

Análise aleatória de pisos de
escritórios e residenciais
submetidos a pessoas
caminhando

Dr. Eng. Mario Franco

July, 2012

Processos de vibração

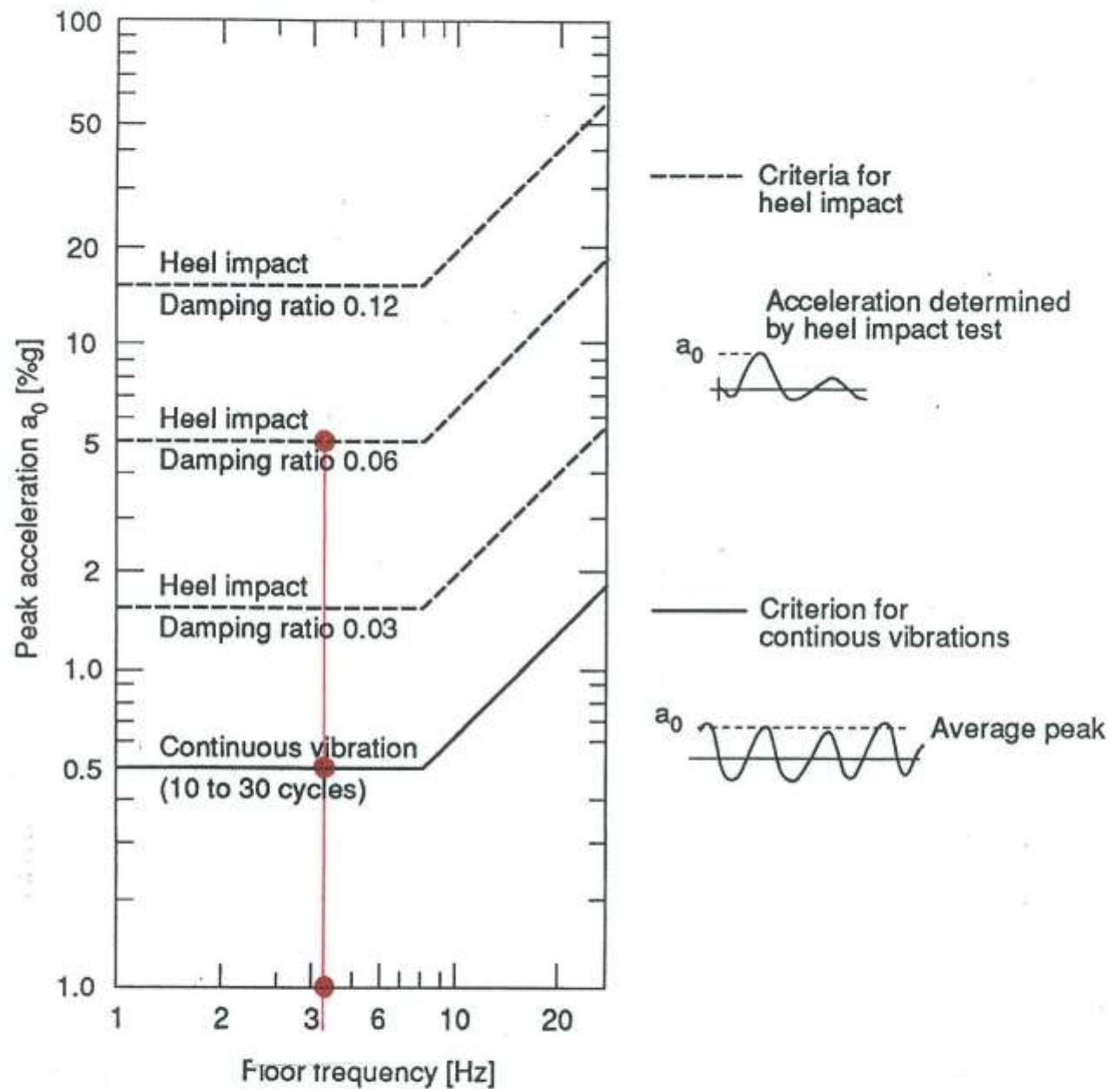
- Determinísticos: controle total de todos os parâmetros.
- Aleatórios: nenhum controle de um ou mais parâmetros.
- Método de Monte Carlo: simulação numérica de **N** tentativas, variando o(s) parâmetro(s) fora de controle através de seqüências numéricas pseudorandômicas geradas em computador.
- No caso de um certo número de pessoas de peso P caminhando, com:
 - frequência do passo, variando de **1.8 a 2.2 Hz**;
 - intensidade da força, variando de **0,52 P a 1,35 P** segundo uma função conhecida,as variáveis aleatórias são:
 1. O instante de chegada de cada pessoa.
 2. A frequência de passo de cada pessoa.

Vibrações induzidas por atividade humana

Saltar

Dançar

Caminhar

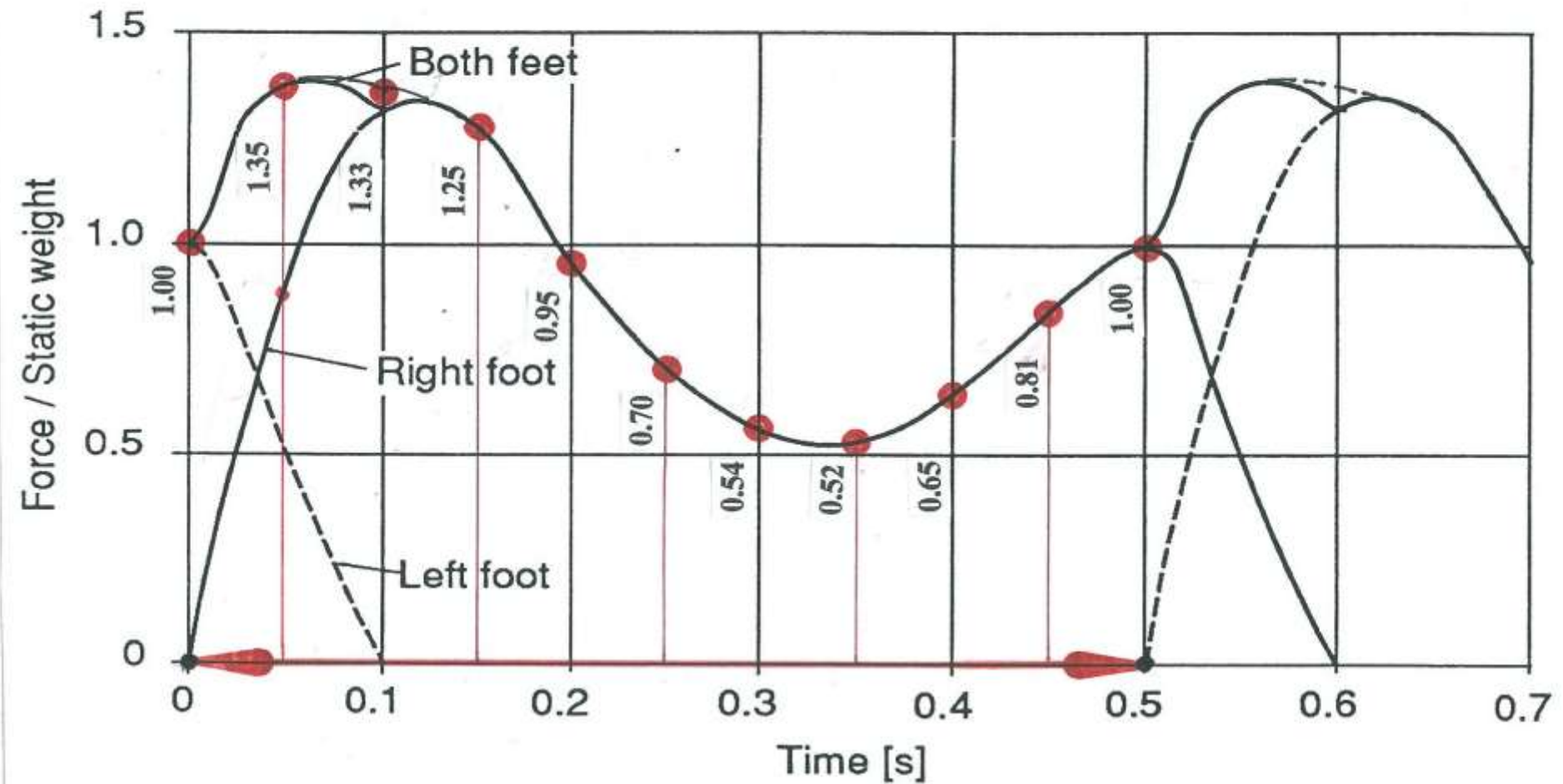


Acelerações transitórias e contínuas aceitáveis
CEB - Bulletin d'information n° 209, pag. 16

Amortecimento recomendado ξ para a análise
(fração do crítico)

CEB - Bulletin d'information n° 209, pag. 15

- piso crú **$\xi=0.03$**
- piso acabado (+ forro, dutos, pavimento, mobília) **$\xi=0.06$**
- piso acabado + divisórias **$\xi=0.12$**



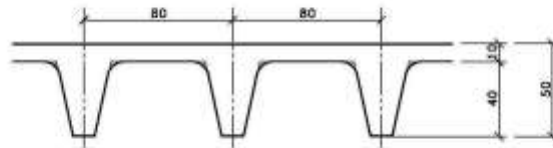
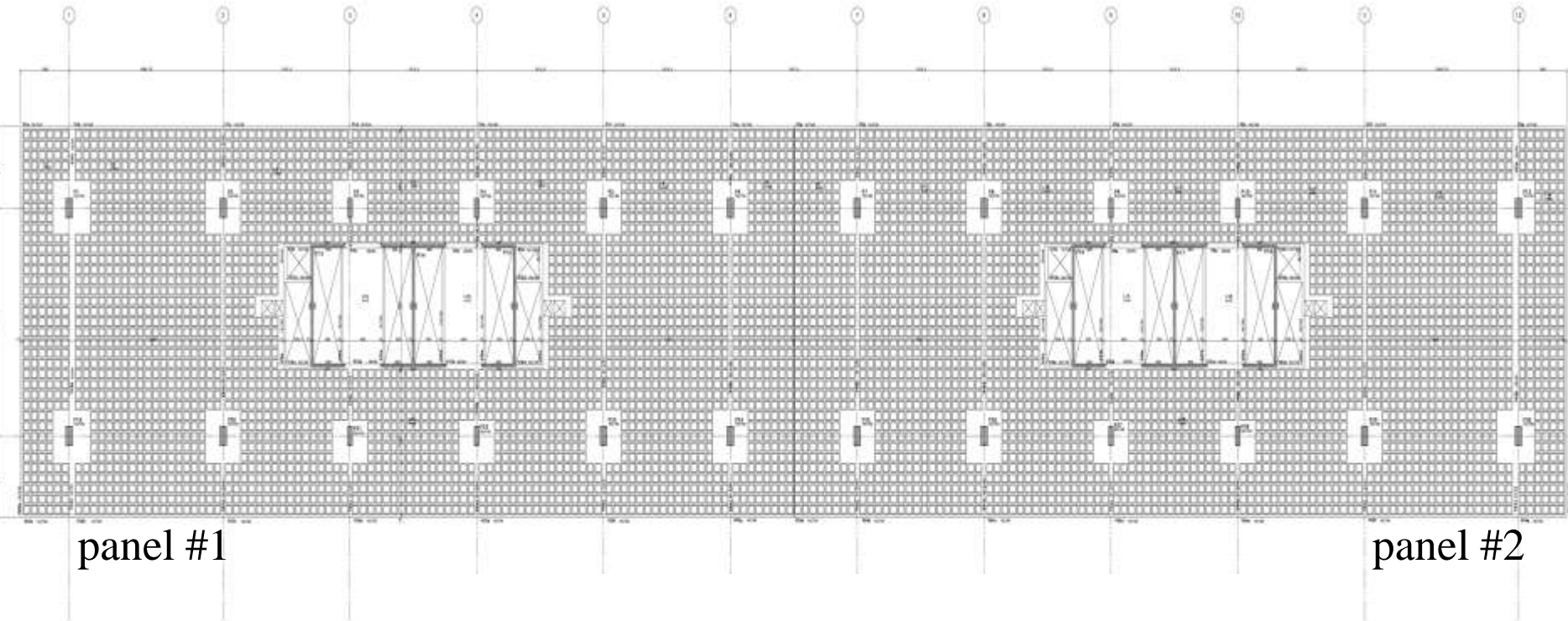
Função passo digitalizada (2 Hz)

CEB - Bulletin d'information n° 209, pag. 199

REC-SAPUCAÍ. Arq.: O. Niemeyer, R. Rezende



Andar tipo. Estrutura

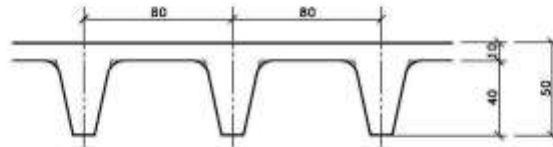


Painéis críticos(#1 e #2): 15,00 m x 17,60 m

- Área do painel crítico: **264 m²**
- **População** do painel: **264/6 = 48 pessoas** (adotada para o cálculo do tráfego de elevadores, escadaria, e no projeto do sistema de ar condicionado)

Propriedades da laje

- Altura total: **50 cm**
- Laje de capa: **10 cm**
- Nervuras: **$b_w=12.5/25$ cm a cada 80 cm**
- Laje maciça equivalente: **$t = 28.6$ cm** (mesma massa)
- Coeficientes para os momentos m_{11} , m_{22} : **$k_{11}=k_{22}=1,90$**
- Coeficientes para o momento m_{12} : **$k_{12}=0.20$**



Modelo do andar (SAP 2000, V.14.1)

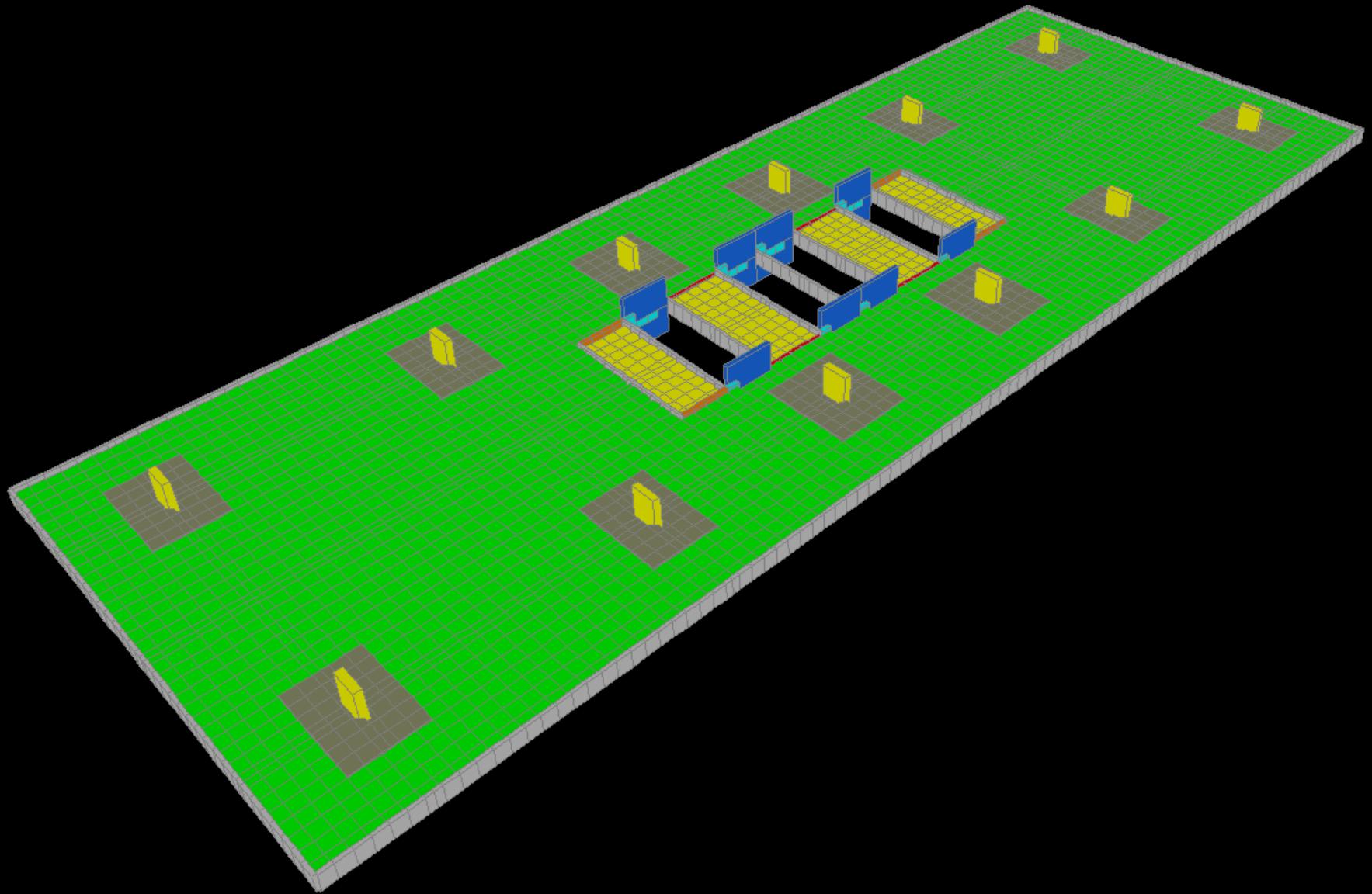
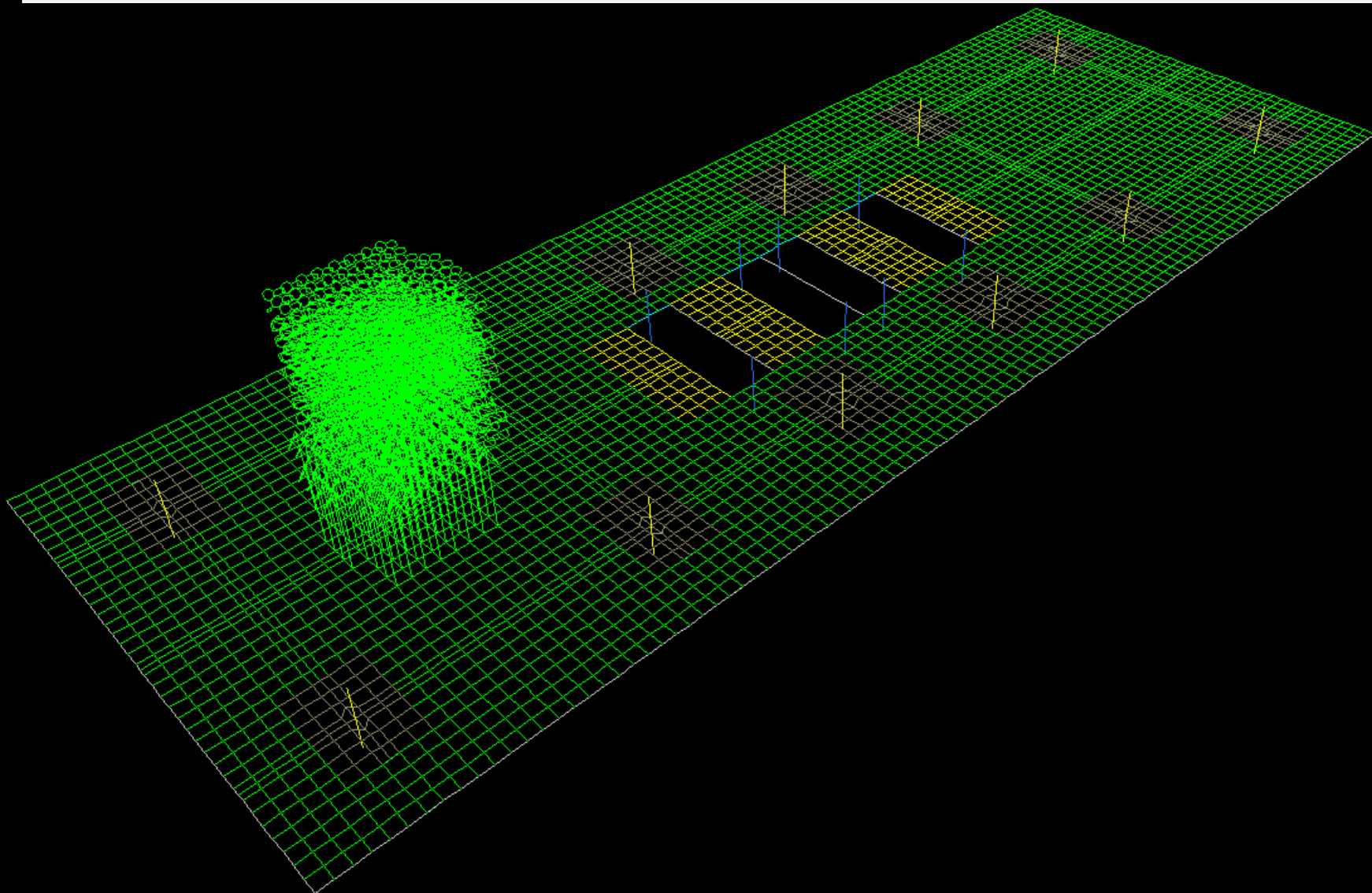
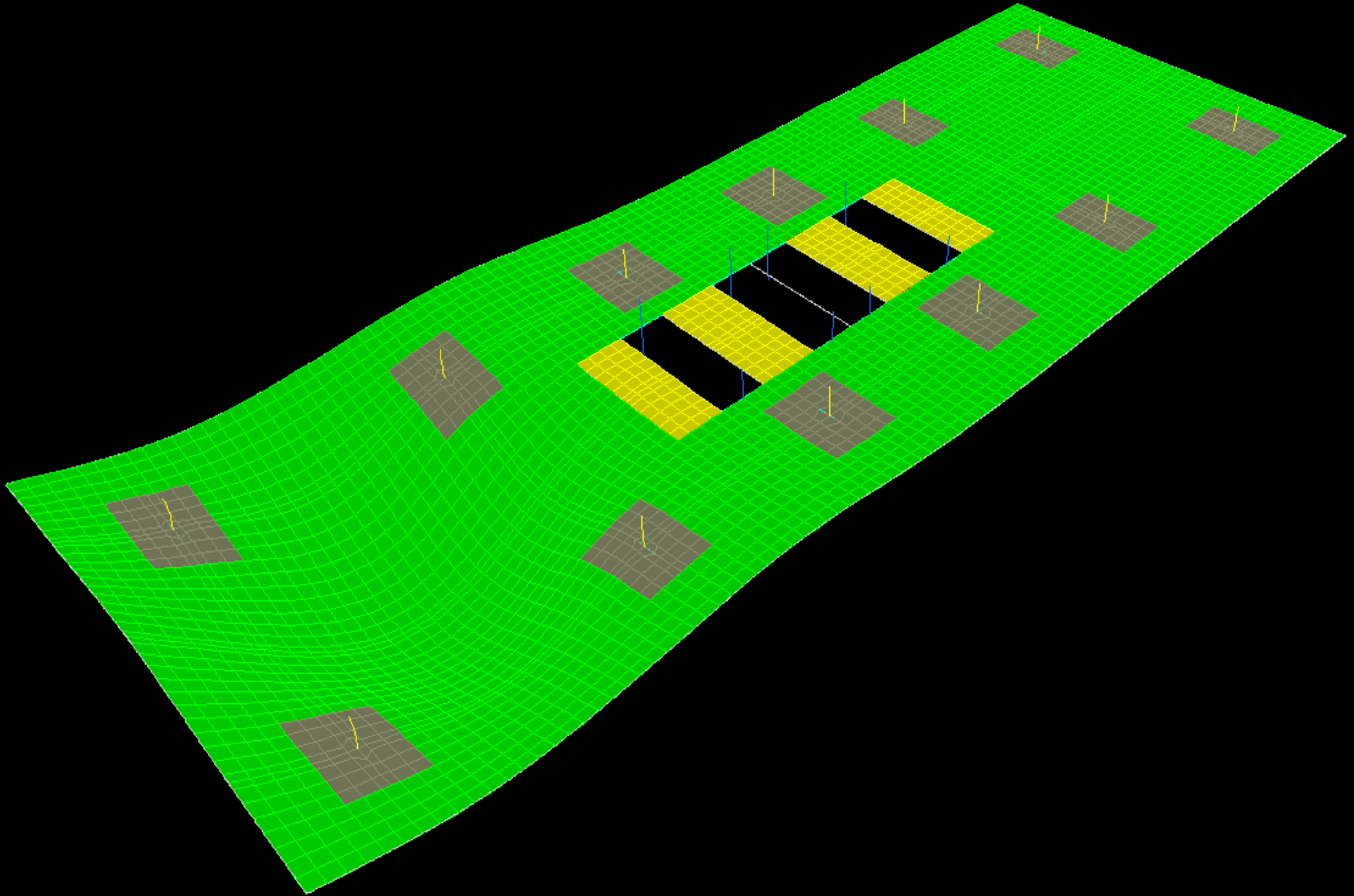


Figura 6. Massas das 48 pessoas: 80 kg/pessoa @ 0.80m



Primeiro modo of vibração (48 pess.): $f_1 = 2.90$ Hz



Função #3 (120 passos)

Time History User Periodic Function Definition

Function Name: 3

Parameters

Number of Cycles: 120

Convert to User Defined

Define Function

Time	Value
0.	1.
0.0526	1.35
0.1053	1.33
0.1579	1.25
0.2105	0.95
0.2632	0.7
0.3158	0.54
0.3684	0.52
0.4211	0.65

Add
Modify
Delete

Function Graph

Display Graph (4.5644 , 0.5255)

OK Cancel

Função excitadora total, 48 linhas (uma tentativa)

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear Nonlinear

Time History Type:

Modal Direct Integration

Time History Motion Type:

Transient Periodic

Modal Load Case:

Use Modes from Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Time Factor	Arrival Time	Coord Sys	Angle
Load Path	P1	5	1.	1.	0.2	GLOBAL	0.
Load Pattern	P11	1	1.	1.	0.05	GLOBAL	0.
Load Pattern	P12	7	1.	1.	0.	GLOBAL	0.
Load Pattern	P13	2	1.	1.	0.05	GLOBAL	0.
Load Pattern	P14	8	1.	1.	0.3	GLOBAL	0.
Load Pattern	P15	0	1.	1.	0.2	GLOBAL	0.
Load Pattern	P16	3	1.	1.	0.15	GLOBAL	0.

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

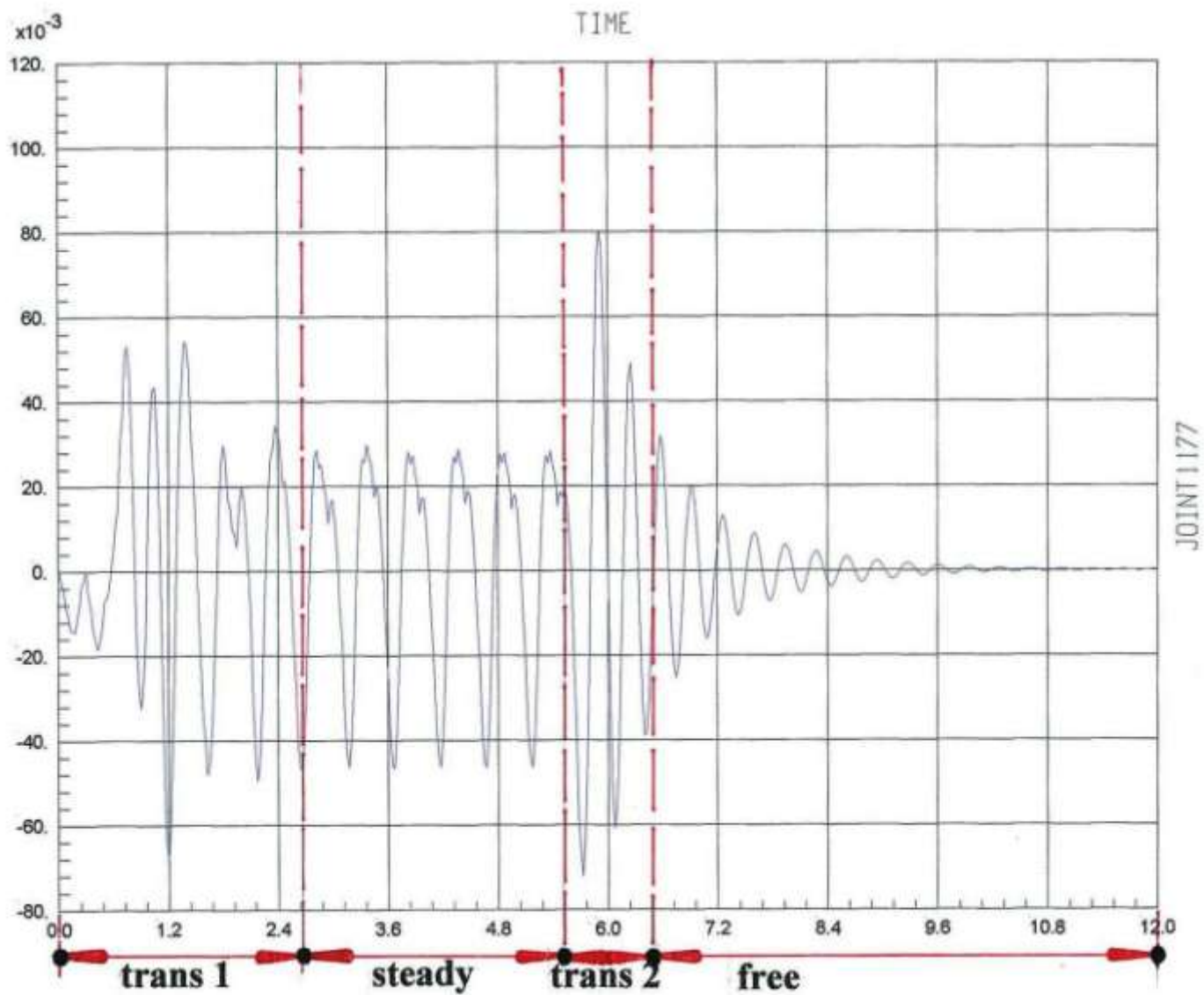
Number of Output Time Steps:

Output Time Step Size:

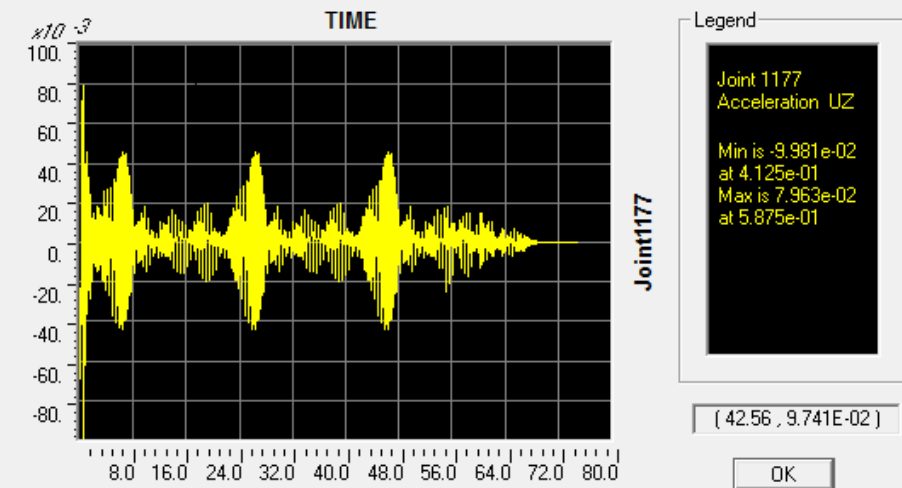
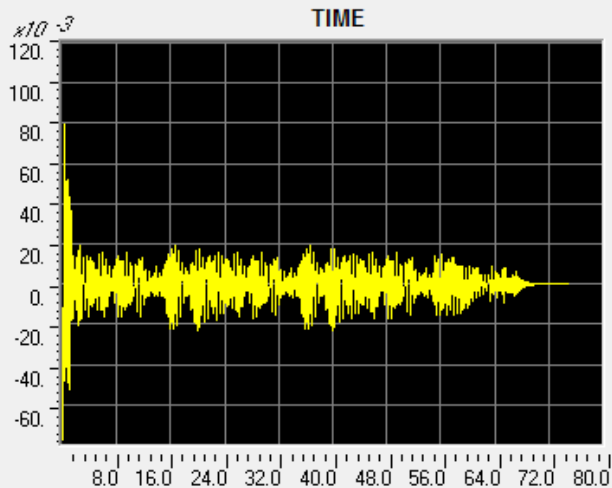
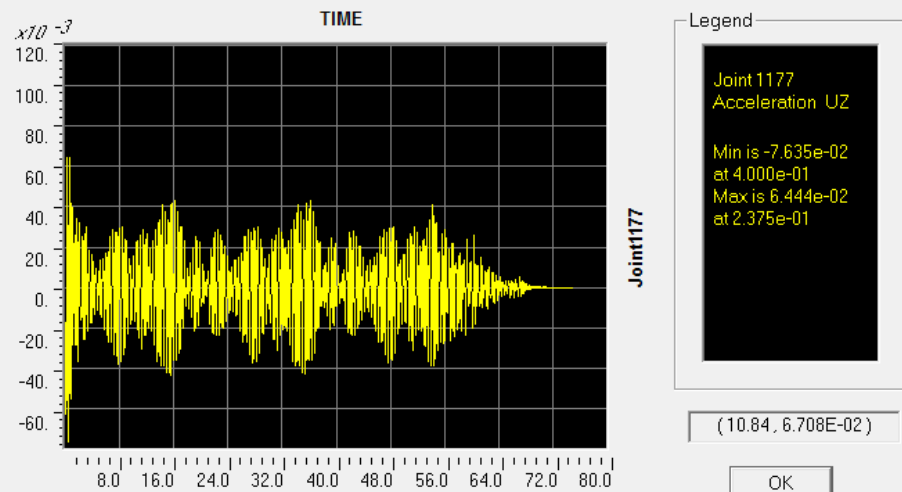
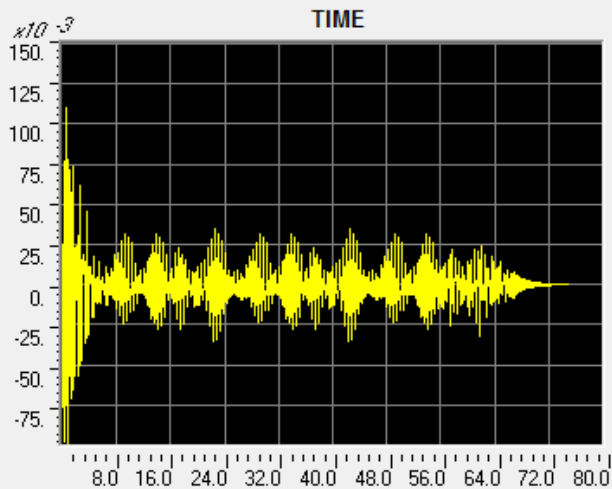
Other Parameters:

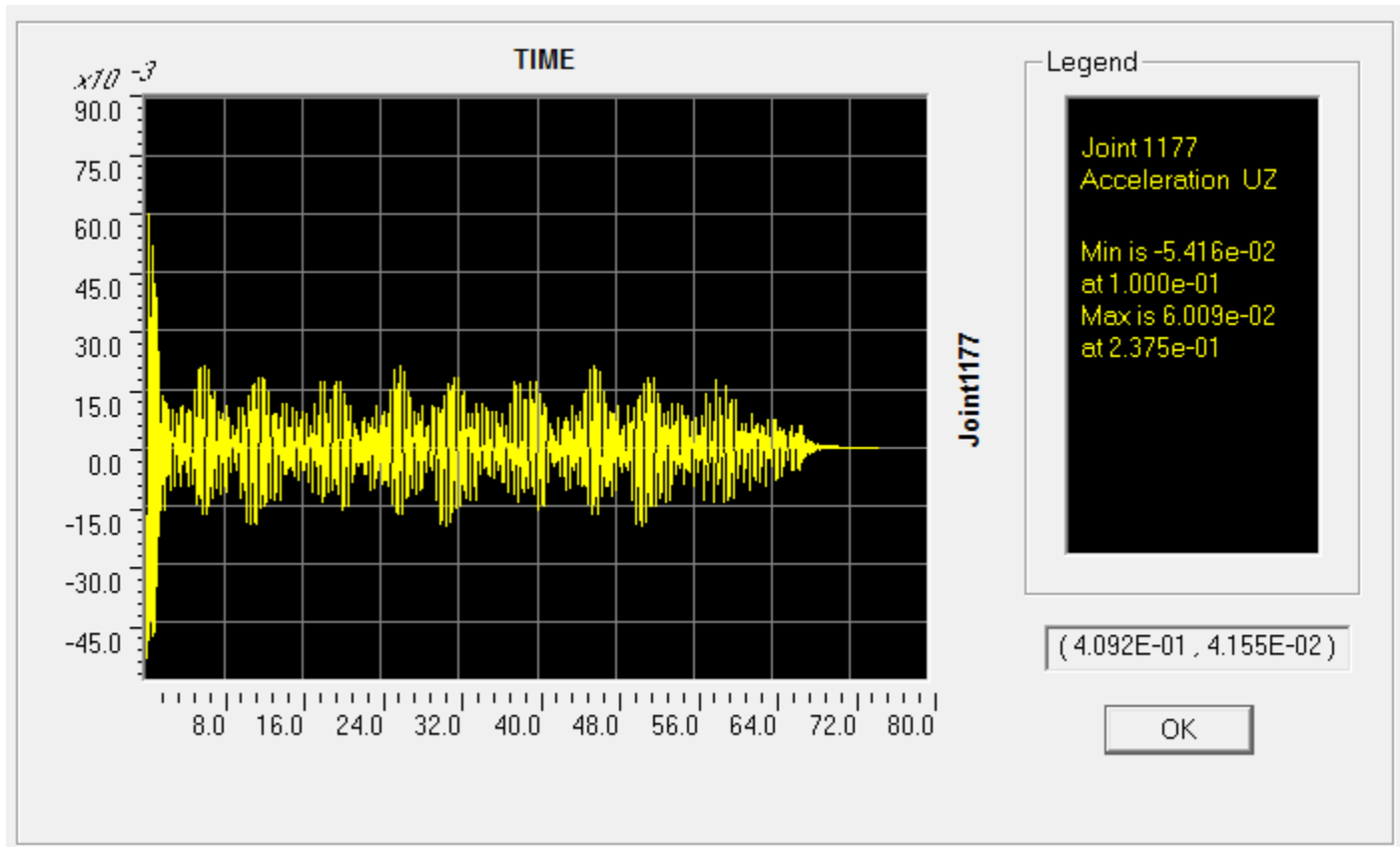
Modal Damping:

Fases de vibração (passos de 2 Hz para todas as pessoas)

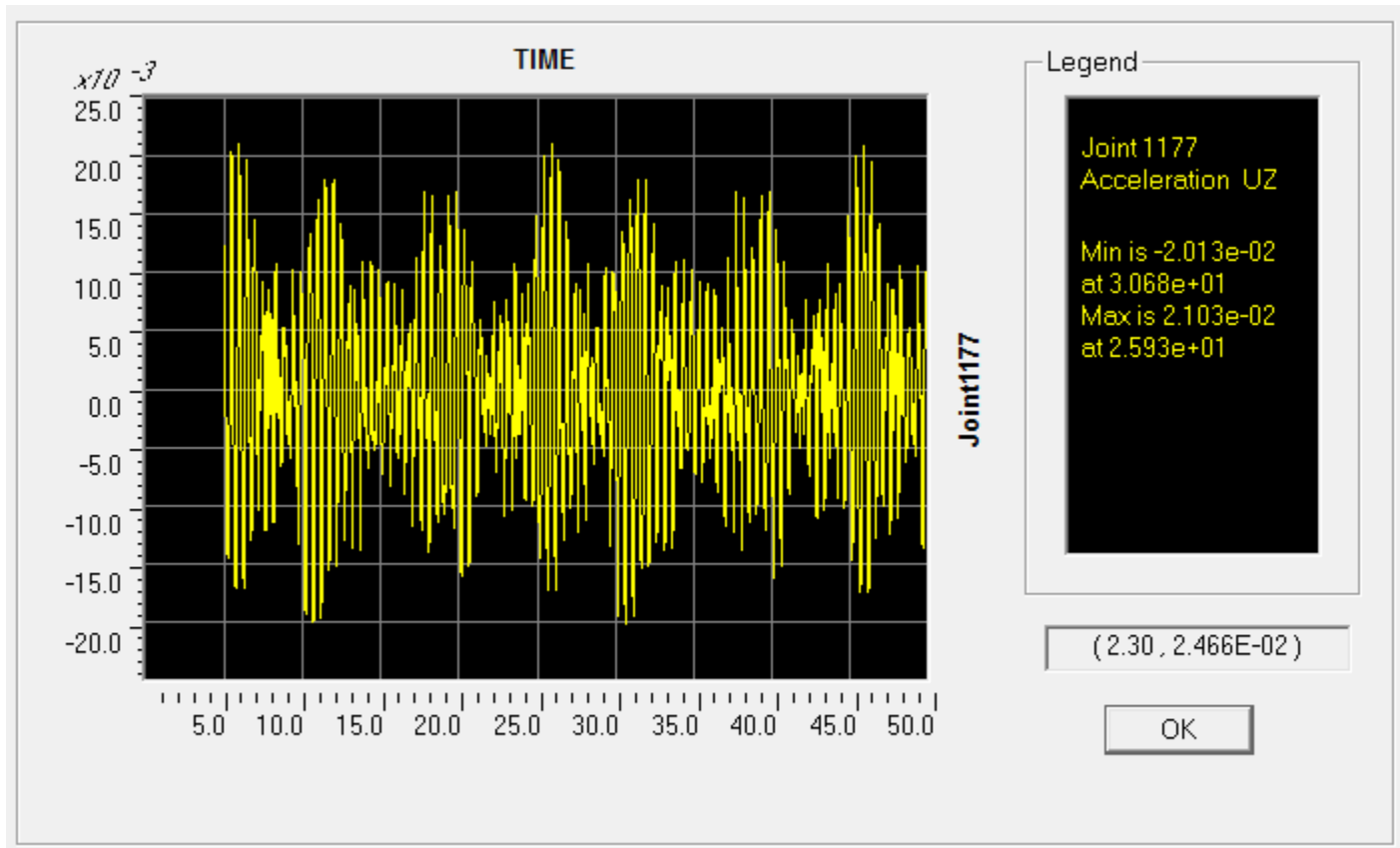


Quatro amostras da resposta (~ 80 segundos)





Resposta total \ddot{U}_z (tentativa #01)



Resposta estacionária (de 5 a 50 seg.) \ddot{U}_z (tentativa #01)

Lotes #1 a #20

	$\xi = 3\%$	$\xi = 3\%$	$\xi = 6\%$	$\xi = 3\%$
Trial	Transient	Stationary	Transient	Stationary
1	6.27	2.13	6.01	2.10
2	10.57	2.91	9.35	2.61
3	11.14	4.07	9.27	3.85
4	8.14	3.73	6.96	3.66
5	16.96	3.79	14.36	3.77
6	5.88	3.02	4.94	2.65
7	4.59	3.41	4.43	3.37
8	14.01	3.34	11.44	3.38
9	16.18	3.14	13.85	3.11
10	10.98	3.51	9.21	3.50
11	8.24	2.97	8.13	2.92
12	9.25	3.81	8.58	3.71
13	7.68	2.92	6.25	2.88
14	5.59	3.43	5.11	3.43
15	6.64	3.48	5.90	3.41
16	9.25	3.69	7.65	3.63
17	6.47	3.63	5.41	3.69
18	6.09	3.55	5.89	3.49
19	4.74	3.20	4.68	3.09
20	5.62	3.07	4.37	3.08

Lotes #21 a #40

	$\xi = 3\%$	$\xi = 3\%$	$\xi = 6\%$	$\xi = 6\%$
Trial	Transient	Stationary	Transient	Stationary
21	16.57	3.13	14.14	3.09
22	8.76	3.21	7.38	3.18
23	10.56	3.91	9.58	3.91
24	8.52	4.40	7.64	4.33
24	14.86	3.14	12.21	3.24
26	11.39	2.93	10.40	2.98
27	6.45	2.35	6.01	2.10
28	6.97	3.70	6.44	3.76
29	15.44	3.43	12.85	3.29
30	13.76	3.42	12.54	3.34
31	6.66	2.79	6.10	2.75
32	11.98	3.30	10.08	3.16
33	9.62	3.58	8.96	3.46
34	7.38	3.24	7.13	3.12
35	6.59	3.30	6.09	3.27
36	4.69	2.87	4.63	2.80
37	8.26	4.26	6.68	4.10
38	8.81	2.23	7.93	2.30
39	8.74	4.03	6.88	3.97
40	11.23	4.73	9.98	4.57

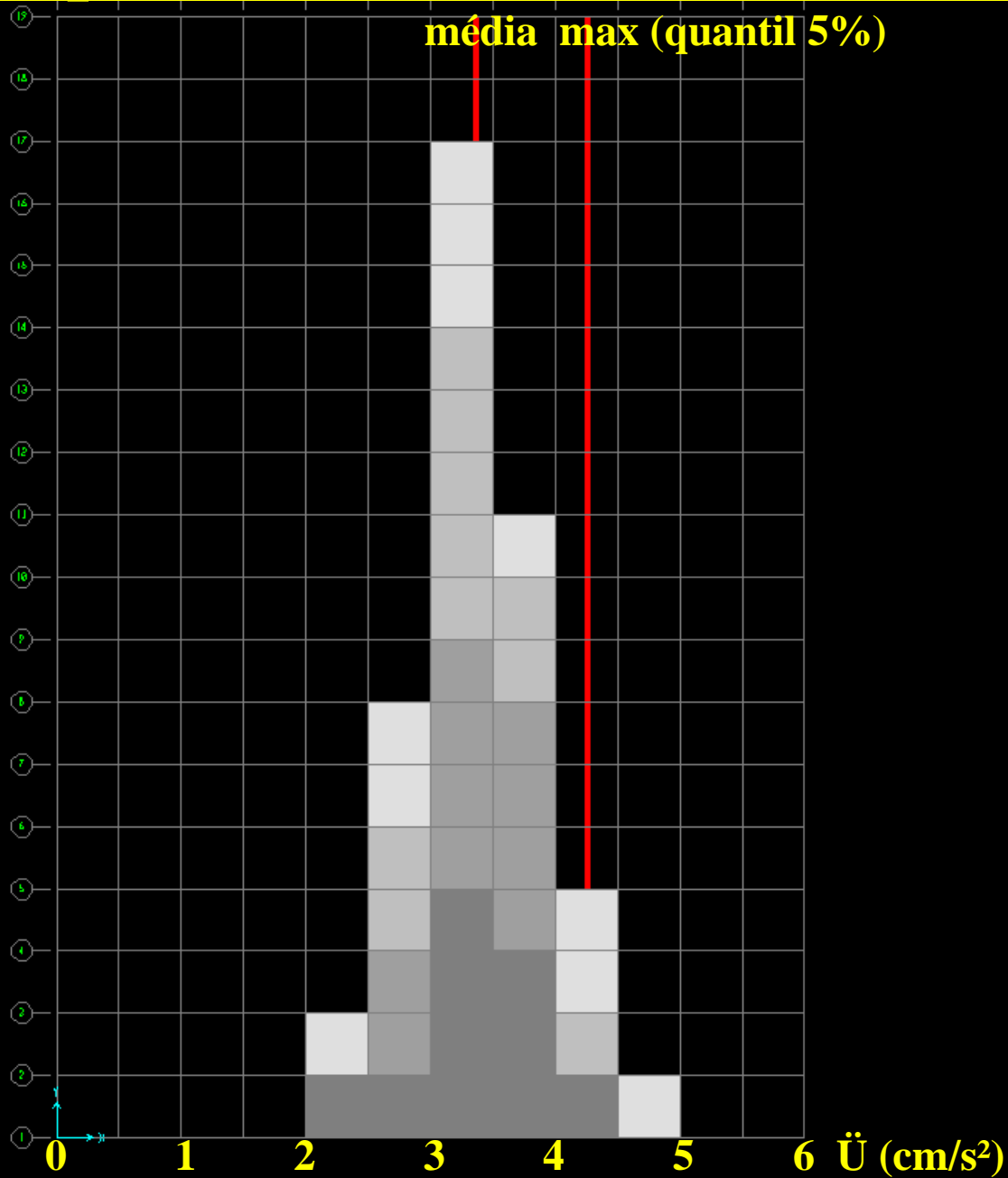
Estatísticas para 4 lotes separados

#1 to #10	3% Transiente	3% Estacion.	6% Transiente	6% Estacion.
Mean μ	10.49	3.21	8.98	3.20
Sdev. σ	4.28	0.70	3.48	0.58
$\mu + 1.65 \sigma$	17.56	4.36	14.72	4.15
#11 to #20	3% Transiente	3% Estacion.	6% Transient	6% Estacion.
Mean μ	6.96	3.38	6.20	3.33
Sdev. σ	1.58	0.31	1.46	0.32
$\mu + 1.65 \sigma$	9.56	3.90	8.61	3.85
#21 to #30	3% Transiente	3% Estacion.	6% Transiente	6% Estacion.
Mean μ	11.33	3.36	9.92	3.32
Sdev. σ	3.66	0.56	2.94	0.60
$\mu + 1.65 \sigma$	17.37	4.29	14.77	4.31
#31 to #40	3% Transiente	3% Estacion.	6% Transiente	6% Estacion.
Mean μ	8.40	3.43	7.45	3.35
Sdev. σ	2.20	0.74	1.78	0.69
$\mu + 1.65$	12.04	4.66	10.38	4.49

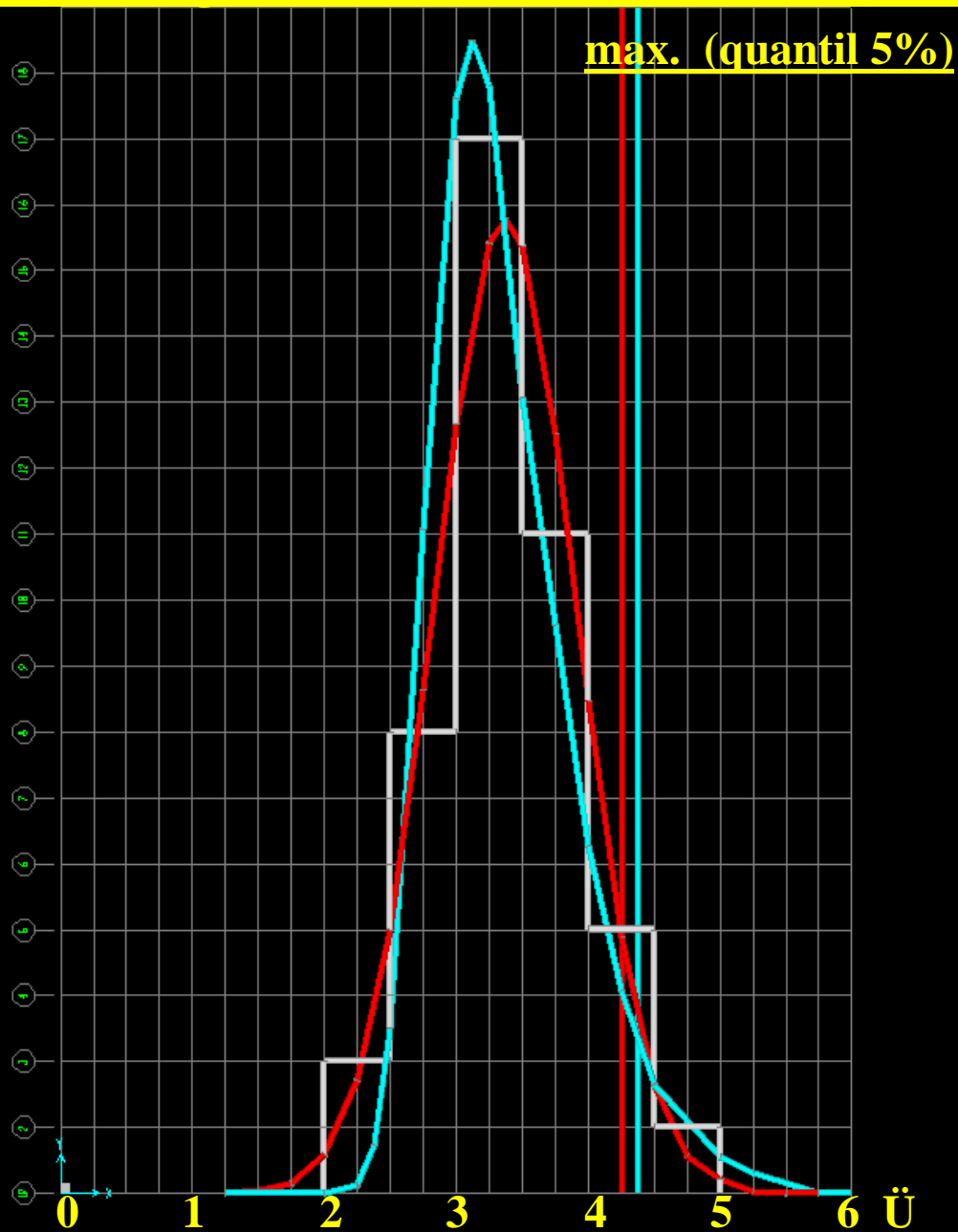
Estatística para lote #1 to #40

	$\xi=3\%$	$\xi=3\%$	$\xi=6\%$	$\xi=6\%$
#1 to #40	Transiente	Estacionário	Transiente	Estacionário
Média μ	9.30	3.37	8.14	3.30
Des. Padr. σ	3.48	0.54	2.85	0.54
$\mu + 1.65 \sigma$	15.04	4.27	12.83	4.20

Histograma para amortecim. 3%, fase estacionária



Distribuições de Gauss e de Gumbel



Aceleração máxima provável (quantil 5%):

0.44% g < 0.5% g

intervalos de confiança para N = 40 tentativas:

média: $2,5 \leq \mu \leq 4,2 \text{ cm/s}^2$ (erro $\varepsilon \leq 26\%$)

desv. padr.: $0,44 \leq \sigma \leq 0,64 \text{ cm/s}^2$ (erro $\varepsilon \leq 19\%$)

Conclusões

- É possível, utilizando o Método de Monte Carlo, simular, no domínio do tempo, o comportamento de um piso submetido a um grande número de pessoas caminhando.
- Pelo menos **$N = 40$** casos sintéticos devem ser analisados.
- No exemplo numérico estudado, com primeira frequência natural de **$2,90 \text{ Hz}$** , e considerando um número de pessoas igual à população esperada do painel, a aceleração estacionária máxima (**4.3 cm/s^2**) é inferior a:
 $0.5\% g = 4.9 \text{ cm/s}^2$.
- A aceleração máxima transiente (**15.8 cm/s^2**) é muito inferior ao limite para este caso: **$5\% g = 49 \text{ cm/s}^2$** .
- O piso analisado é portanto considerado adequado