

**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

# DIMENSIONAMENTO DE PISOS MISTOS DE AÇO E CONCRETO SUBMETIDOS À VIBRAÇÃO DEVIDA AO CAMINHAR HUMANO

**Autores:** Carlos Eduardo Wolkartt Vago e Hiago Fernando Vagmaker Gonçalves

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adenilcia Fernanda Grobério Calenzani (UFES)

**Coorientador:** Eng<sup>o</sup>. Lucas Fadini Favarato



Universidade Federal  
do Espírito Santo



ArcelorMittal



**Carlos Eduardo  
Wolkartt Vago<sup>1</sup>**



**Hiago Vagmaker<sup>2</sup>**



**A. Fernanda  
Calenzani<sup>3</sup>**



**Lucas Fadini  
Favarato<sup>4</sup>**



## INTRODUÇÃO



Figura 1: Steel Deck na fase de construção.  
Fonte: Favarato (2021a)

“Denomina-se sistema misto aço-concreto àquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto (geralmente armado), formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista” (QUEIROZ et al, 2012, p.10).



## VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO STEEL DECK

- Redução do peso próprio da estrutura
- Redução do consumo de concreto
- Redução do tempo de montagem e execução
- Possibilidade de execução sem a presença de escoras
- Aumento da produtividade
- Menores perdas



Figura 2: Piso misto - Fase de construção.  
Fonte: Visual Estruturas Metálicas (2022)

## COMPONENTES

- ❑ Vigas de aço (principais e secundárias)
- ❑ Conectores de cisalhamento
- ❑ Fôrmas de aço
- ❑ Mossas
- ❑ Armadura em malha
- ❑ Concreto

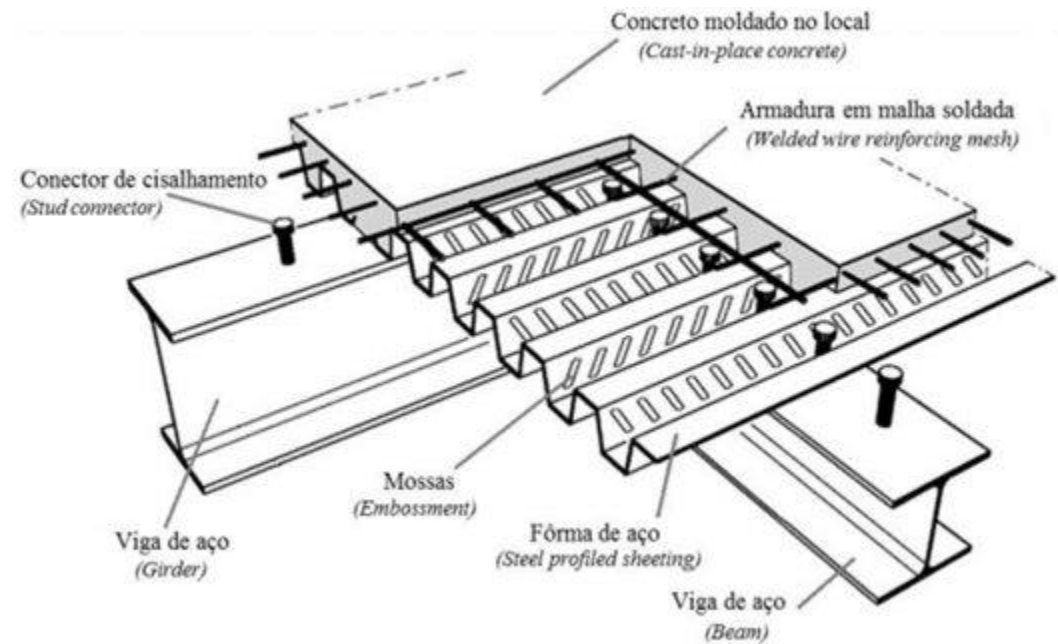


Figura 3: Laje mista de aço e concreto.  
Fonte: Crisinel e O'leary (1996)

# DIMENSIONAMENTO DA LAJE MISTA E VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

- ❑ Verificação da fôrma de aço na fase inicial (Fase de construção):

Estados-limites últimos

Estados-limites de serviço



De acordo com a ABNT NBR 14762:2010 “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”


- ❑ Verificação da laje na fase final (Fase de utilização):

Estados-limites últimos

Estados-limites de serviço

- ❑ Disposições construtivas

- ❑ Vigas mistas de aço e concreto



De acordo com a ABNT NBR 8800:2008 “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”



# DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS PELO CATÁLOGO TÉCNICO DO POLYDECK 59S - ARCELORMITTAL PERFILOR

(a) Dois apoios



(b) Três apoios



(c) Quatro apoios



Figura 4: Tipos de sistema.  
Fonte: Favarato (2021b)

SISTEMA 3 APOIOS - Vão máximo sem escora: 3,00 m

Vão (m)	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80
11	1259	1044	879	752	650	568	500	445							
12	1385	1148	968	827	715	625	551	288							
13	1512	1245	1057	903	781	683	379	311	254						
14	1639	1359	1146	979	847	740	407	334	272						
15	1767	1465	1235	1055	913	532	436	357	291						
16	1894	1571	1324	1132	979	568	465	380	309						
17	2022	1677	1414	1208	737	604	494	404	328	264					
18	2150	1783	1503	1285	781	640	524	427	347	278					
19	2278	1889	1593	1012	826	676	553	451	366	293					
20	2407	1996	1683	1067	871	712	582	475	384	308					
21	2535	2103	1773	1122	915	749	612	498	403	323	254				
22	2664	2210	1451	1177	960	785	641	522	422	338	266				
23	2793	2317	1520	1233	1005	821	671	546	441	353	277				
24	2923	2424	1588	1289	1050	858	701	570	460	368	289				
25	3052	1852	1657	1344	1096	895	730	594	480	383	301				

Sem escoramento    
  Com escoramento

Figura 5: Tabela de sobrecargas admissíveis úteis para sistemas de 3 apoios e espessura de 0,80 mm.

Fonte: ArcelorMittal (2016)

$$1 \frac{daN}{m^2} \approx 1 \frac{kfg}{m^2}$$

- ❑ Variáveis de entrada: Carga sobreposta à laje e tamanho dos vãos.
- ❑ Variáveis de saída: Espessura da laje mista, consumo de aço, consumo de concreto e tela anti-fissuração.

# VIBRAÇÕES EXCESSIVAS RELACIONADAS AO CONFORTO HUMANO

Segundo o Anexo I do Projeto de Revisão da ABNT NBR 8800, “Estruturas de pisos com pouca massa e amortecimento reduzido podem estar sujeitas a vibrações que causam desconforto durante as atividades humanas normais ou causam prejuízo ao funcionamento de equipamentos [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

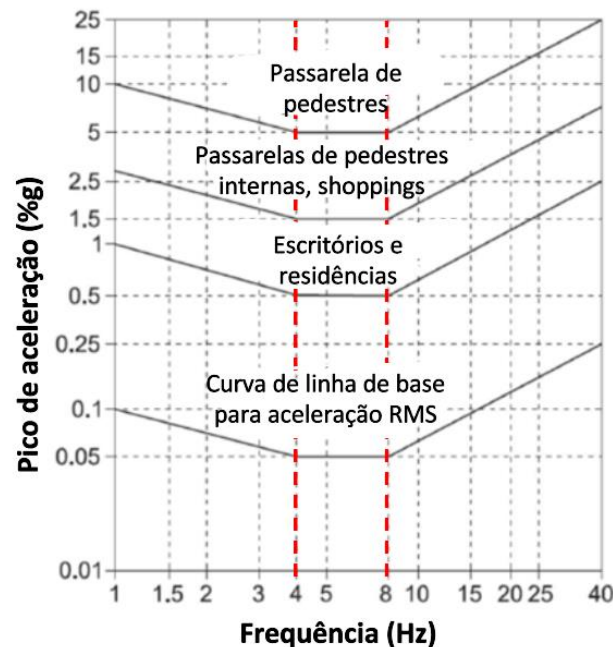


Figura 6: Limites de tolerância recomendada para o conforto humano.

Fonte: Murray et al. (2016)

Segundo o Steel Design Guide 11 (MURRAY et al., 2016), a reação das pessoas que sentem a vibração depende muito do que estão fazendo.

- ❑ Faixa de frequências de ressonância dos órgãos internos humano: Entre 4 e 8 Hz

# VERIFICAÇÃO DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS CAUSADAS PELO CAMINHAR HUMANO

## *Steel Design Guide 11*

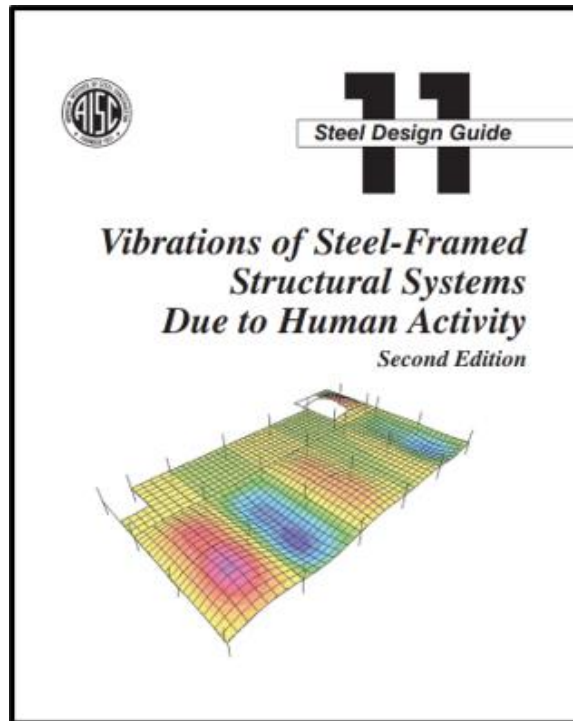


Figura 7: *Steel Design Guide 11*.  
Fonte: Murray et al. (2016)

## Anexo I do Projeto de Revisão ABNT NBR 8800



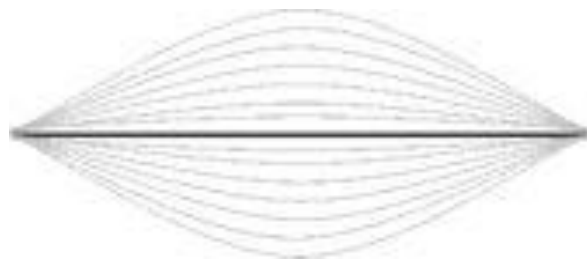
Figura 8: Projeto de revisão ABNT NBR 8800.  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022)

## VERIFICAÇÃO DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS CAUSADAS PELO CAMINHAR HUMANO

□ Frequência fundamental ou natural de pisos mistos ( $f_0$  - Dado em Hz):

Segundo Murray *et al.* (2016) a frequência natural é a frequência na qual o corpo ou estrutura sofrerá vibrações quando deslocado e posteriormente liberado.

$$3 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 9 \text{ Hz}$$



**Estrutura experimentando o fenômeno de ressonância**

## IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional da planilha de cálculo **DIMENSIONAMENTO E VALIDAÇÃO DE PISOS MISTOS\_v.1.0** se deu no ambiente *Microsoft Office Visual Basic for Application 2016 (VBA)*, a partir da linguagem de programação *Visual Basic*. A ferramenta foi escolhida pela facilidade de programação e implementação dos códigos utilizando a linguagem de programação Visual Basic.



# IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A. DADOS DE ENTRADA			COMENTÁRIO(S)
<b>A.1) Geometria do módulo</b>			(A) Os coeficientes de majoração e ponderação das cargas devem ser determinados de acordo com a versão mais atualizada da ABNT NBR 14762; (B) Os cálculos contidos nos Itens C, D, E e F estão de acordo com a ABNT NBR 8800:2008; (C) Os cálculos contidos no Item G estão de acordo com o <i>Steel Design Guide 11 - 2ª Edition</i> ; (D) Os cálculos contidos no Item H estão de acordo com o Anexo I do Projeto de Revisão ABNT NBR 8800:2022.
DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	VALOR	
Comprimento	$L_M$	7,50 m	
Largura	$B_M$	7,50 m	
Quantidade de vigas secundárias	$N_{vs}$	2	
Quantidade de vigas principais (Considerando todo o sistema)	$N_{vp}$	3	
Espessura da chapa de aço do Polydeck 59S	$t_f$	0,95 mm	
Altura da laje mista	$h_{LM}$	15 cm	
Flecha limite	$\delta_{lim}/L$	1/350	
Tipo de construção para análise de vibração (Steel Design Guide 11 - 2ª Edition)	Caso 4 - ESCRITÓRIOS C/ DIVISÓRIAS ATÉ TETO		
Tipo de construção para análise de vibração (ABNT 8800:2022 - Anexo I)	Caso 1 - ESCRITÓRIOS CONVENCIONAIS E ESCOLAS		
<p><b>PISO TÍPICO</b></p> <p>Dimensões: <math>L_M = 7,50\text{ m}</math>, <math>B_M = 7,50\text{ m}</math></p> <p><b>Vigas secundárias</b></p> <p><math>VM_{p1}</math>, <math>VM_s</math>, <math>VM_{p2}</math></p> <p>                     VM<sub>s</sub>: viga mista secundária                      VM<sub>p1</sub>: viga mista primária 1                      VM<sub>p2</sub>: viga mista primária 2                 </p>			
LEGENDA			
XXX	Célula para a inserção de dados		
Opção	Escolha de uma opção entre as opções disponíveis		
XXX	Célula de cálculo e retornos dos resultados		

Figura 9: Planilha de cálculo DIMENSIONAMENTO E VALIDAÇÃO DE PISOS MISTOS\_v.1.0 .  
Fonte: Autores (2023)

## EXERCÍCIO DE VALIDAÇÃO - ADAPTADO DE FAKURY (2017)

O piso esquematizado pertence a um edifício comercial construído para receber escritórios e é constituído por vigas mistas biapoiadas. A laje é mista, com fôrma Polydeck 59S (aço galvanizado Z 275 estrutural ZAR 280) de 0,95 mm de espessura, altura total de 150 mm e  $f_{ck}$  igual a 25 MPa e agregado graúdo de gnaíse...

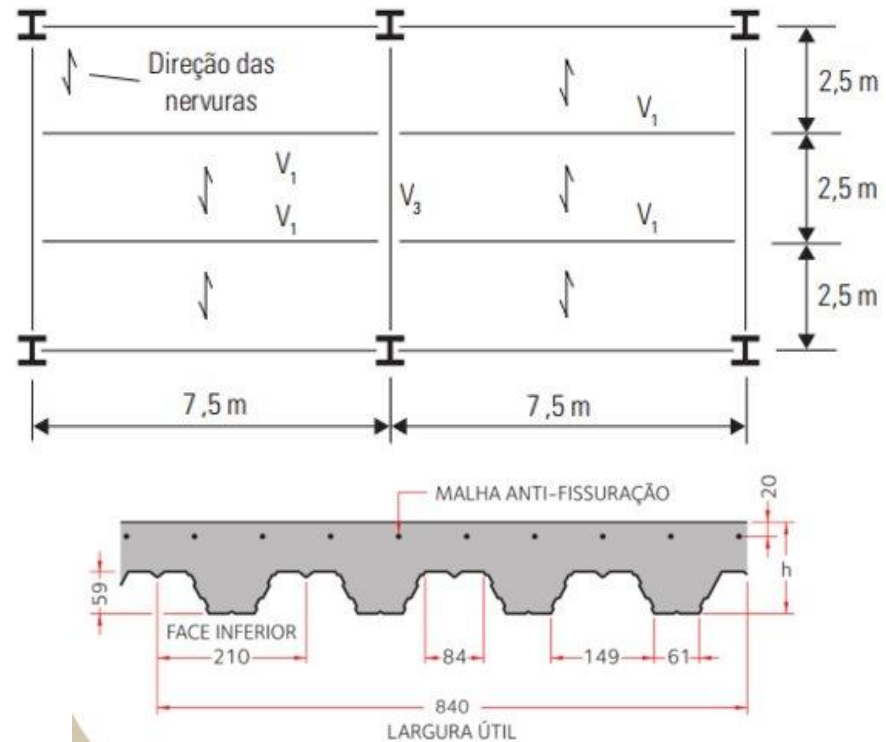
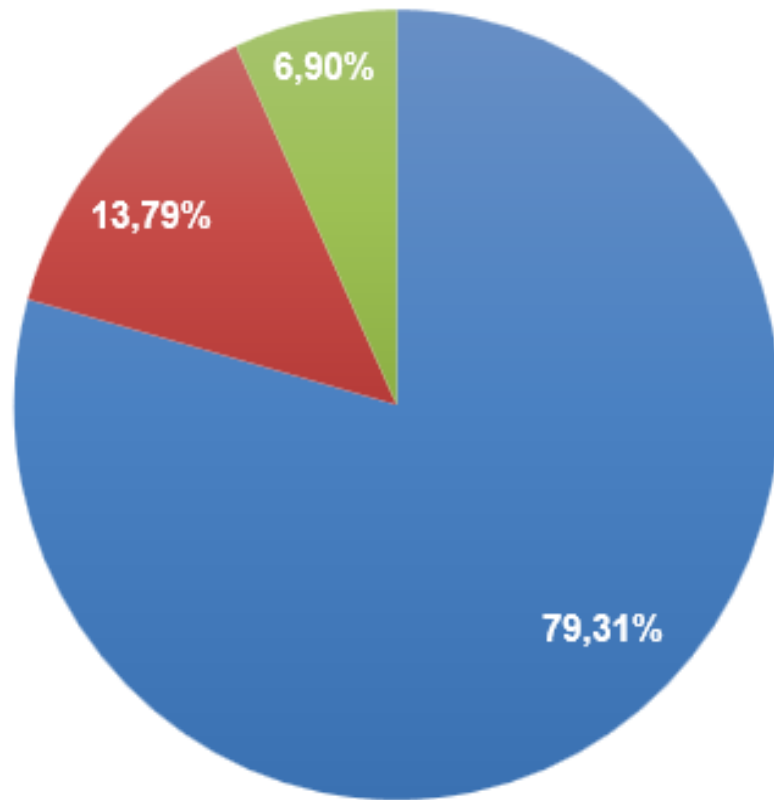


Figura 10: Dimensões da estrutura.  
Fonte: Autores (2023)

## DIMENSIONAMENTO E VALIDAÇÃO DE PISOS MISTOS\_v.1.0 vs. EXERCÍCIO DE VALIDAÇÃO



Total de valores comparados: 58

- $X \leq 1\%$
- $1\% < X \leq 2\%$
- $2\% < X \leq 4\%$

X: Diferença em porcentagem entre a comparação dos resultados obtidos na planilha de cálculo e o exercício de validação.

## APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DA PLANILHA DE CÁLCULO DIMENSIONAMENTO E VALIDAÇÃO DE PISOS MISTOS\_V.1.0

- ❑ Dimensionamento de lajes mistas com fôrmas de aço do tipo Polydeck 59S;
- ❑ Dimensionamento das vigas principais e secundárias para compor o piso misto:  
Estado limite último de momento fletor;  
Estado limite último de esforços cortantes;  
Estado limite de serviço de flechas.
- ❑ Verificação do estado limite de serviço de vibração excessiva.



## CONCLUSÕES

Desenvolvimento da planilha de cálculo DIMENSIONAMENTO E VALIDAÇÃO DE PISOS MISTOS\_v.1.0, que visa automatizar a verificação de pisos mistos de acordo com as normas vigentes, além da verificação dessas estruturas quanto à vibração devido ao caminhar humano, de acordo com o Projeto de Revisão da NBR 8800 de 2022 e o *Steel Design Guide 11*.



## REFERÊNCIAS

ArcelorMittal. **Catálogo Técnico Polydeck 59S**. São Paulo: Perfilor ArcelorMittal, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 247 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Revisão NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 277 p.

CRISINEL, Michel; O'LEARY, David. **Composite Floor Slab Design and Construction**. Structural Engineering International, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 41-46, fev. 1996. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.2749/101686696780495923>.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis de Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

## REFERÊNCIAS

FAVARATO, Lucas Fadini. **PROJETO, DETALHAMENTO E EXECUÇÃO DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO**: Aula 1 - Definições e conceitos básicos. Vitória: Engeduca, 2021a. 34 slides.

FAVARATO, Lucas Fadini. **PROJETO, DETALHAMENTO E EXECUÇÃO DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO**: Aula 2 - dimensionamento em temperatura ambiente. Vitória: Engeduca, 2021b. 173 slides, color.

MURRAY, Thomas M. et al. **Steel Design Guide 11**: vibrations of steel-framed structural systems due to human activity. 2. ed. Washington: American Institute Of Steel Construction, 2016.

Visual Estruturas Metálicas. **Lajes Steel Deck**. 2022. Disponível em: <https://visualestruturas.com.br/lajes/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

# AGRADECIMENTOS



# 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