

**CONSTRU  
METAL**  
2023

**2 1 s e t**  
8 h - 21 h  
allianz parque  
são paulo - sp

# CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

**Francal Feiras** DESDE 1969

# Ferramenta Computacional para dimensionamento de lajes mistas em situação de incêndio

Créditos: Bianca Santos, Débora Guimarães, Lucas Favarato e  
Macksuel de Azevedo  
Universidade Federal do Espírito Santo

## AUTORES



**Bianca Santos**

---

**Autora Principal**  
Graduanda em Eng. Civil  
UFES



**Débora Guimarães**

---

Mestranda em Eng. de Estruturas  
EESC-USP  
Especialista em Desenv. da  
Construção  
ArcelorMittal Tubarão



**Lucas Favarato**

---

Mestre em Eng. de Estruturas  
UFES



**Macksuel de Azevedo**

---

Prof. Dr. Em Engenharia Civil  
UFES

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

MATERIAIS E MÉTODOS

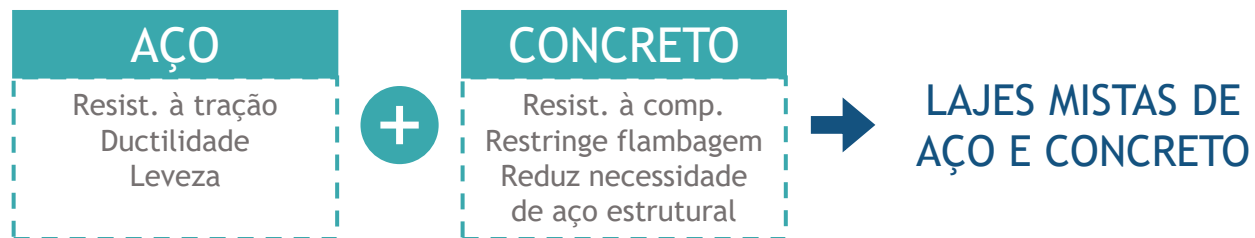
RESULTADOS

CONCLUSÃO



# INTRODUÇÃO

Estruturas mistas surgiram, primeiramente, apenas como uma forma de proteger o aço contra o fogo e a corrosão.



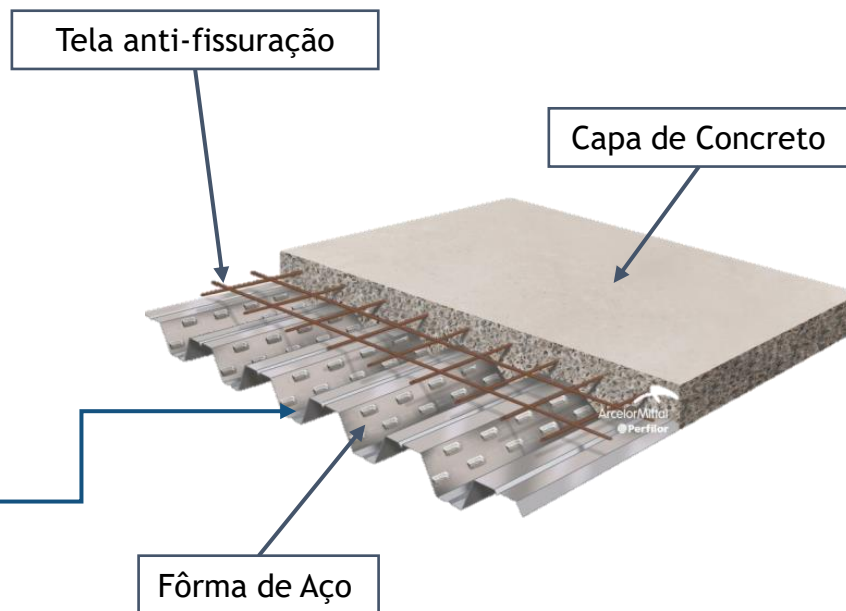
Métodos ativos utilizados para que a estrutura metálica resista ao incêndio:

- Pintura intumescente
- Argamassa projetada

Adicionar armaduras positivas nas nervuras das lajes

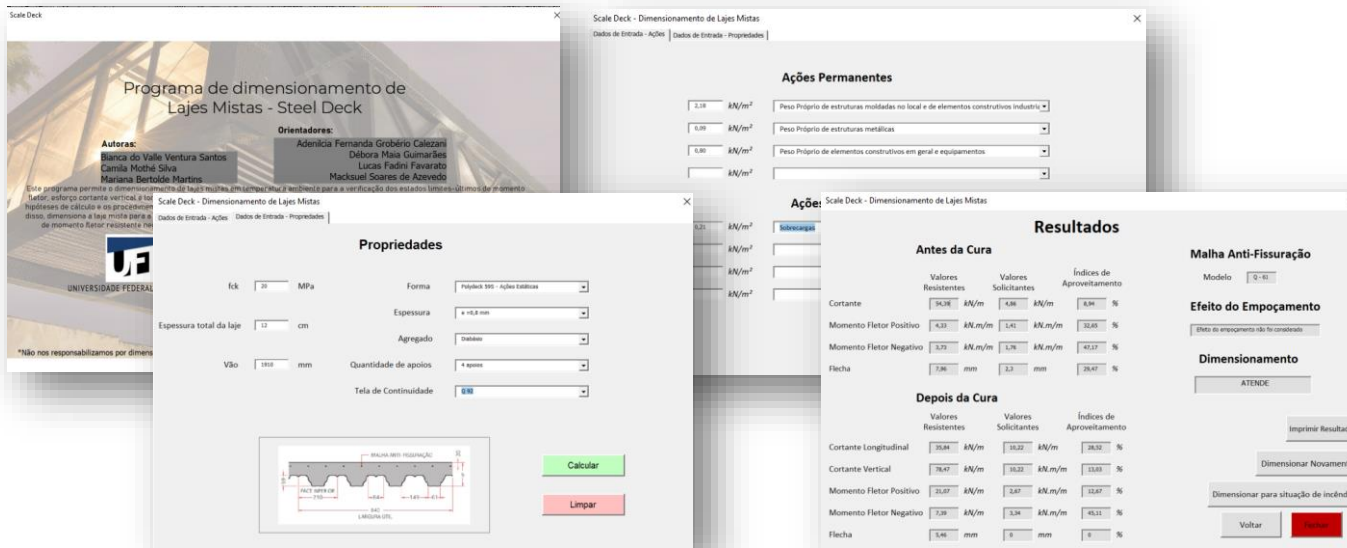
Faltam ferramentas computacionais para verificação e dimensionamento das lajes mistas em situação de incêndio.

↑ condutividade térmica



Fonte: ArcelorMittal Perfilor (2022)

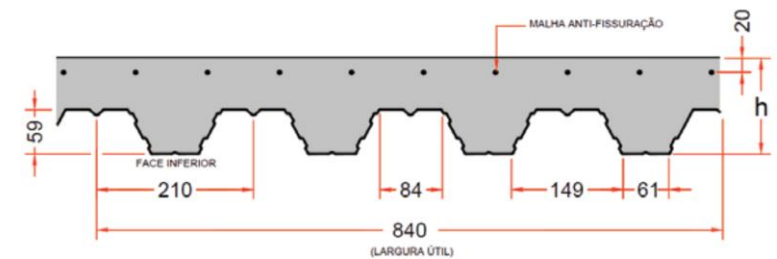
Esse trabalho visa estender o programa desenvolvido por Silva et al. (2021) chamado *Scale Deck*, que verifica lajes mistas em temperatura ambiente, para incluir a análise quanto ao incêndio.



Fonte: Silva et al (2021)

## Polydeck 59S

MATERIAL	AÇO	ACABAMENTO	ESPESSURA (MM)
Aço Zincado	ZAR 280	Z275	0,80 / 0,95 / 1,25



Fonte: ArcelorMittal Perfilor (2022)

A estrutura deve atender a critérios de forma que o colapso seja evitado por tempo suficiente para que:

1. Os ocupantes fujam
2. Permitam as operações de combate
3. Minimizem os danos das edificações adjacentes

Método do Tempo Equivalente -  
NBR 14323:2013



Método Tabular - IT 08/2019

Grupo	Ocupação/uso	Distrito	Profundidade do rebordo h <sub>r</sub>			Altura de edificação h												
			Classe S1 h <sub>r</sub> ≤ 10m	Classe S2 10m < h <sub>r</sub> ≤ 15m	Classe S3 15m < h <sub>r</sub> ≤ 20m	Classe P1 6m < h &lt; 12m	Classe P2 12m < h &lt; 23m	Classe P3 23m < h &lt; 30m	Classe P4 30m < h &lt; 60m	Classe P5 60m < h &lt; 120m	Classe P6 120m < h &lt; 150m	Classe P7 150m < h &lt; 200m	Classe P8 200m < h &lt; 250m					
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
B	Serviços de hospedagem	B-1 a B-2	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
D	Serviços profissionais, técnicos e serviços	D-1 a D-4	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-4	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, F-6, F-7, F-8, F-9, F-10, F-11, F-12, F-13, F-14, F-15, F-16, F-17, F-18, F-19, F-20	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
G	Serviços automotivos	G-1 a G-3 G-4 a G-5 G-6 a G-7 G-8 a G-9	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
H	Serviços de saúde e instituições	H-1 a H-4 H-5, H-6, H-7, H-8, H-9, H-10, H-11, H-12, H-13, H-14, H-15, H-16, H-17, H-18, H-19, H-20, H-21, H-22, H-23, H-24, H-25, H-26, H-27, H-28, H-29, H-30, H-31, H-32, H-33, H-34, H-35, H-36, H-37, H-38, H-39, H-40, H-41, H-42, H-43, H-44, H-45, H-46, H-47, H-48, H-49, H-50, H-51, H-52, H-53, H-54, H-55, H-56, H-57, H-58, H-59, H-60, H-61, H-62, H-63, H-64, H-65, H-66, H-67, H-68, H-69, H-70, H-71, H-72, H-73, H-74, H-75, H-76, H-77, H-78, H-79, H-80, H-81, H-82, H-83, H-84, H-85, H-86, H-87, H-88, H-89, H-90, H-91, H-92, H-93, H-94, H-95, H-96, H-97, H-98, H-99, H-100	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	
I	Industrial	I-1 a I-4 I-5 a I-8 I-9 a I-12 I-13 a I-16 I-17 a I-20 I-21 a I-24 I-25 a I-28 I-29 a I-32 I-33 a I-36 I-37 a I-40 I-41 a I-44 I-45 a I-48 I-49 a I-52 I-53 a I-56 I-57 a I-60 I-61 a I-64 I-65 a I-68 I-69 a I-72 I-73 a I-76 I-77 a I-80 I-81 a I-84 I-85 a I-88 I-89 a I-92 I-93 a I-96 I-97 a I-100	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	180
J	Depósitos	J-1 a J-4 J-5 a J-8 J-9 a J-12 J-13 a J-16 J-17 a J-20 J-21 a J-24 J-25 a J-28 J-29 a J-32 J-33 a J-36 J-37 a J-40 J-41 a J-44 J-45 a J-48 J-49 a J-52 J-53 a J-56 J-57 a J-60 J-61 a J-64 J-65 a J-68 J-69 a J-72 J-73 a J-76 J-77 a J-80 J-81 a J-84 J-85 a J-88 J-89 a J-92 J-93 a J-96 J-97 a J-100	90	60	30	30	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	180
L	Explosivos	L-1, L-2, L-3 L-4, L-5, L-6 L-7, L-8, L-9 L-10, L-11, L-12 L-13, L-14, L-15 L-16, L-17, L-18 L-19, L-20, L-21 L-22, L-23, L-24 L-25, L-26, L-27 L-28, L-29, L-30 L-31, L-32, L-33 L-34, L-35, L-36 L-37, L-38, L-39 L-40, L-41, L-42 L-43, L-44, L-45 L-46, L-47, L-48 L-49, L-50, L-51 L-52, L-53, L-54 L-55, L-56, L-57 L-58, L-59, L-60 L-61, L-62, L-63 L-64, L-65, L-66 L-67, L-68, L-69 L-70, L-71, L-72 L-73, L-74, L-75 L-76, L-77, L-78 L-79, L-80, L-81 L-82, L-83, L-84 L-85, L-86, L-87 L-88, L-89, L-90 L-91, L-92, L-93 L-94, L-95, L-96 L-97, L-98, L-99 L-100	120	90	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	180	180	180
M	Especial	M-1 a M-4 M-5 a M-8 M-9 a M-12 M-13 a M-16 M-17 a M-20 M-21 a M-24 M-25 a M-28 M-29 a M-32 M-33 a M-36 M-37 a M-40 M-41 a M-44 M-45 a M-48 M-49 a M-52 M-53 a M-56 M-57 a M-60 M-61 a M-64 M-65 a M-68 M-69 a M-72 M-73 a M-76 M-77 a M-80 M-81 a M-84 M-85 a M-88 M-89 a M-92 M-93 a M-96 M-97 a M-100	120	90	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	180	180	180
K	Energia	K-1 a K-4 K-5 a K-8 K-9 a K-12 K-13 a K-16 K-17 a K-20 K-21 a K-24 K-25 a K-28 K-29 a K-32 K-33 a K-36 K-37 a K-40 K-41 a K-44 K-45 a K-48 K-49 a K-52 K-53 a K-56 K-57 a K-60 K-61 a K-64 K-65 a K-68 K-69 a K-72 K-73 a K-76 K-77 a K-80 K-81 a K-84 K-85 a K-88 K-89 a K-92 K-93 a K-96 K-97 a K-100	120	90	60	60	120	120	150	180	180	180	180	180	180	180	180	180

Para isso, elas devem atender aos seguintes requisitos:

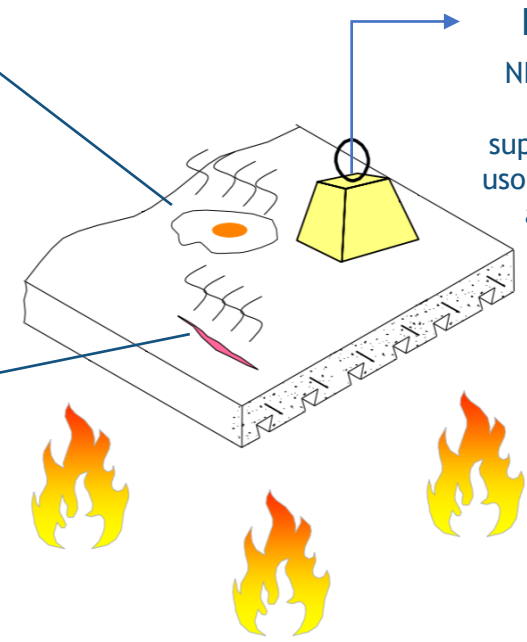
NBR 14323:2013 →  
Altura efetiva mínima da laje

TRRF min	Espessura efetiva mínima h <sub>ef</sub> mm
30	60
60	80
90	100
120	120
180	150

Isolamento Térmico

Estabilidade  
NBR 14323:2013 →  
verifica se vai suportar as cargas de uso + do incêndio com as propriedades reduzidas

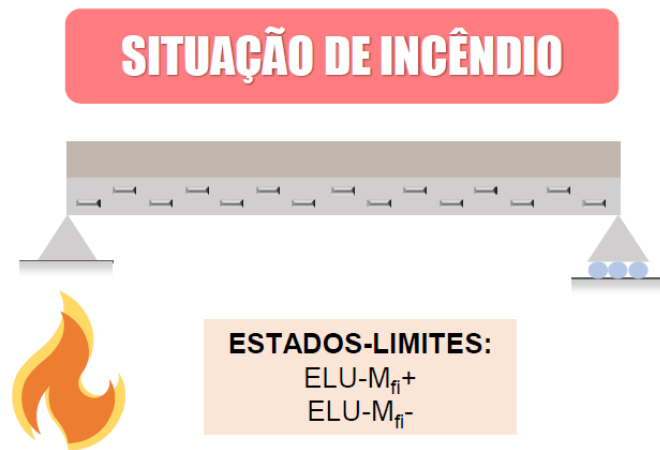
✓ Estaqueidade



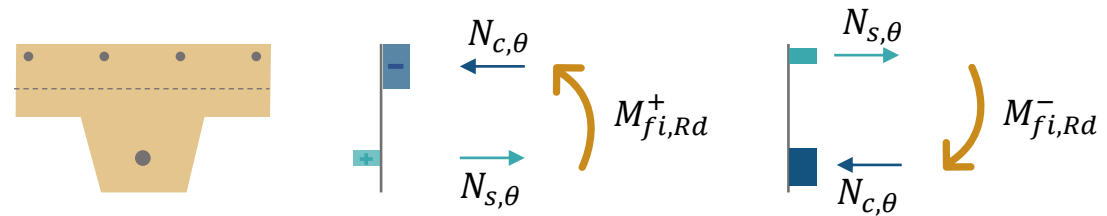
Fonte: Azevedo (2018)

O dimensionamento adotado neste trabalho tem como base os métodos analíticos da NBR 14323:2013, mais especificamente o método simplificado.

Assim, para manter a estabilidade, precisamos calcular os momentos resistentes positivo e negativo:



Fonte: Favarato (2021)



Iguala ao solicitante →  
Combinação Última Excepcional

Área de aço na armadura positiva  
adicional e na tela soldada  
superior.

## Dados de Entrada Adicionais à Temperatura Ambiente:

1. Resistência ao escoamento da armadura adicional;
2. Características da edificação:
  1. Uso/ocupação;
  2. Altura da edificação;
  3. Área de ventilação;
  4. Altura do piso habitável mais elevado;
  5. Área de piso;
  6. Altura do compartimento.
3. Projeto contra incêndio:
  1. Chuveiro automáticos;
  2. Brigada de incêndio;
  3. Detecção automática.

Dimensionamento em situação de incêndio

### PROPRIEDADES

Uso/ocupação: Residencial

Descrição: Habitação coletiva

Altura da edificação: 6m<h≤12m m

fyk: 500 MPa

Área de piso: 3000 m<sup>2</sup>

Área de ventilação vertical: 100 m<sup>2</sup>

Área de ventilação horizontal: 100 m<sup>2</sup>

Altura do piso habitável mais elevado: 2 m

Altura do compartimento: 2 m

Existência de chuveiros automáticos: SIM

Existência de brigada contra incêndios: SIM

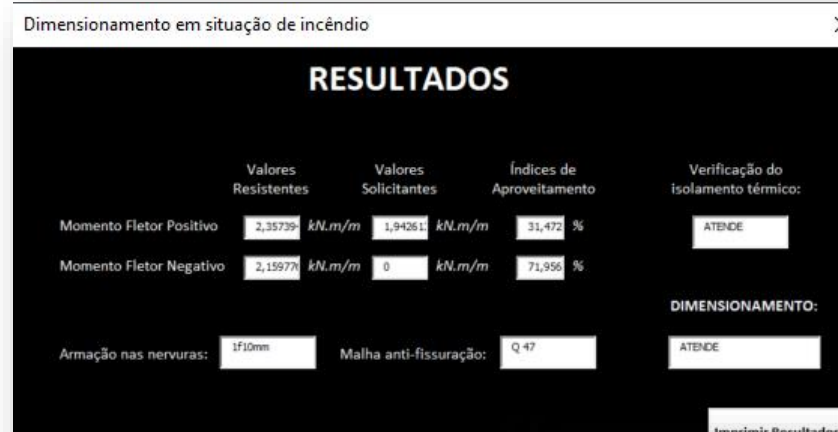
Existência de detecção automática: NÃO

Densidade do concreto: Baixa

CALCULAR VOLTAR

## Saída:

1. Tela de Resultados:
  1. Momentos solicitantes e resistentes, índice de aproveitamento e situação (atende ou não);
  2. Tela anti-fissuração necessária para combater momento fletor negativo;
  3. Armadura adicional para combate ao momento fletor positivo.
2. Memória de Cálculo
  1. Dados de entrada;
  2. TRRF tabular e equivalente;
  3. Coeficientes considerados;
  4. Resultados gerais.



### Verificação - Laje mista em situação de incêndio

Dados de entrada					
Ocupação/uso	Residencial	Área de ventilação vertical (m2)	100	Quantidade de apoios	4 apoios
Descrição	Habituação coletiva	Área de ventilação horizontal (m2)	100	Existência de chuveiros automáticos	SIM
Altura da edificação (m)	6m-h<math>h_{12}</math>m	Área de piso (m2)	3000	Existência de brigada contra incêndio	SIM
Tamanho do vão (m)	1,91	Altura do piso habitável mais elevado (m)	2	Existência de detecção automática	NÃO
$f_yk$ (Mpa)	500	Altura da laje (m)	0,12	Densidade do concreto	Baixa
$f_{ck}$ (Mpa)	20	Altura do compartimento (m)	2		

Características construtivas do Polydeck 55s

$h_f$ (mm)	59	Concreto		Laje	
$t_c$ (mm)	61			Armadura	
$b_f$ (mm)	126				
$b_f$ (mm)	84				
$b_f$ (mm)	61				
$u_{f1}$ (mm)	45				
$u_{f2}$ (mm)	35				
$u_{f3}$ (mm)	55				

Forma de aço

Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)			Verificação do isolamento térmico	
Método do tempo equivalente	Método tabular		$t_r \geq 40$ mm	OK
W	2,32	$\gamma_r$	$h_{ef}$ (mm)	87,27
$\gamma_r$	0,54	$q_{fr}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$h_{ef,req}$ (mm)	60
$\gamma_r$	1,15	$t_{eq}$ (min)		
			Resultado	OK
TRRF (min):	30			

### Esforços Resistentes de Cálculo

Momento fletor positivo de cálculo ( $M_{f,Ed}^+$ )					Momento fletor negativo de cálculo ( $M_{f,Ed}^-$ )				
BARRAS DE ARMADURA					BARRAS DE ARMADURA				
$c_s$	809	$c_s$	0,48	$\alpha$ (°)	61,15	$N_{s,d}$			23,5
$c_t$	-135	$c_s$	-315	$\phi_s$	203,03	CONCRETO NAS NERVURAS			
$c_c$	-243	$z$ (mm <sup>1/2</sup> )	2,00	$x_{s,0}$ (cm)	0,993886677	$d_s$	524	$d_s$	-392
$c_s$	-0,7	$A/Lr$	28,19	$k_{s,0}$	1	$d_t$	-0,00016	$\phi$	0,75
$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)					39,27	$d_t$	-3,43	$\alpha$ (°)	61,15
						$d_t$	-80	$z_0$	1,45
$\phi_c$	209,25	$k_{s,d}$	0,94	$N_{s,d}$	39,27	$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,47	$\phi_{lim}$	361,81
								$N_{s,d}$	23,5
$M_{f,Ed}^+$ (kN.cm/m)	2,357	Armação nas nervuras	1f10mm	$M_{f,Ed}^-$ (kN.cm/m)	2,160	Tela anti fissuração	Q 47		

### Esforços Solicitantes de Cálculo

Quantidade de apoios	$M_{f,Ed}^+$	Coefficiente de aproveitamento (%)	$M_{f,Ed}^+$	Coefficiente de aproveitamento (%)	$M_{f,Ed}^-$ (kN.m/m)	$M_{f,Ed}^-$ (kN.m/m)
2 apoios	1,94	62,405086	0	0,00000		
3 apoios	1,09	46,352861	31,47248016	1,94	89,94511	71,9560496
4 apoios	0,74	31,472480	1,55	71,95608	0,74	1,55

Para validação, foi feito um exemplo presente em Favarato (2021), onde tem-se um edifício comercial com as seguintes características:

- Altura total da laje: 12 cm
- Vão: 1,91 m
- Carregamentos:
  - Revestimento de piso com 4 cm de espessura ( $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ )
  - Sobrecarga de utilização de  $500 \text{ kgf/m}^2$

	PROGRAMA	VALIDAÇÃO	RAZÃO
TRRF (min)	60	60	1
$\theta_s$ (°C)	339,45	339,48	0,9999
$k_{s,\theta}$	1	1	1
$x_{fi}$ [cm]	1,133	1,133	1
$N_{s,\theta}$ [kN/m]	39,27	39,50	0,9942
$\theta_c$ [°C]	324,48	324,40	1,0002
$k_{c,\theta}$	0,83	0,83	1
$N_{c,\theta}$ [kN/m]	39,27	39,49	0,9944
$M_{fi,Rd}^+$ [kNm/m]	233,02	234,37	0,9942
$A_{s,\theta}$ [cm <sup>2</sup> /m]	0,79 (1 $\phi$ 10mm)	0,79 (1 $\phi$ 10mm)	1
$\theta_{lim}$ [°C]	510,64	511,32	0,9987
$x_{fi}$ [cm]	0,50006	0,50006	1
$N_{s,\theta}^-$ [kN/m]	23,5	23,5	1
$M_{fi,Rd}^-$ [kNm/m]	205,83	205,84	1
$A_{s,\theta}^-$ [cm <sup>2</sup> /m]	0,47 (Q47)	0,47 (Q47)	1

Não há no mercado brasileiro uma ferramenta computacional para dimensionar lajes mistas em situação de incêndio, assim, este trabalho disponibiliza à comunidade acadêmica e profissional um software de interface fácil capaz de:

- Verificar lajes mistas com Polydeck 59S em temperatura ambiente;
- Dimensionar lajes mistas em situação de incêndio de acordo com normas brasileiras e instruções aplicáveis.

Diferencial é que permite que o usuário escolha os dados de entrada e informe as características da edificação para obter o TRRF, não tendo que procurar por essas informações em tabelas. Também permite a diferenciação das cargas permanentes e variáveis, gerando um dimensionamento mais preciso e econômico.

A ferramenta foi validada com um exemplo da literatura e apresenta bons resultados.

Como trabalhos futuros, seria interessante adicionar a aplicação de cargas pontuais e validação mais robusta da ferramenta.

## REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL PERFILOR. Polydeck 59S - Forma-laje “Steel Deck”. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/polydeck-59s>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AZEVEDO, M. S. **Notas de aula de estruturas em situação de incêndio**. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Vitória, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica 08/19 - Segurança estrutural contra incêndio. São Paulo, 2019

FAVARATO, L. F. **Notas de aula de projeto, detalhamento e execução de lajes mistas de aço e concreto**. [S.l.]: Engeduca, 2021.

SILVA, C. M *et al.* **Desenvolvimento de programa computacional para dimensionamento de lajes mistas**. In: XIII Congresso de Construção Metálica e Mista, 2021. Anais do XIII Congresso de Construção Metálica e Mista, 2021.

# CONSTRU METAL 2023

**2 1 s e t**  
8 h - 21 h  
allianz parque  
são paulo - sp



@congressoconstrumetal  
congressoconstrumetal.com.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOCIÓN

**Franca! Feiras** DESDE 1969