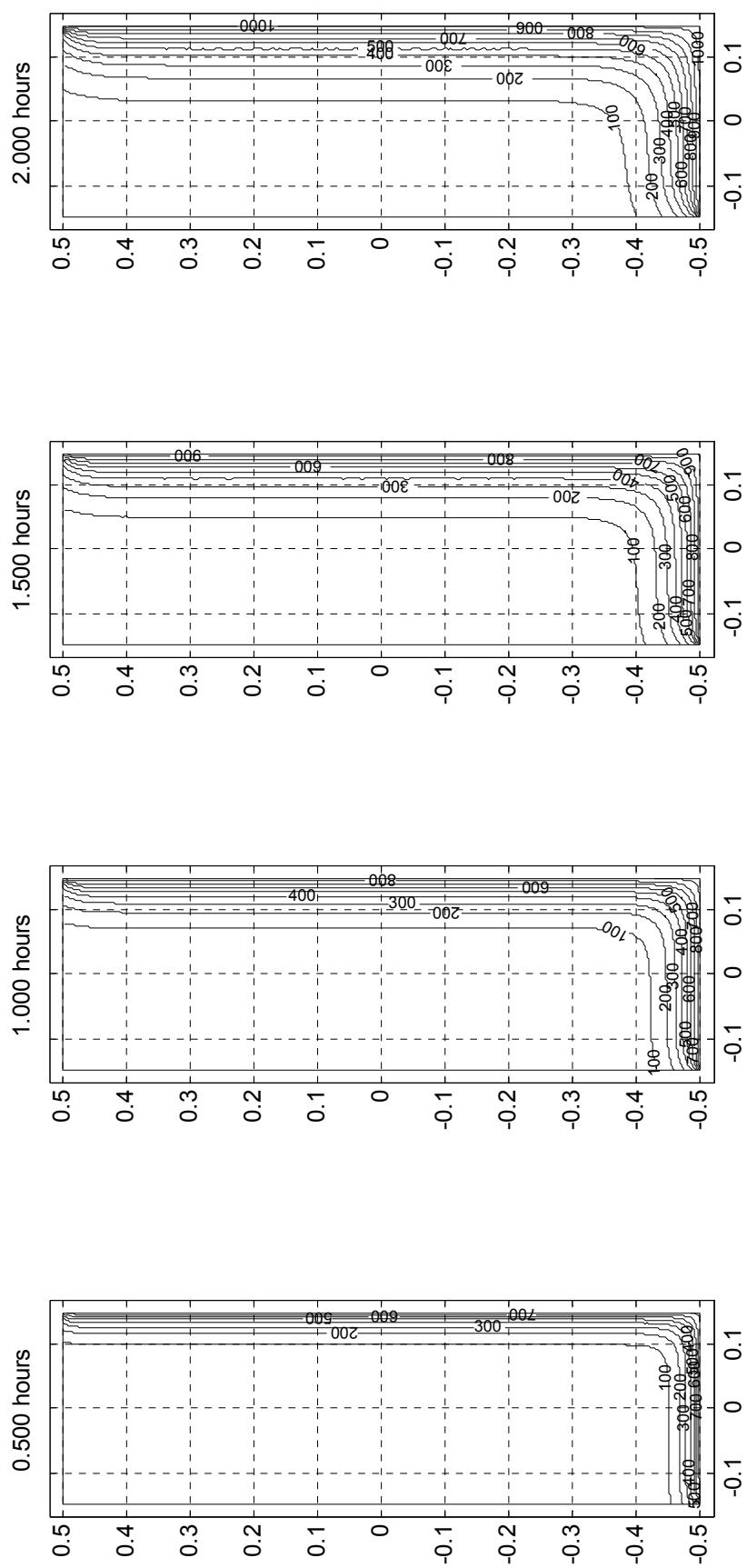


Figura C.16: Isothermas para seção 30 cm x 100 cm aquecida em 2 faces.

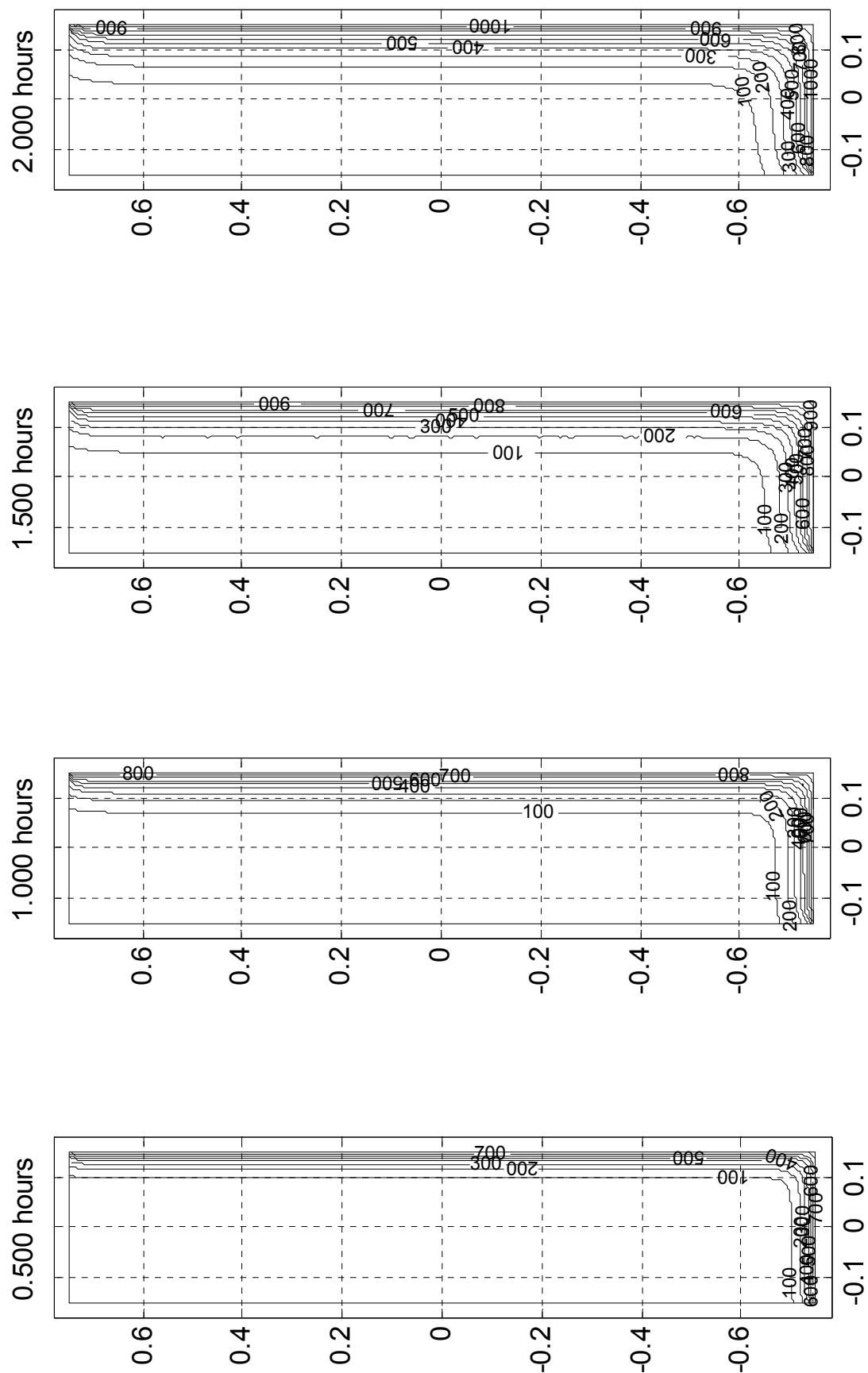


Figura C.17: Isotermas para seção 30 cm x 150 cm aquecida em 2 faces.

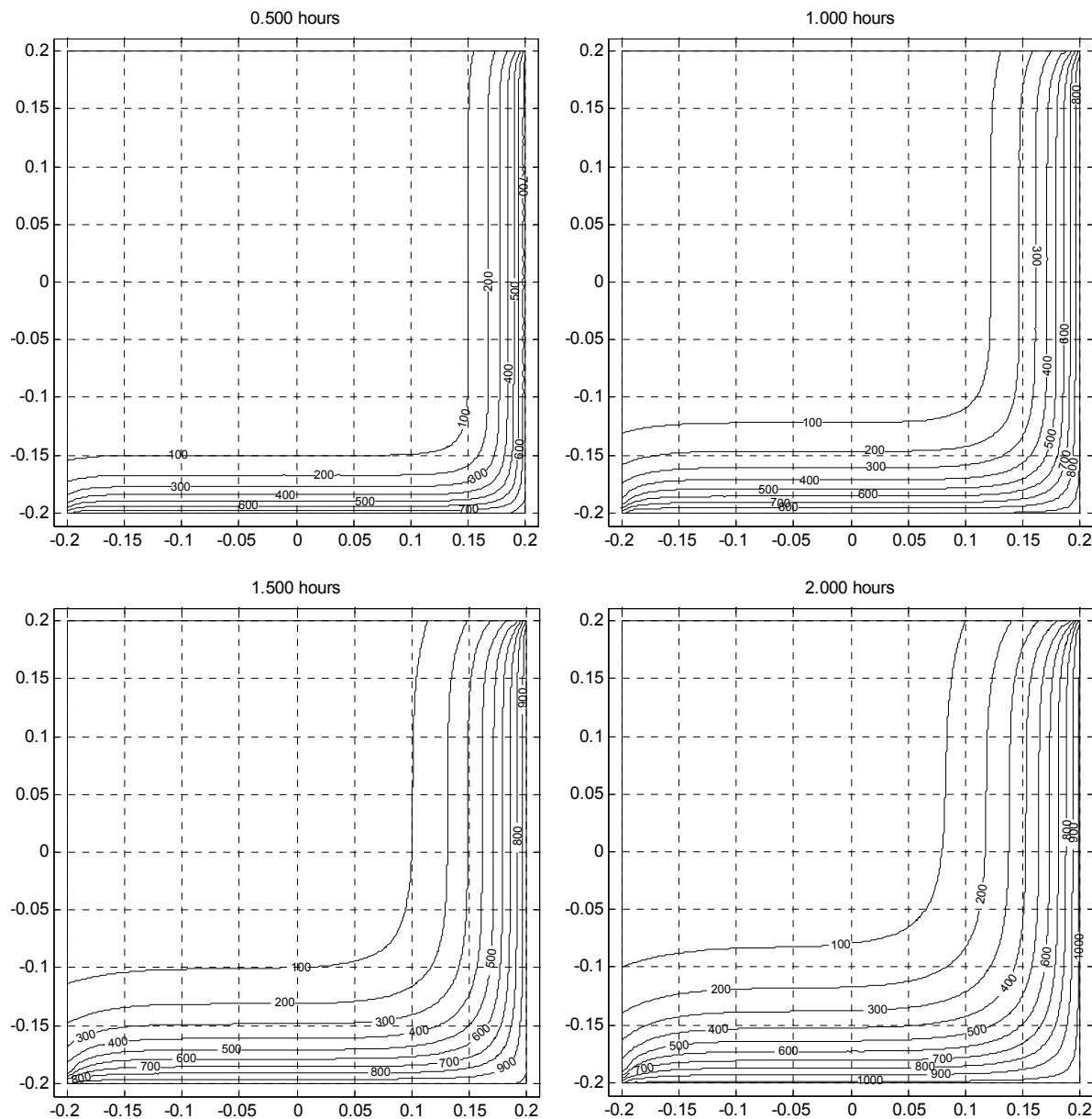


Figura C.18: Isotermas para seção 40 cm x 40 cm aquecidas nas 2 faces.

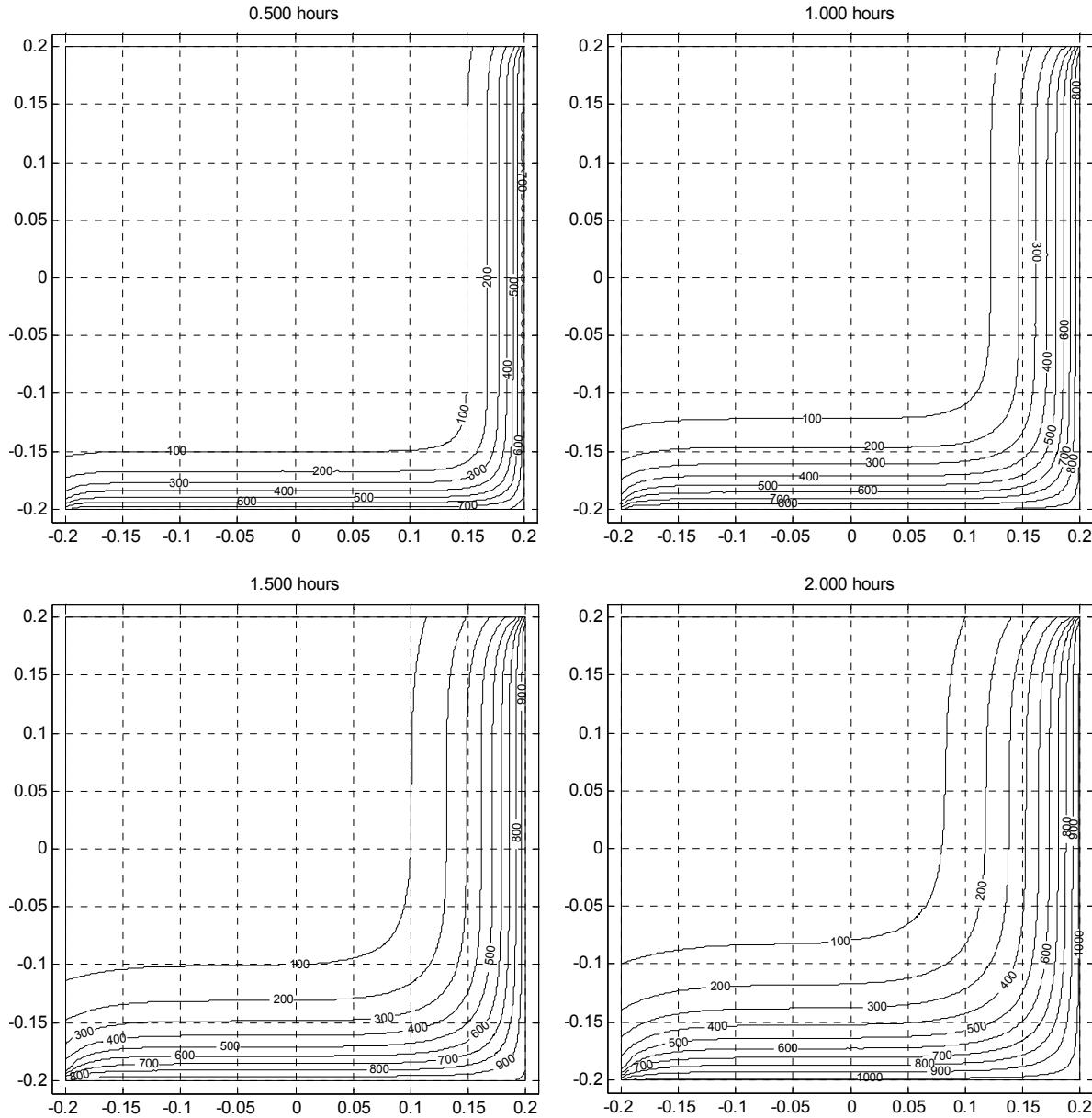


Figura C.19: Isotermas para seção 40 cm x 40 cm.

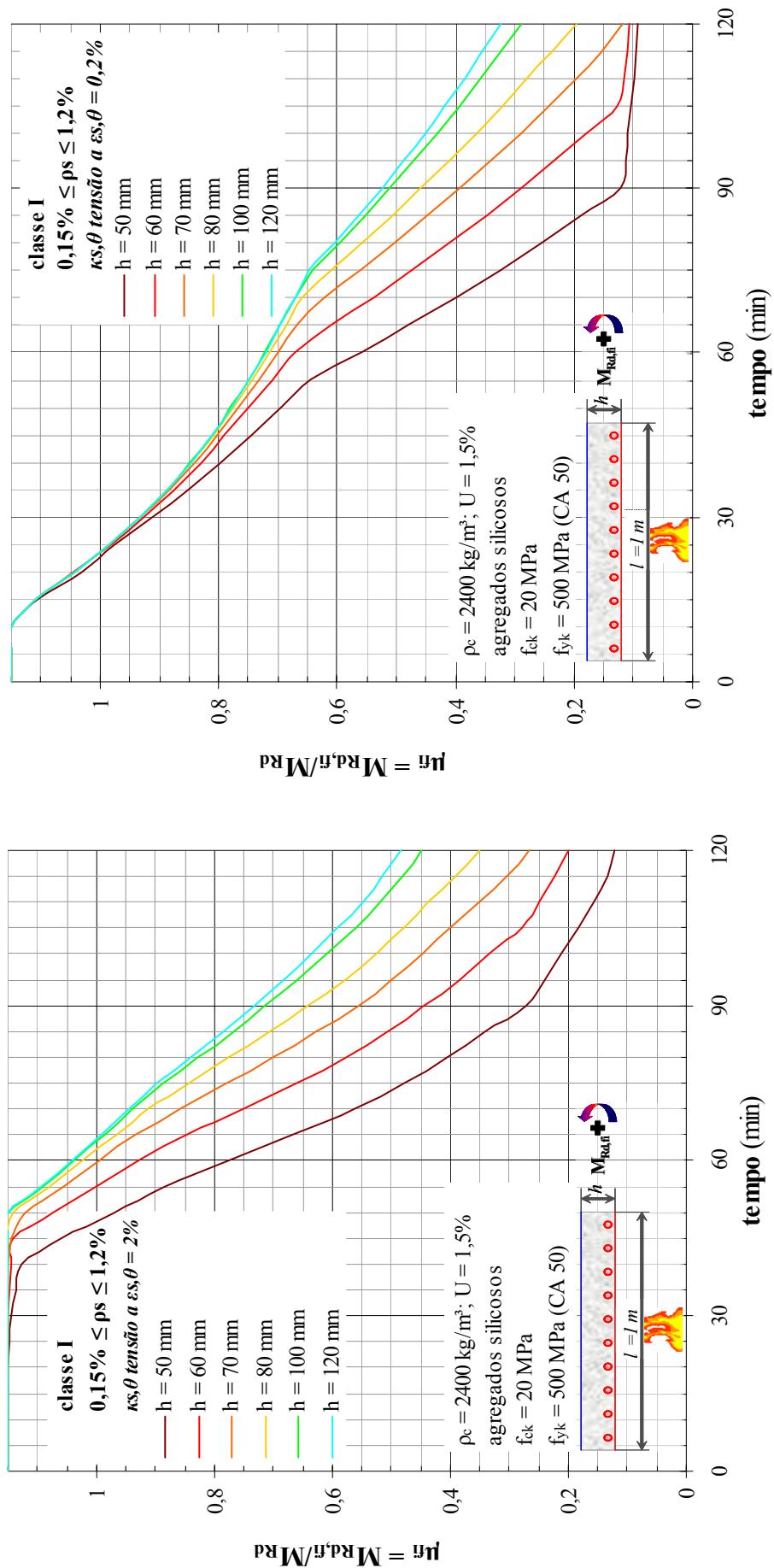
C.2 Ábacos para dimensionamento à flexão simples de seções de concreto armado

C.2.1 Lajes maciças

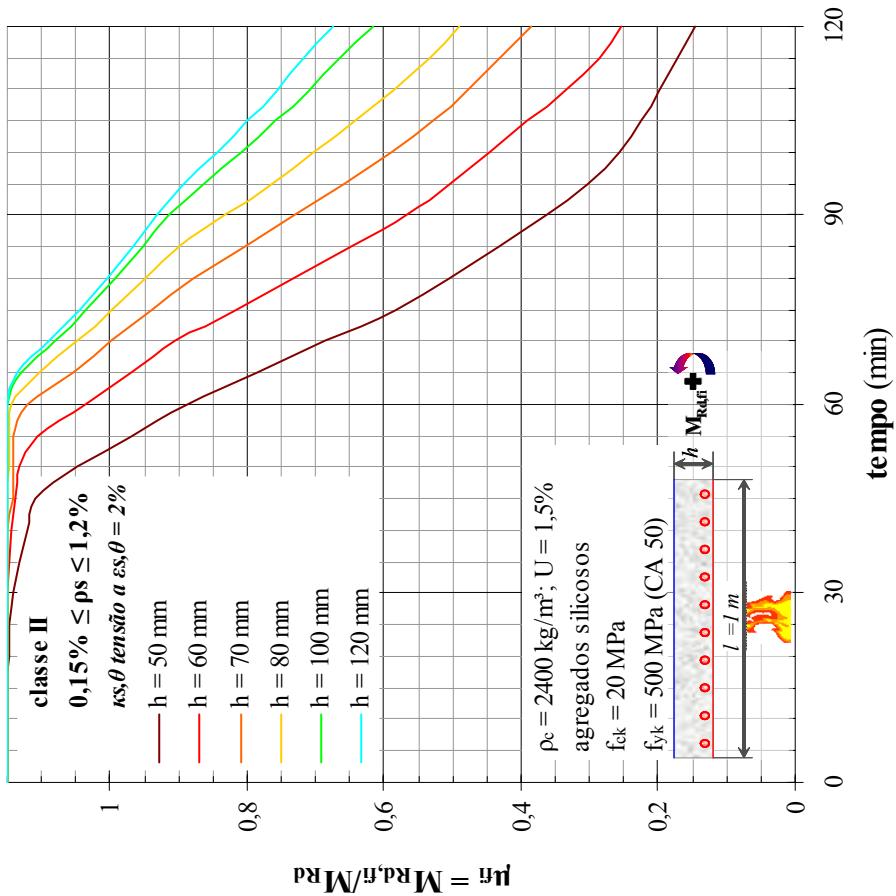
C.2.1.1 Momentos positivos

Para $\text{TRRF} \leq 120$ min, a segurança está verificada para seções de lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental III ou IV e com $\kappa_{s,\theta}$ (coeficiente redutor do aço) definido pela tensão de prova estabelecida pela deformação residual 2%. Nesses casos,

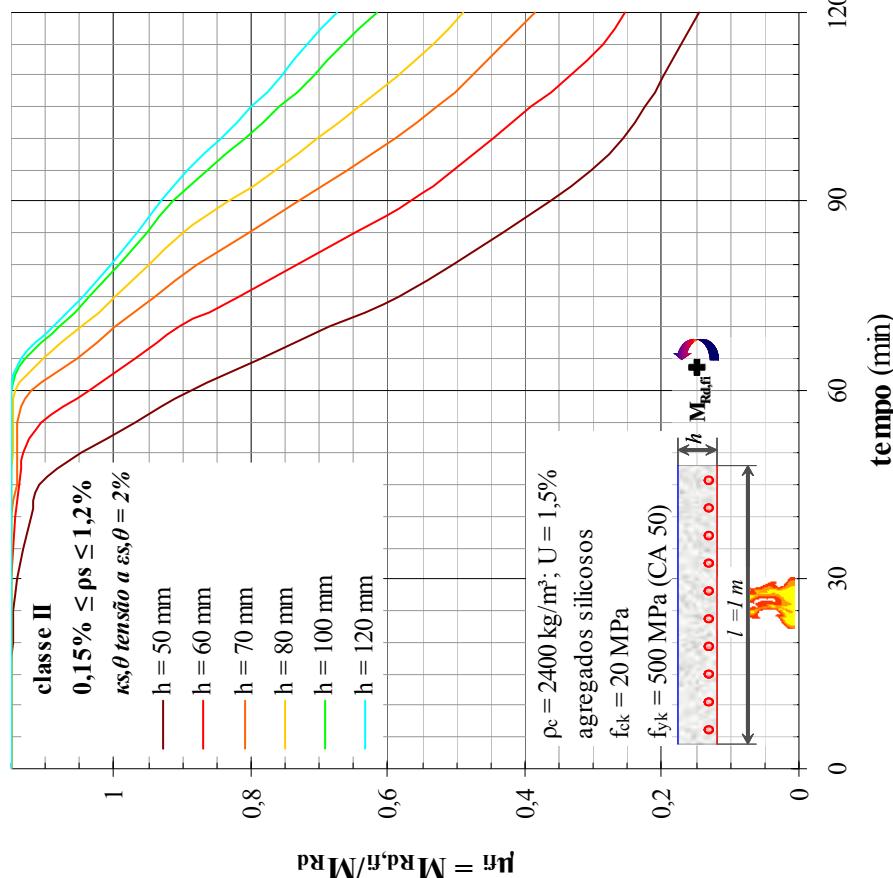
os gráficos fornecem o valor da capacidade resistente das seções para fins de redistribuição de esforços em vãos de lajes hiperestáticas, à critério do projetista.



Nota: $h > 120 \text{ mm}$ atende ao TRRF $\leq 120 \text{ min}$.
Figura C.20: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobertura de armaduras da classe de agressividade ambiental I.

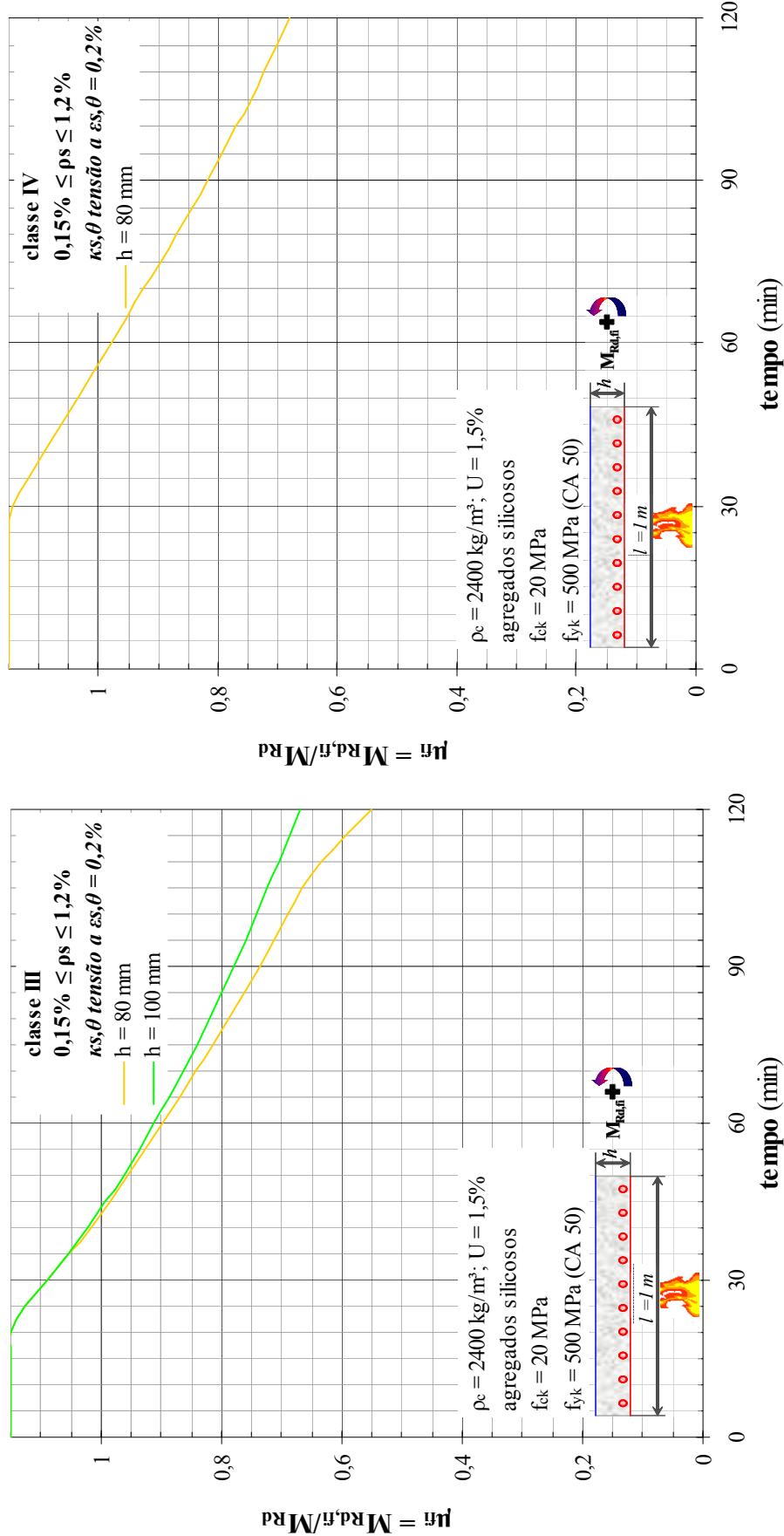


Nota: $h > 120 \text{ mm}$ atende ao TRRF ≤ 120 min.



Nota: $h > 120 \text{ mm}$ atende ao TRRF ≤ 120 min.

Figura C.21: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes – cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental II.



Nota: $h > 100 \text{ mm}$ atende ao TRRF $\leq 120 \text{ min.}$

Figura C.22: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental III e IV.

Nota: $h > 80 \text{ mm}$ atende ao TRRF $\leq 120 \text{ min.}$

C.2.1.2 Momentos negativos

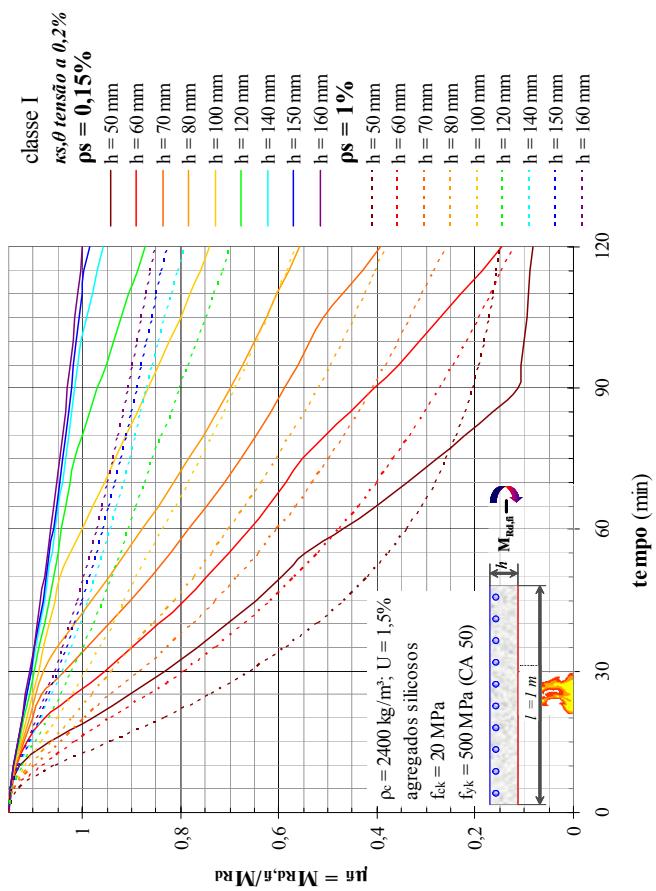
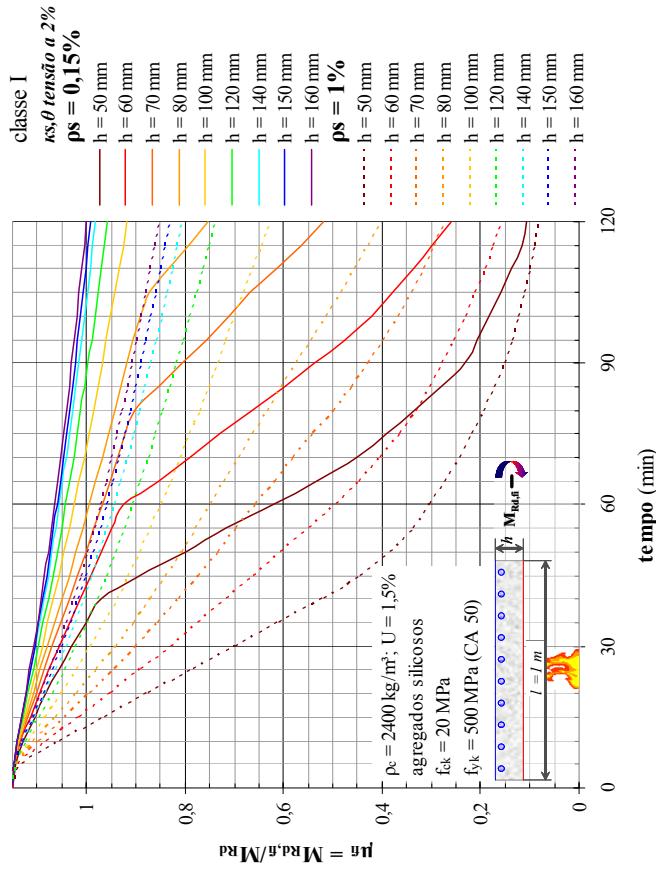


Figura C.23: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental I.



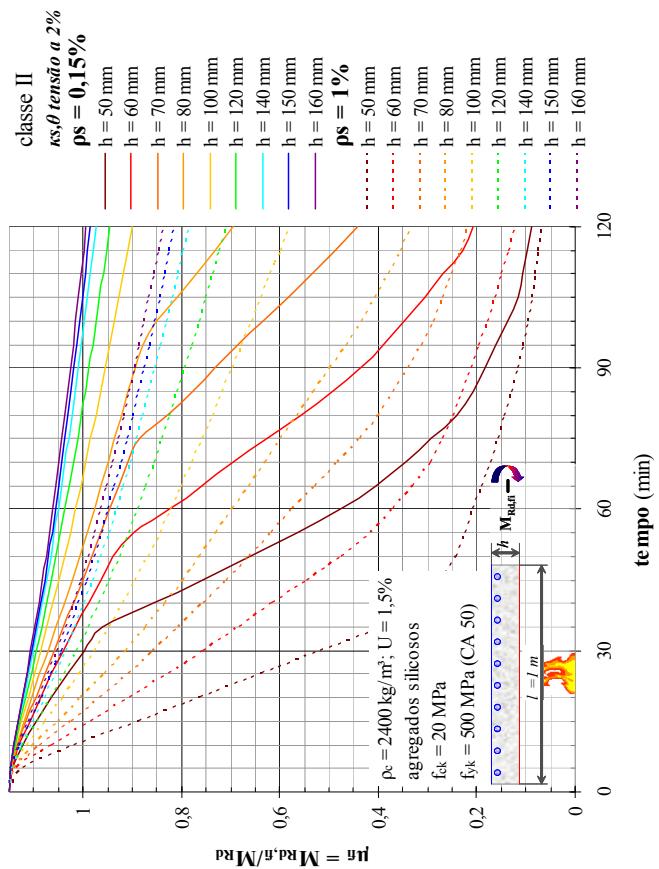
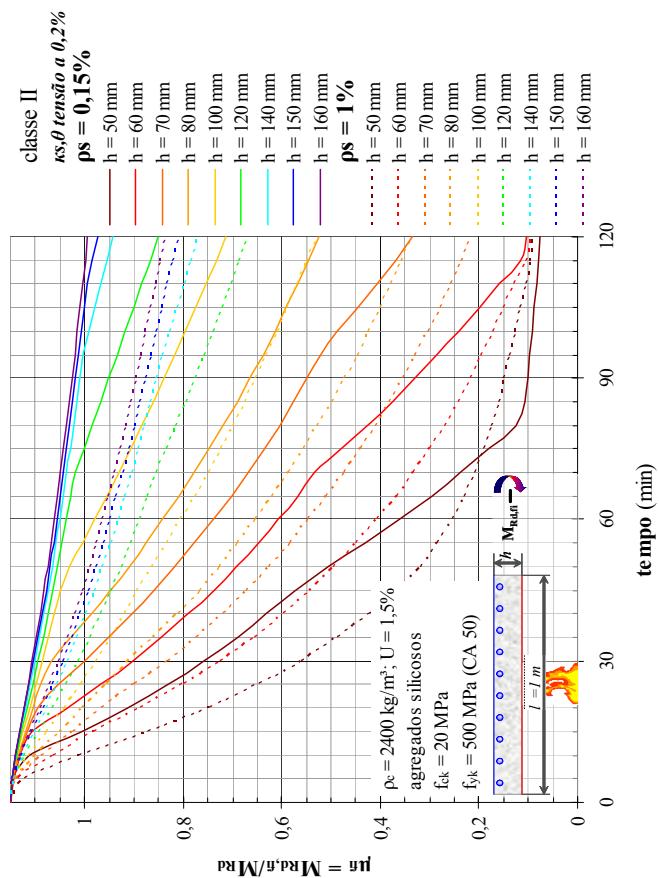


Figura C.24: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental II.

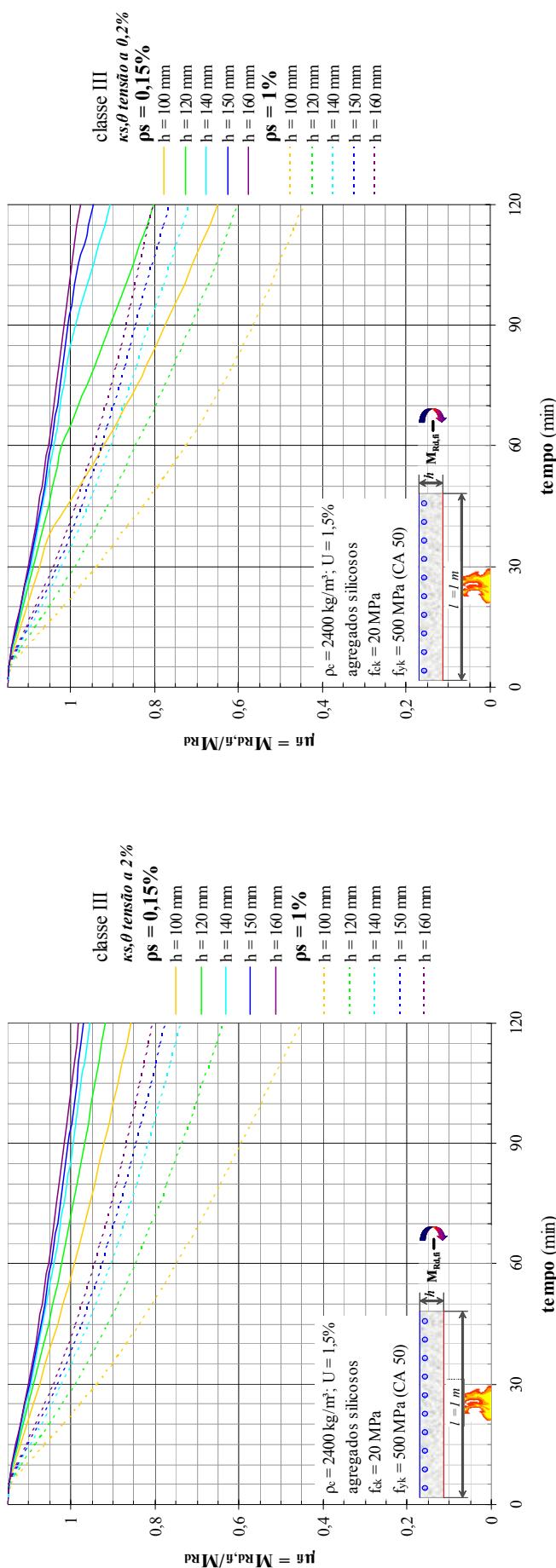


Figura C.25: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental III.

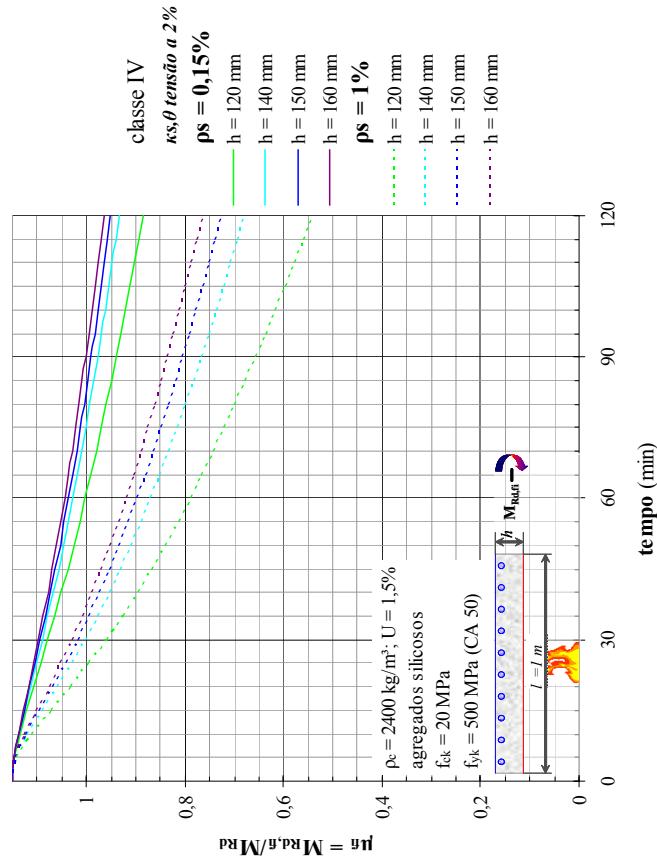
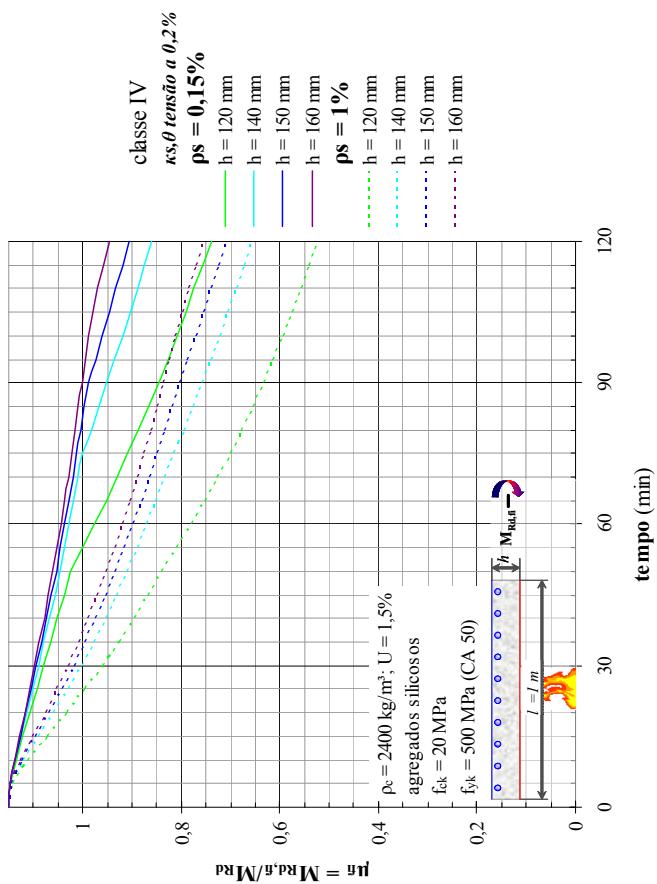


Figura C.26: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental IV.

C.2.1.3 Momentos positivos ou negativos para lajes aquecidas em ambas as superfícies

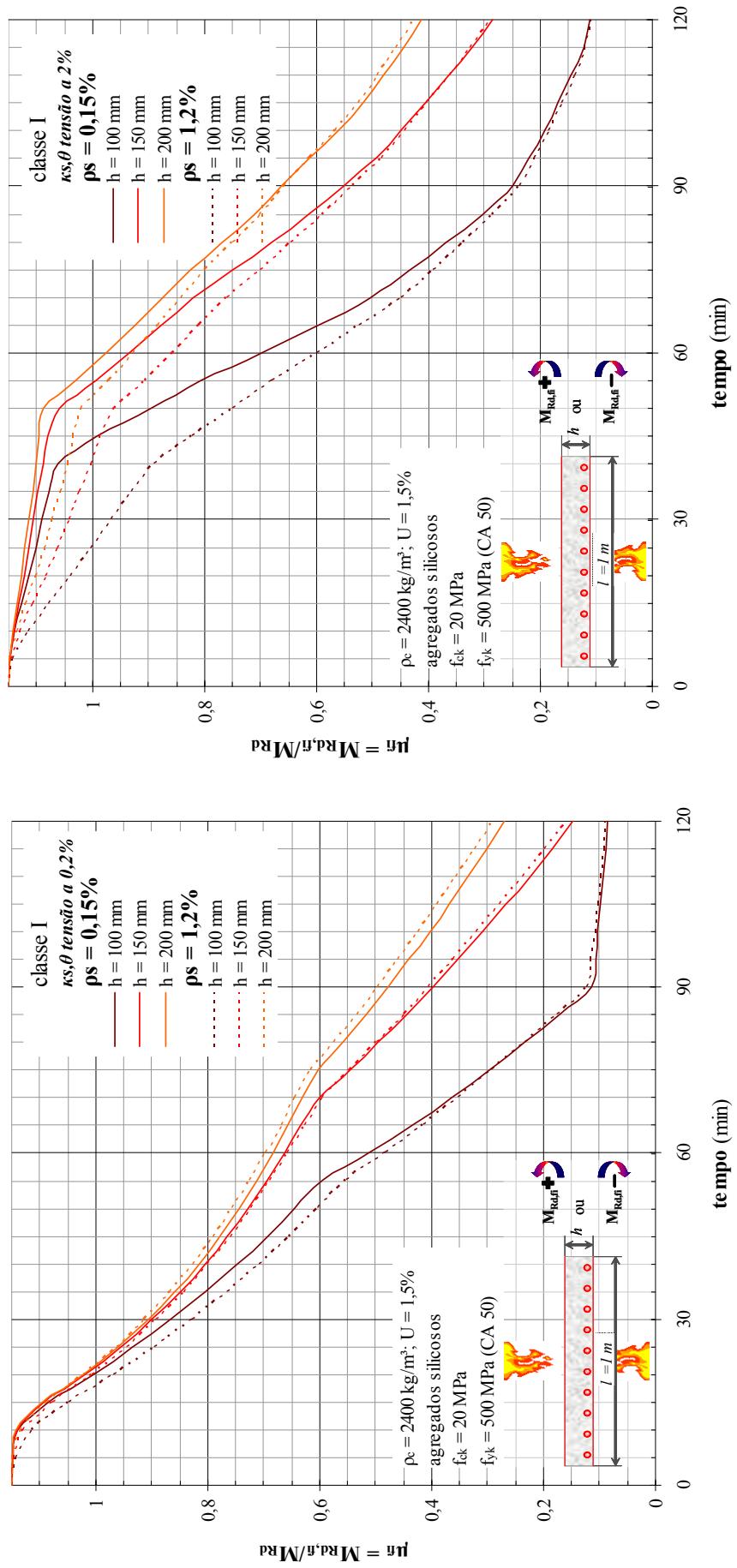


Figura C.27: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental I.

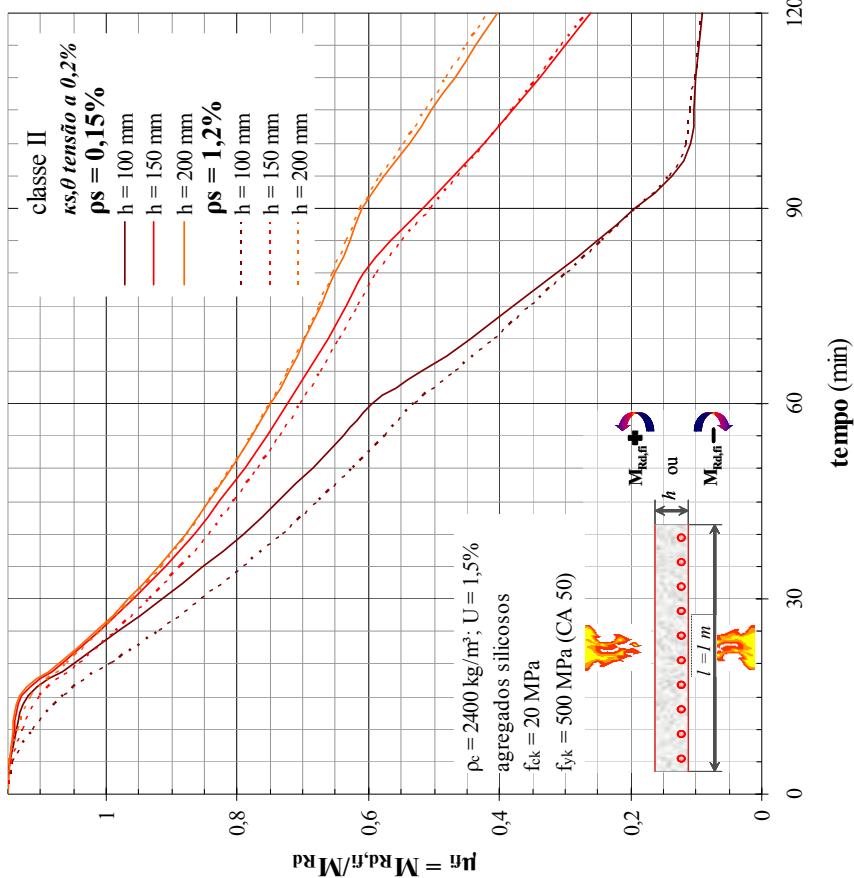
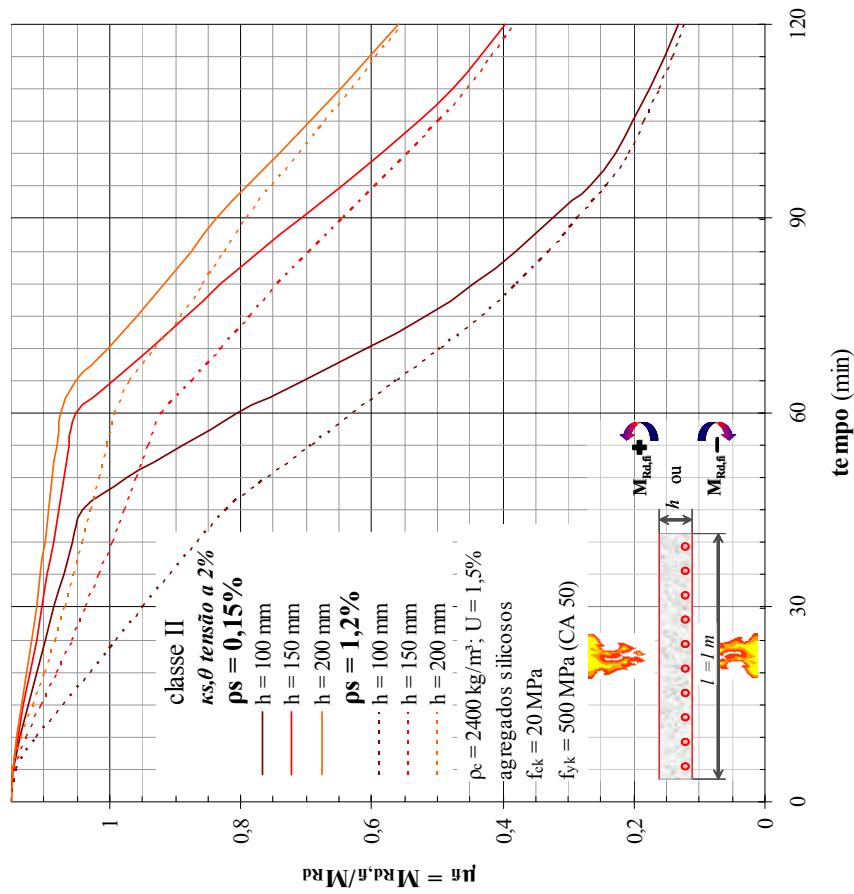


Figura C.28: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental II.

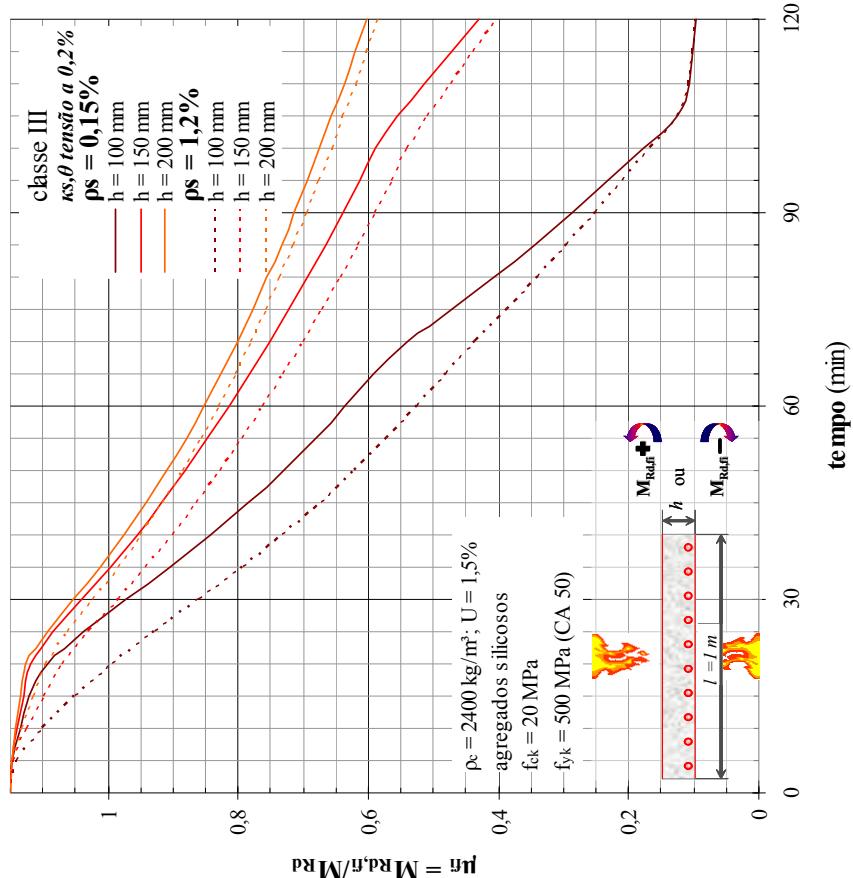
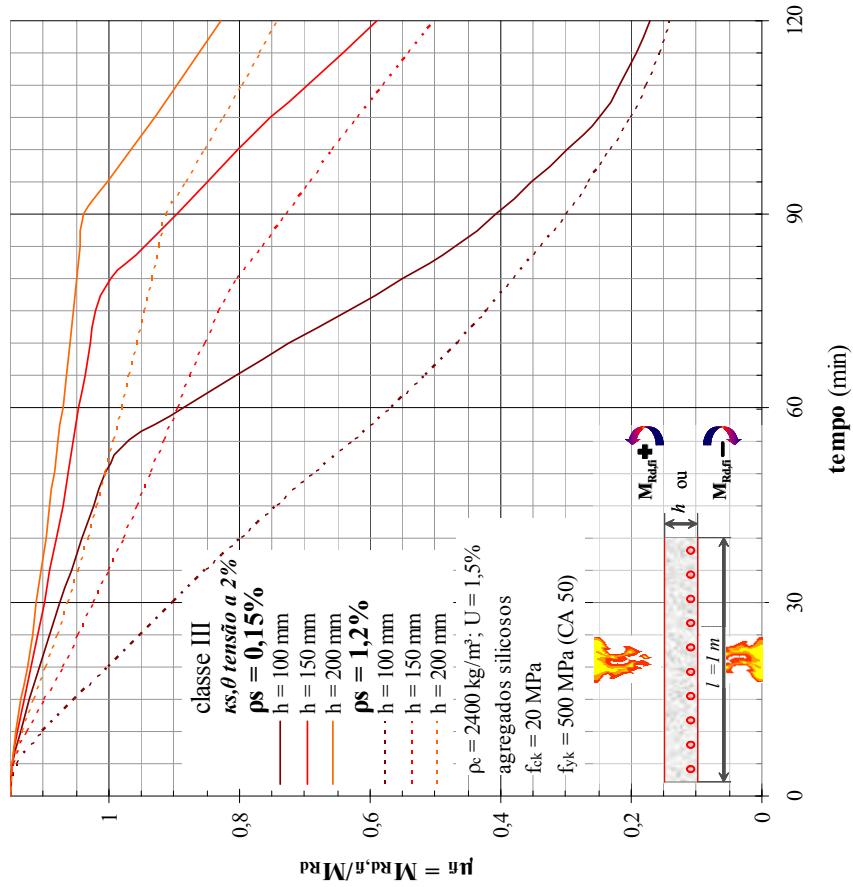


Figura C.29: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental III.

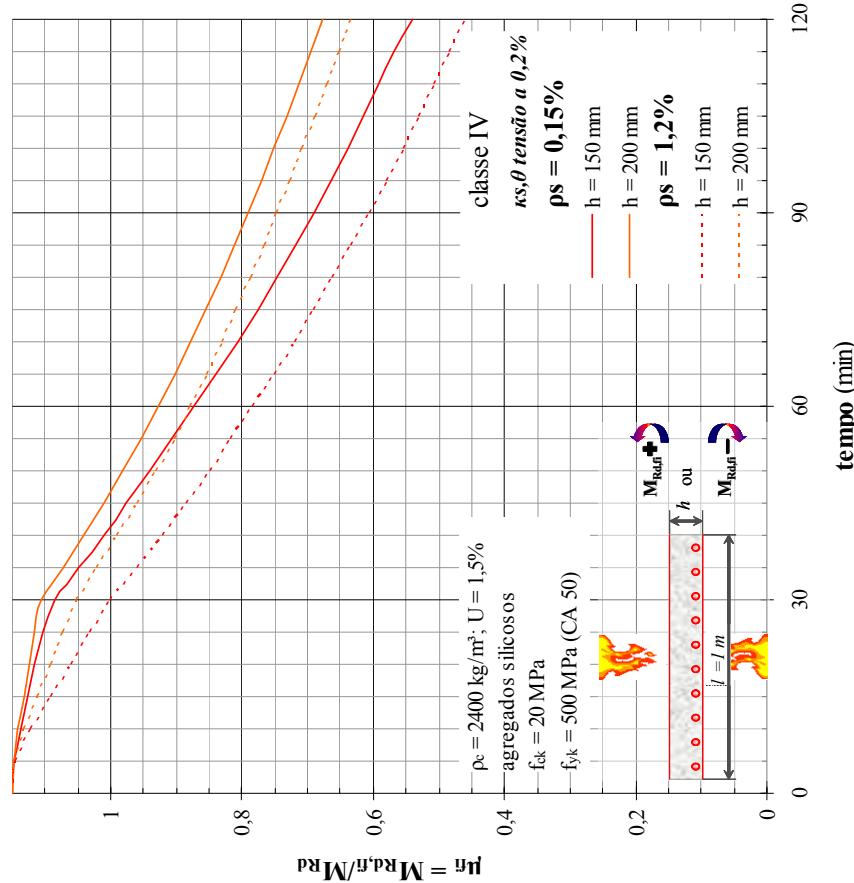
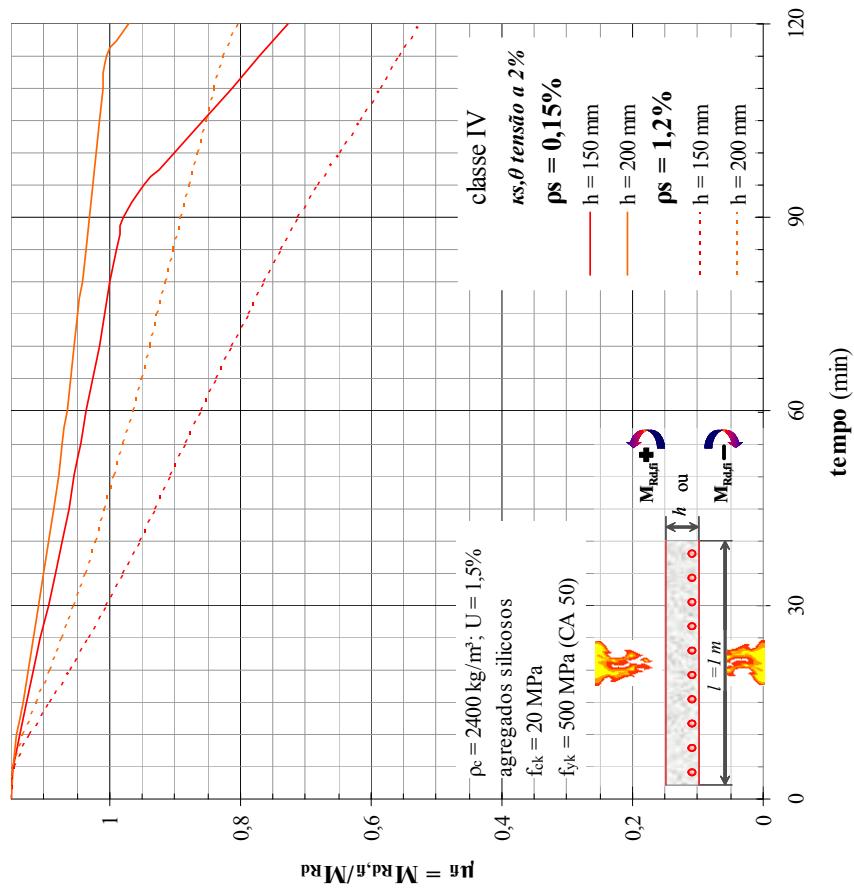


Figura C.30: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes com cobrimento de armaduras da classe de agressividade ambiental IV.

C.2.2 Lajes nervuradas moldadas com fôrmas industrializadas

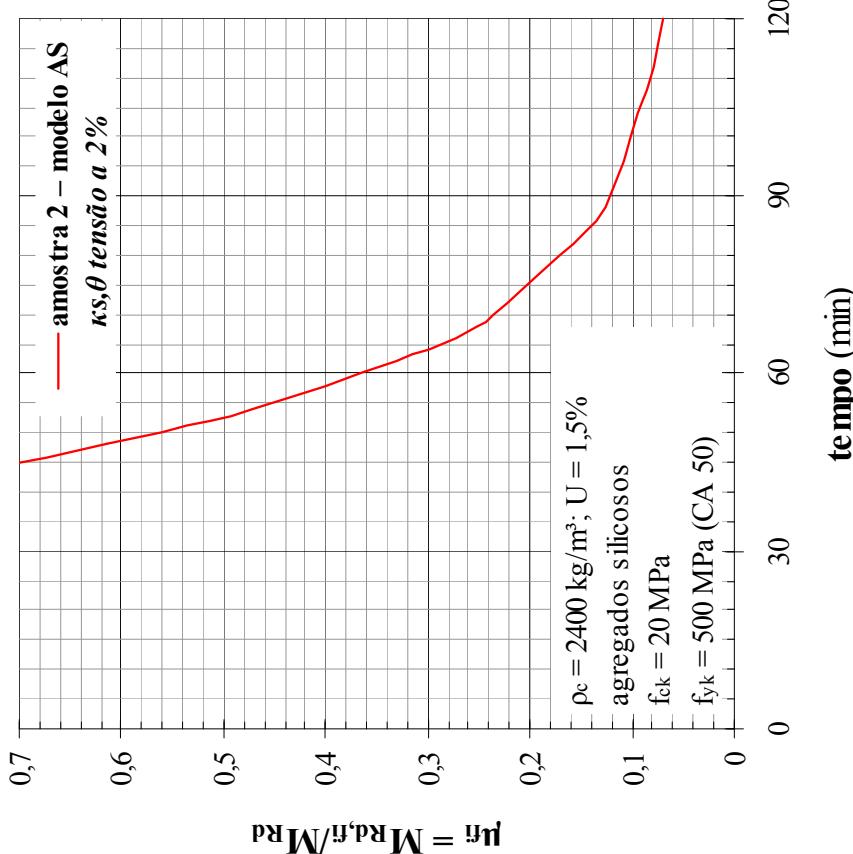
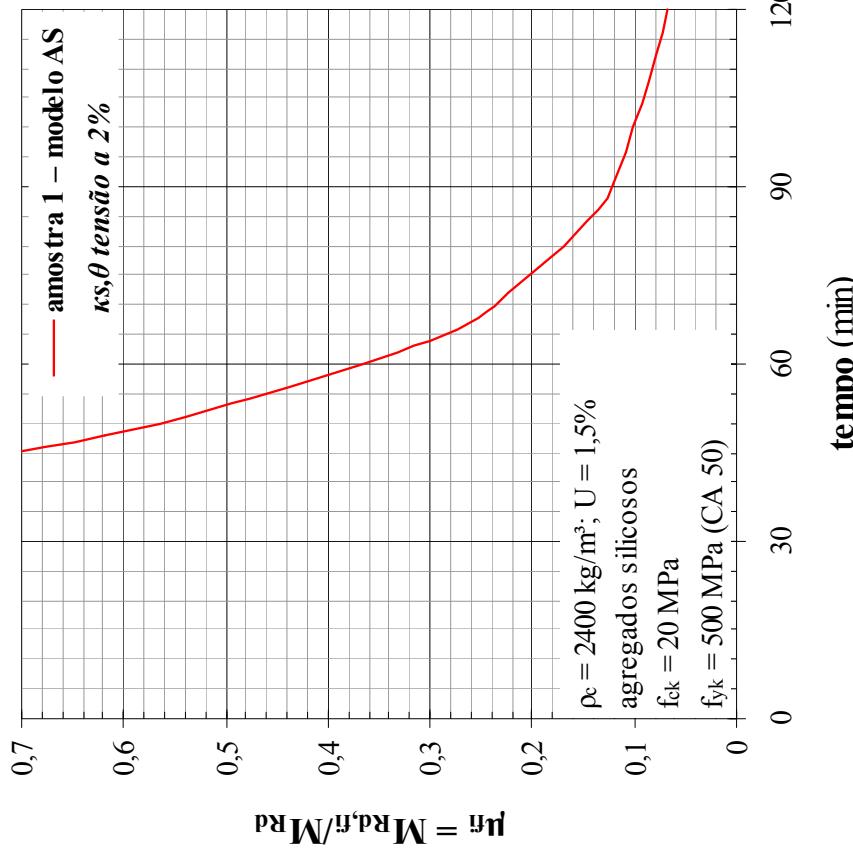


Figura C.31: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes nervuradas moldadas com fôrmas industrializadas de seção e arranjo de armaduras padronizado pelo fabricante.

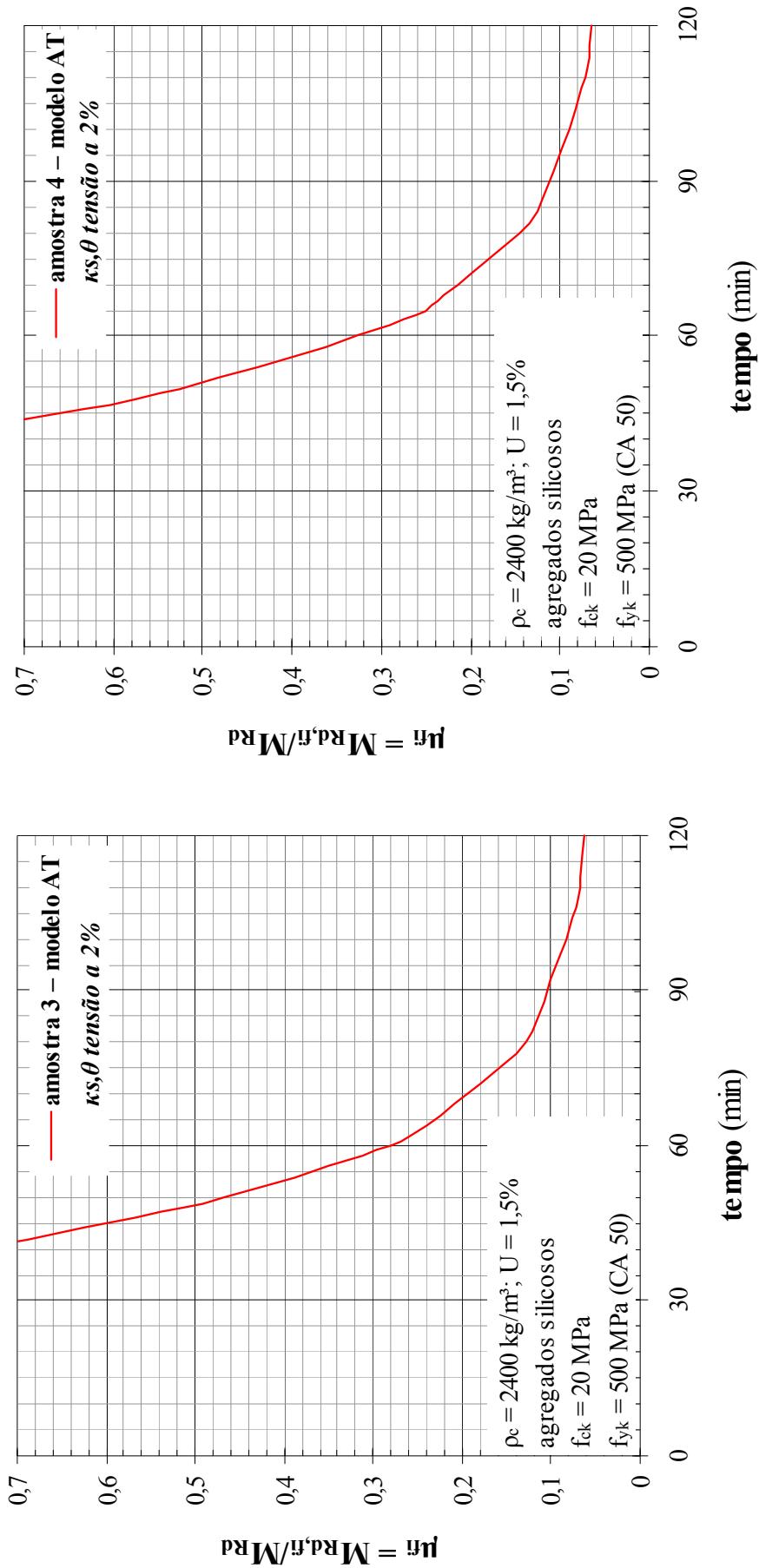


Figura C.32: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes nervuradas moldadas com fôrmas industrializadas de seção e arranjo de armaduras padronizado pelo fabricante.

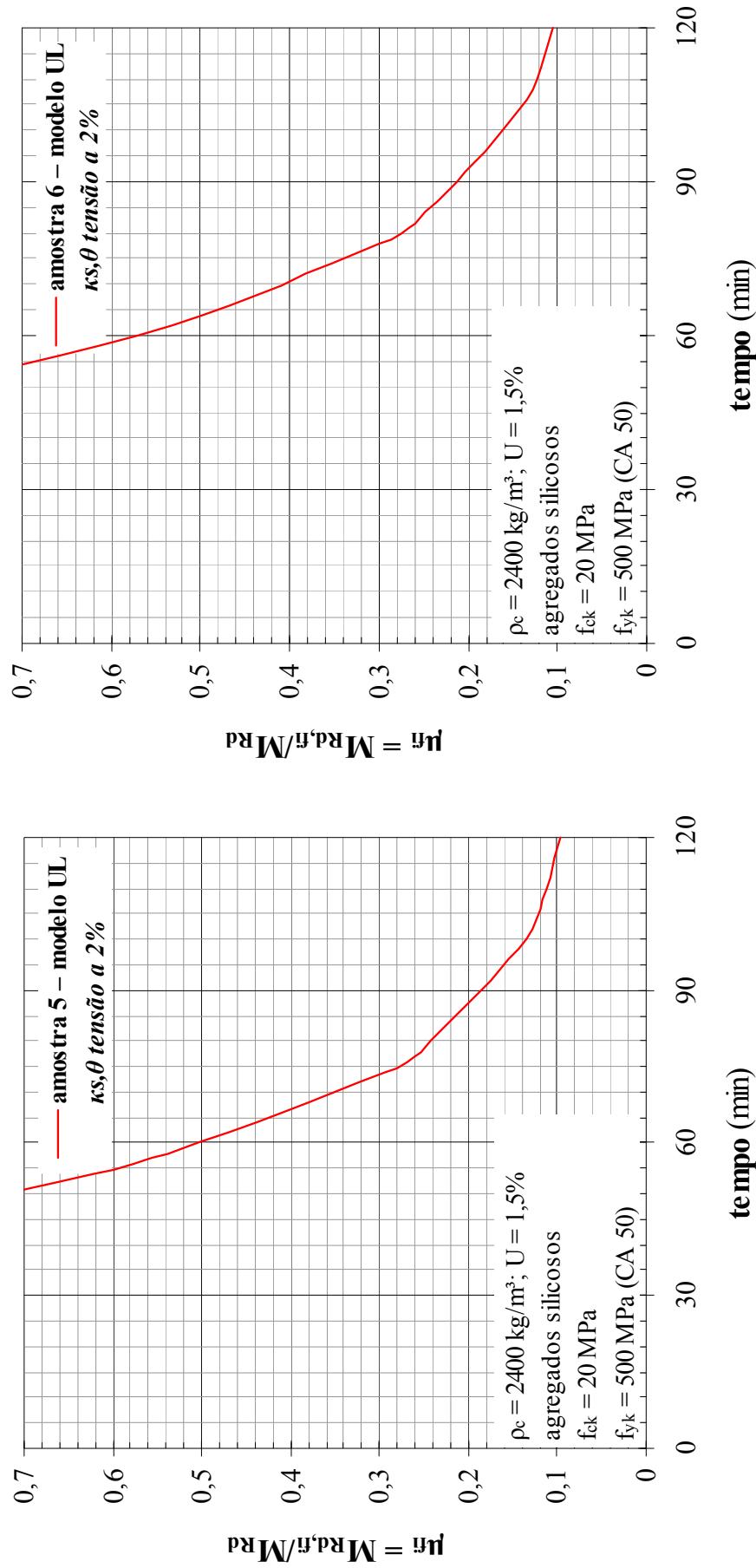


Figura C.33: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes nervuradas moldadas com formas industrializadas de seção e arranjo de armaduras padronizado pelo fabricante.

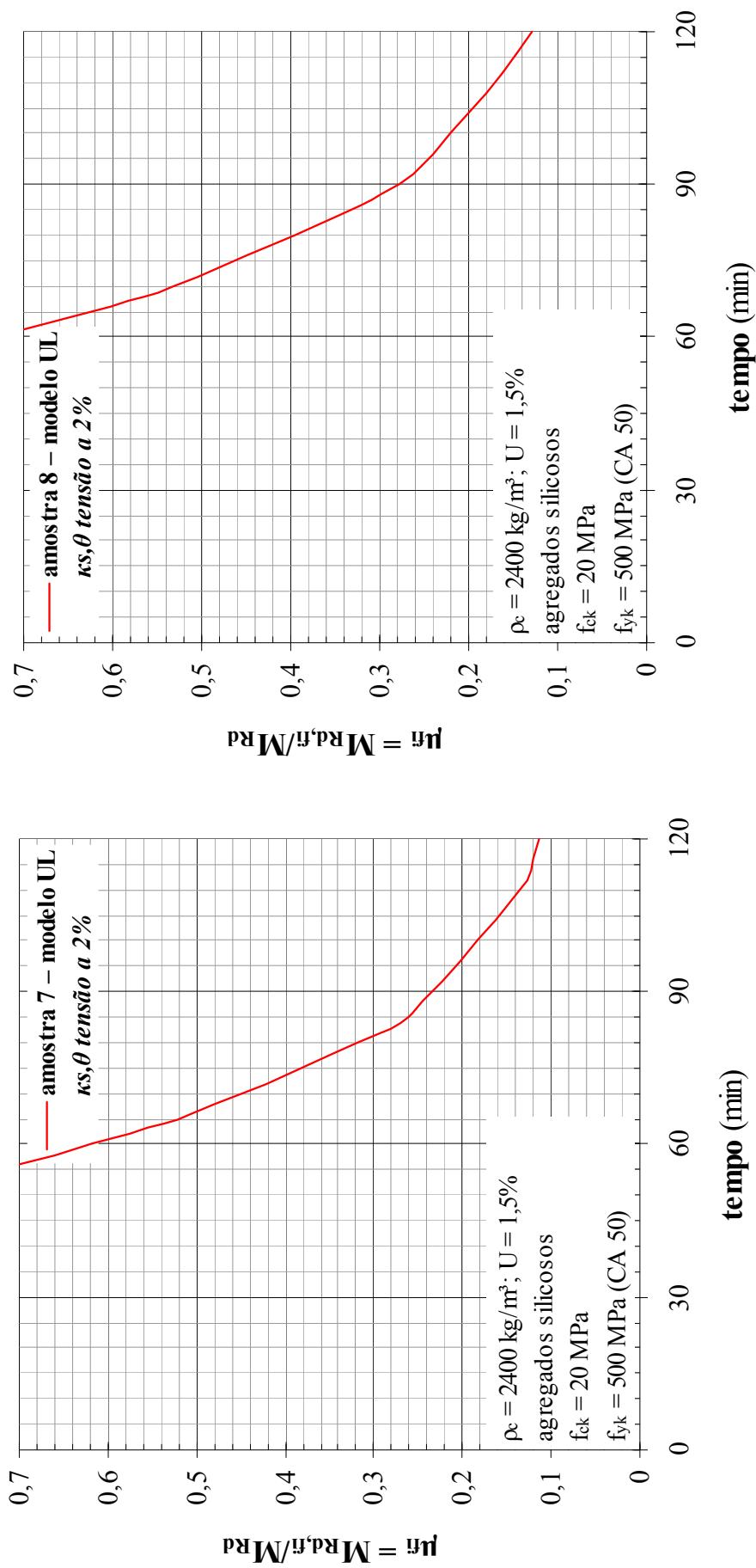


Figura C.34: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes nervuradas moldadas com fôrmas industrializadas de seção e arranjo de armaduras padronizado pelo fabricante.

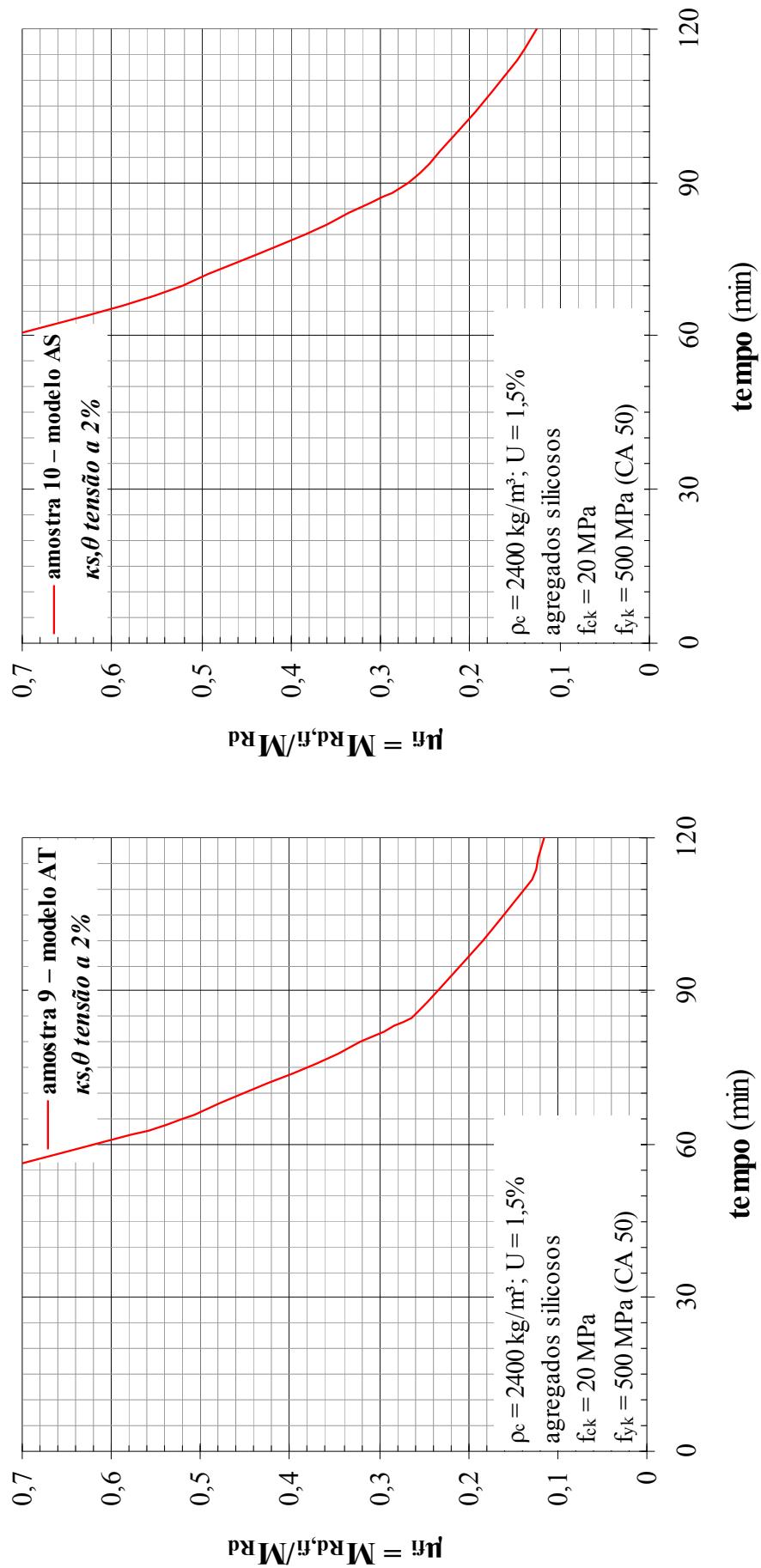
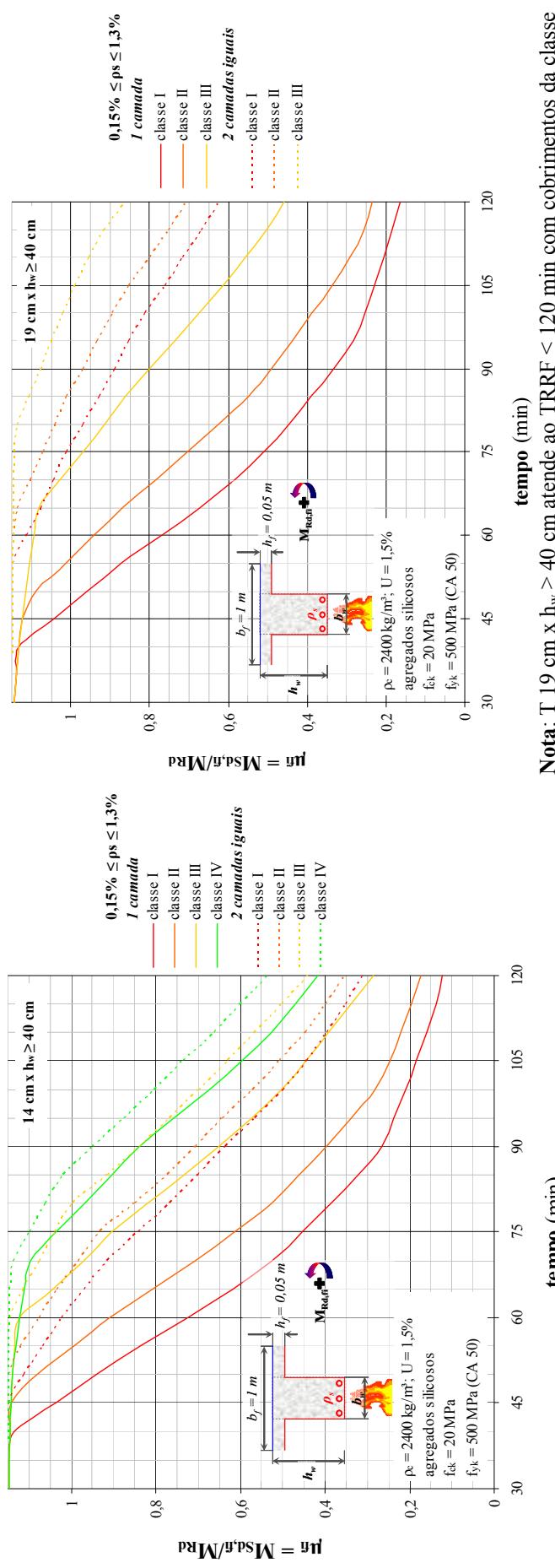


Figura C.35: Momento fletor resistente relativo em situação de incêndio para lajes nervuradas moldadas com formas industrializadas de seção e arranjo de armaduras padronizado pelo fabricante.

C.2.3 Vigas T

Nas seções de momentos positivos (zona tracionada aquecida), a altura (h_w) e a taxa de armadura (ρ_s) não influenciam o momento fletor resistente relativo μ_{Rf} .



Nota: T 19 cm x $h_w \geq 40$ cm atende ao TRRF ≤ 120 min com cobrimentos da classe de agressividade ambiental IV.

Figura C.36: Seções T 14 cm x $h_w \geq 40$ cm e T 19 cm x $h_w \geq 40$ cm para momentos positivos.

C.2.4 Vigas I

Nas seções de momentos negativos (zona comprimida aquecida), a altura (h_w) e a taxa de armadura (ρ_s) influenciam o momento fletor resistente relativo μ_{fi} .

As seções T 14 cm x $h_w \geq 40$ cm e T 19 cm x $h_w \geq 40$ cm com arranjo de armaduras em 1 camada e taxa de armadura $0,15\% \leq \rho_s \leq 1,05\%$, ou em 2 camadas iguais e taxa de armadura $0,15\% \leq \rho_s \leq 0,4\%$, atendem ao TRRF ≤ 120 min.

Mesmo quando a capacidade resistente da seção é superior a 120 min, os gráficos auxiliam o cálculo da redistribuição esforços entre as seções de momentos positivo e negativo em vigas contínuas.

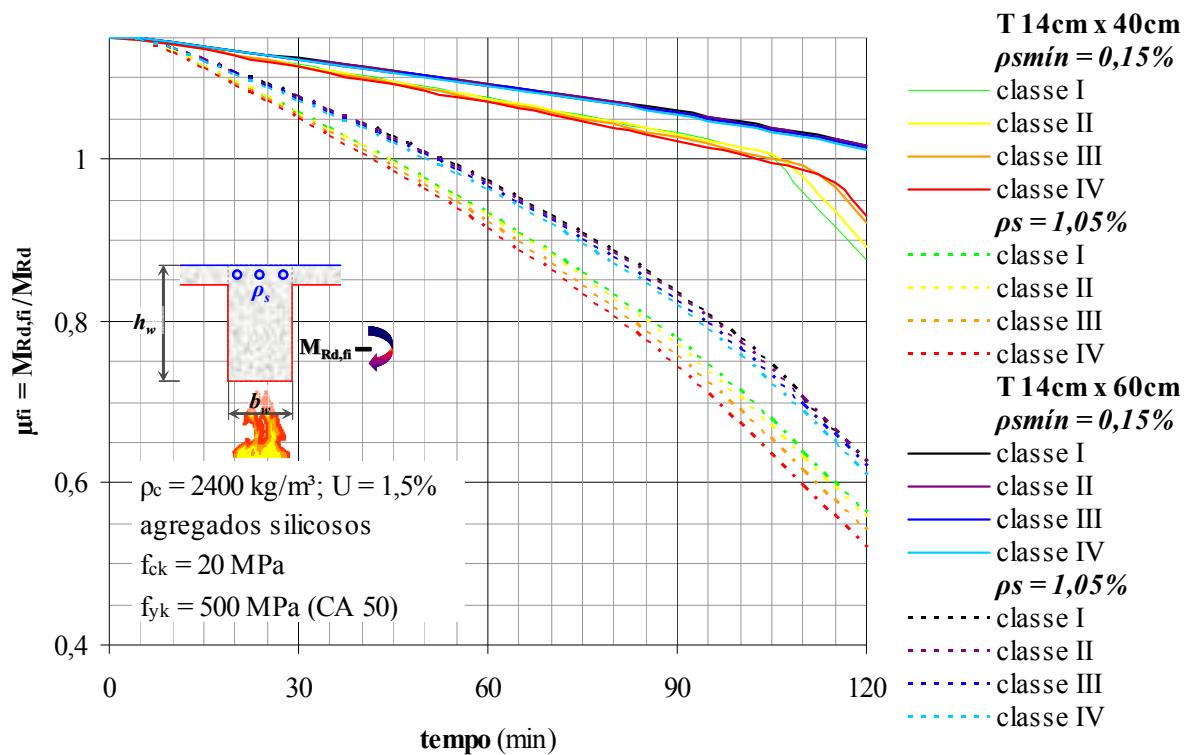


Figura C.37: Momentos negativos, seções T 14 cm x $h_w \leq 60$ cm, armadura distribuída em 1 camada.

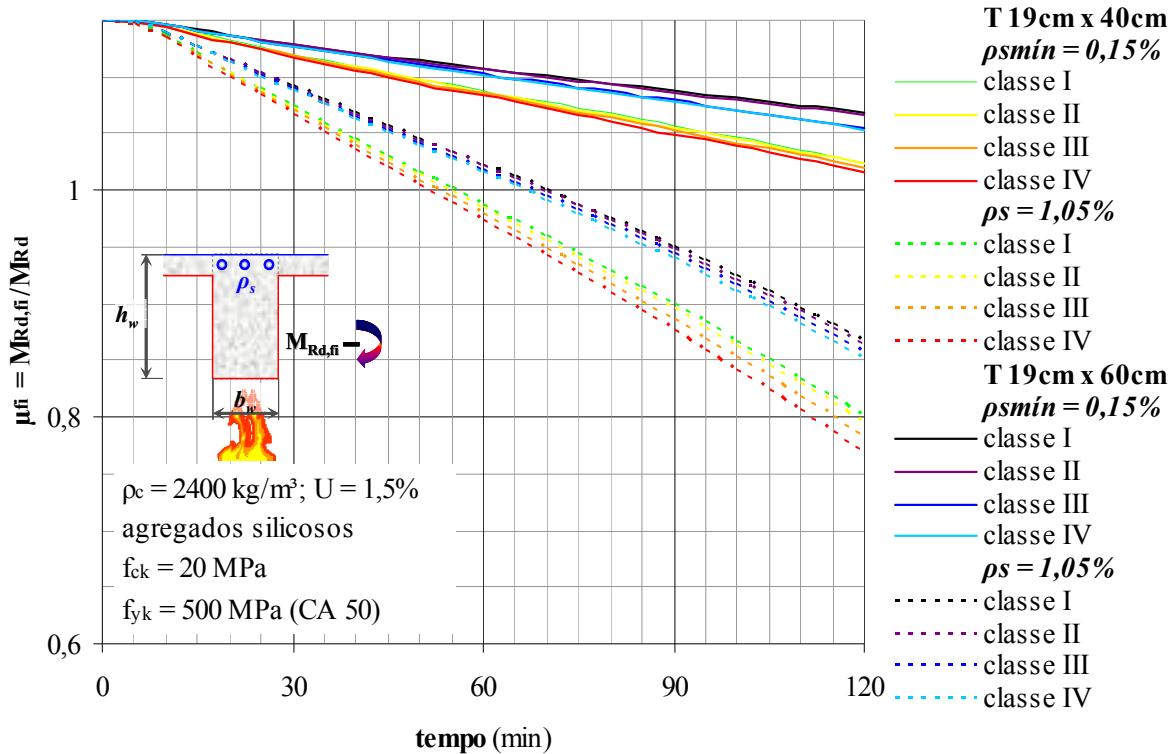


Figura C.38: Momentos negativos, seções T 19 cm x 40 cm $\leq h_w \leq 60$ cm, armadura distribuída em 1 camada.

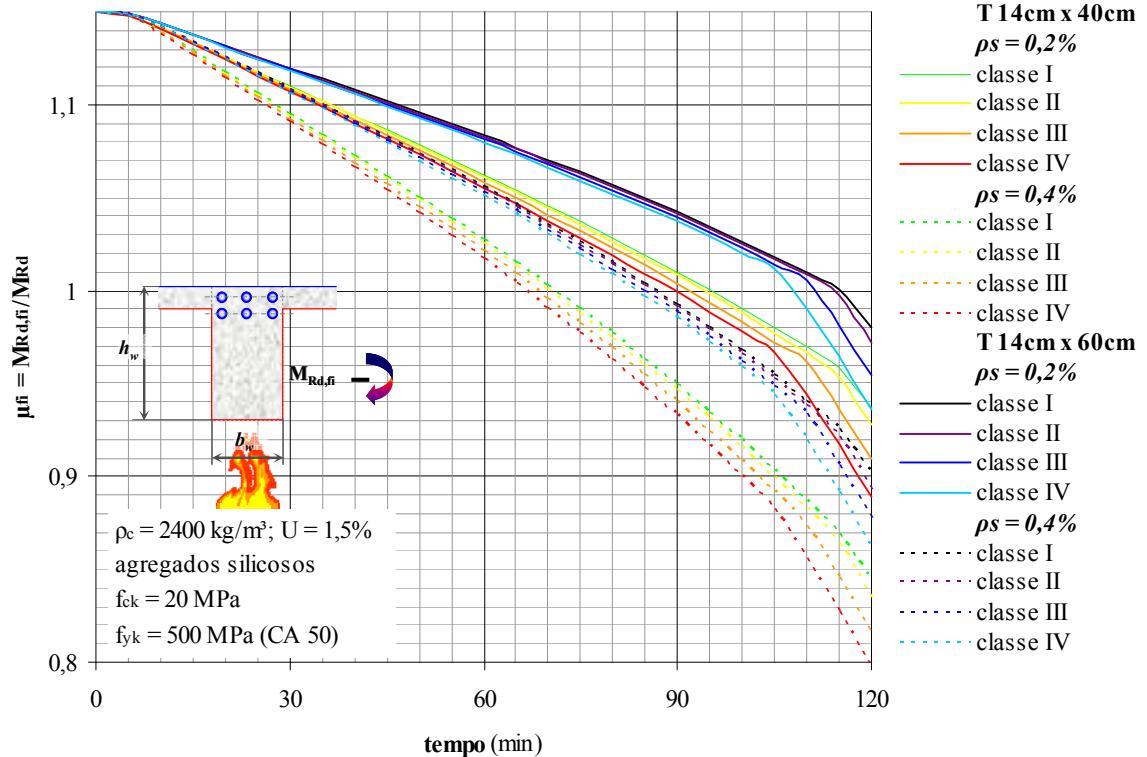


Figura C.39: Momentos negativos, seções T 14 cm x 40 cm $\leq h_w \leq 60$ cm, armadura em 2 camadas iguais.

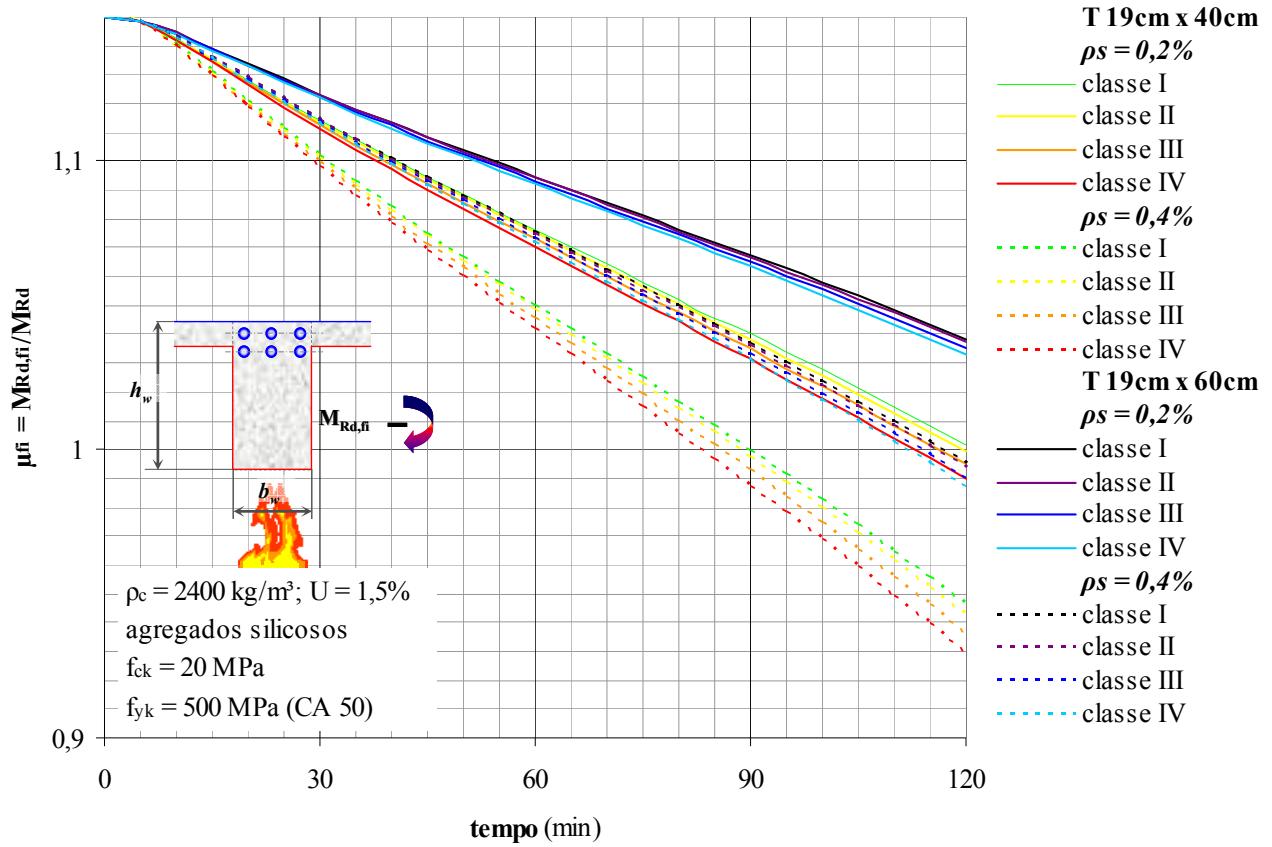


Figura C.40: Momentos negativos, seções T 19 cm x 40 cm $\leq h_w \leq 60$ cm, armadura em 2 camadas iguais.

