

NBR15421- Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

Escola Politécnica – UFRJ

Parte I – Efeitos dos Sismos em Estruturas



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Estruturas de Edifício



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



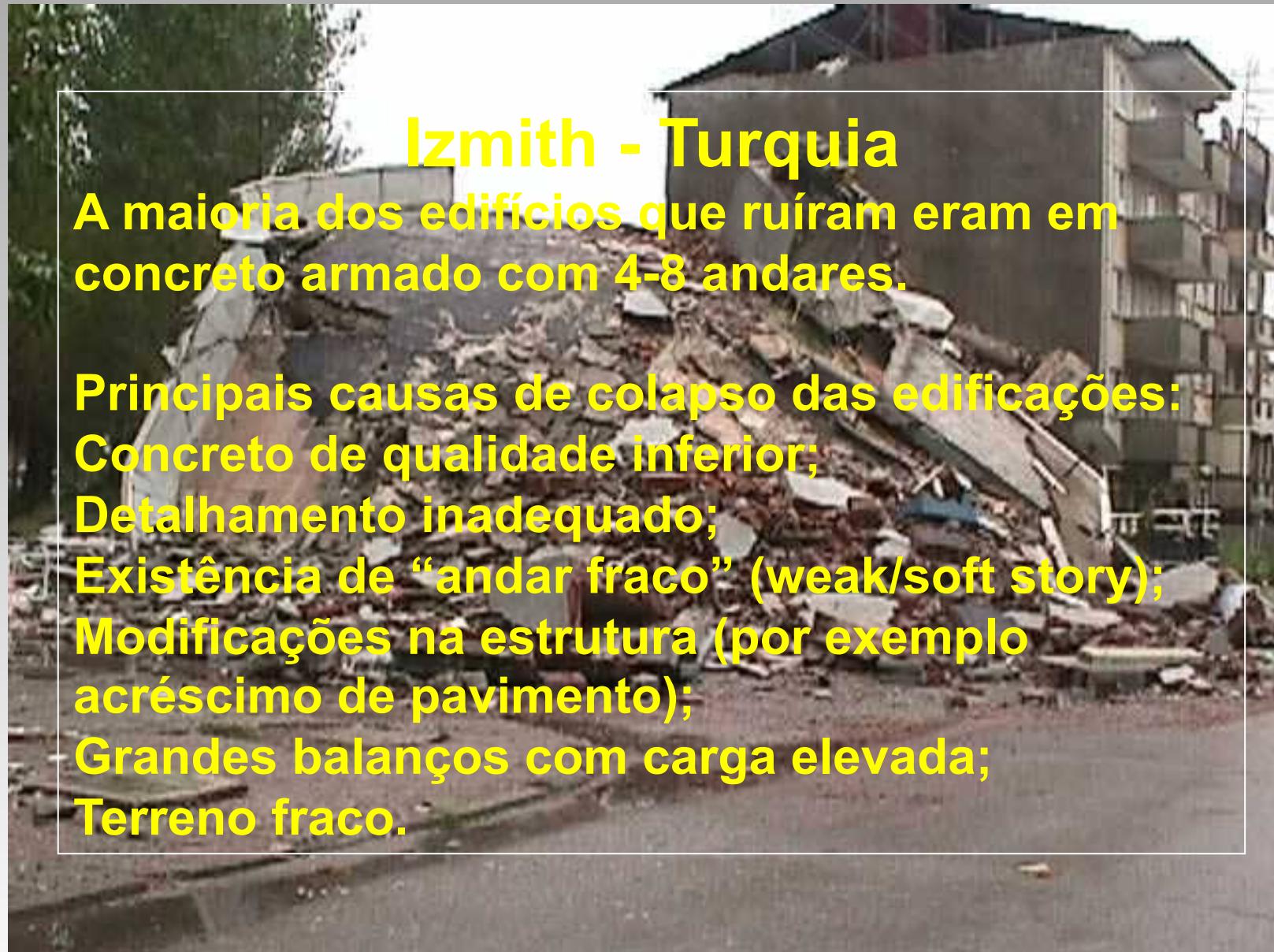


Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos Silvio de Souza Lima











Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

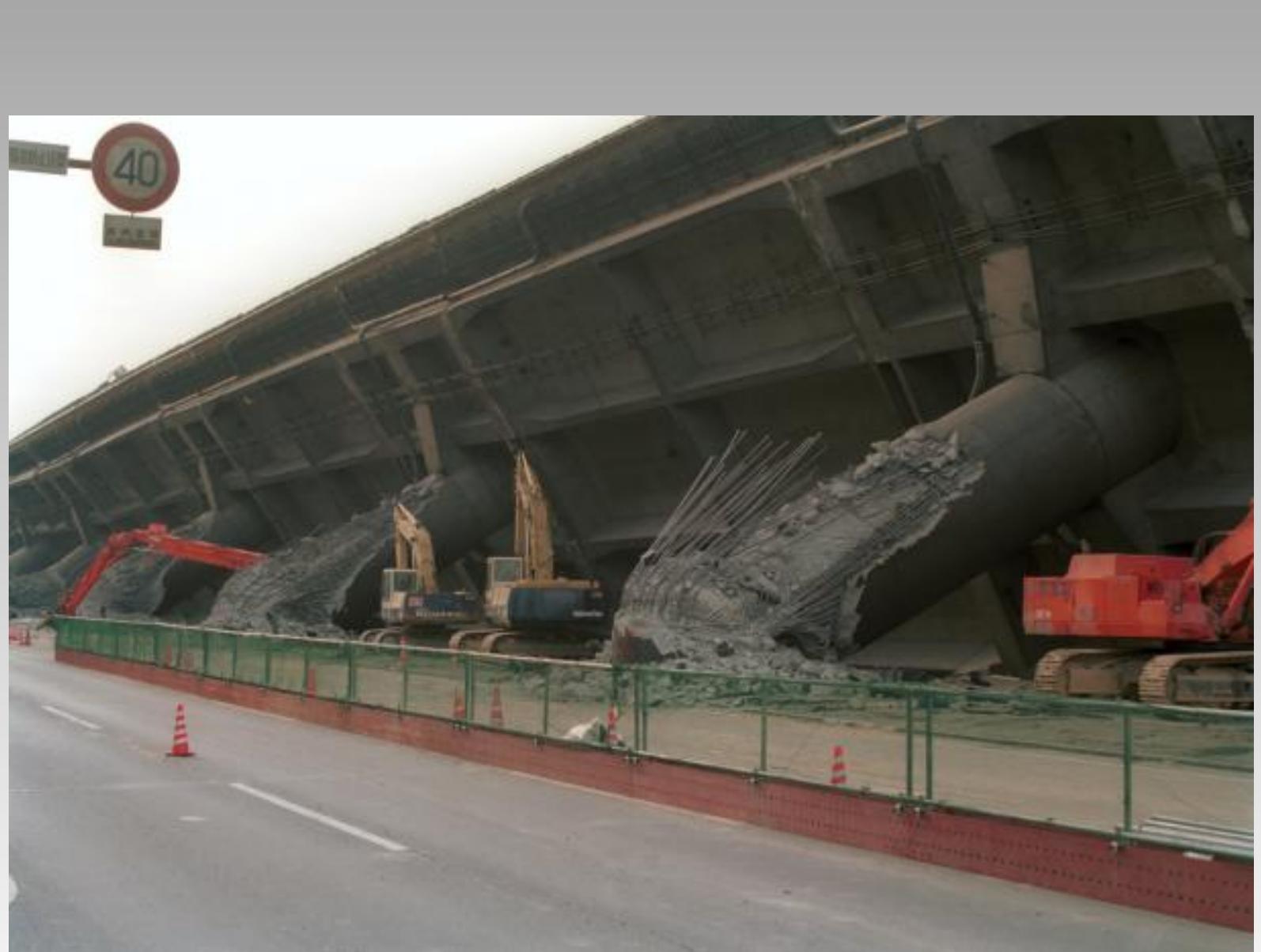


Pontes e Viadutos



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos Silvio de Souza Lima





Universidade
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

UFRJ
SALI
DMB-RR







Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos Silvio de Souza Lima



Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Sismo de João Câmara (RN)

30/11/1986, Magnitude 5,1



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Casa danificada pela ação do terremoto



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Efeitos do sismo na zona rural



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



NBR15421- Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos

Parte II – Noções de Engenharia Sísmica



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Noções de Sismicidade

Os sismos são medidos, de forma absoluta, pela quantidade de energia que liberam. Esta medida é chamada de *magnitude*.

Charles F. Richter apresentou em 1935 a *Escala Richter de Magnitude*.

Sismos com magnitude menor do que cinco geralmente provocam danos de pouca monta. Já os de magnitude superior a cinco são potencialmente muito destrutivos. A profundidade do hipocentro é um fator que também afeta os efeitos destrutivos de um sismo. Um sismo com hipocentro muito profundo pode ter efeito destrutivo menor do que outro de igual magnitude, em que o hipocentro esteja mais próximo da superfície.



Embora a magnitude quantifique a energia liberada por um sismo, não fornece indicação dos danos por ele causados, que são diferentes nos diversos locais afetados.

A intensidade é uma medida destes danos. Entenda-se que um mesmo sismo irá receber classificações de intensidade diferentes em diferentes locais, sendo seus efeitos mais severos sentidos mais próximo aos epicentros.

Atualmente a medida da intensidade de um sismo é feita com a utilização da escala Modificada de Mercalli, que apresenta doze graduações.



Intensidade	Descrição
I	Imperceptível para as pessoas. Corresponde aos efeitos secundários e de componentes de período longo de grandes terremotos.
II	Sentido por pessoas em repouso, em andares altos ou em locais muito favoráveis para isto.
III	Sentido no interior de edificações. Objetos suspensos balançam. Vibração similar ao tráfego de caminhões leves. A duração pode ser estimada. Pode ser reconhecido como um terremoto.
IV	Objetos suspensos balançam. Vibração similar ao tráfego de caminhões pesados, ou sensação de impacto similar à de uma bola pesada batendo nas paredes. Carros parados balançam. Janelas, pratos e portas vibram. Vidros estalam. Louças se entrechocam. Na faixa superior da intensidade IV, paredes de madeira e pórticos fissuram.
V	Sentido nas ruas; a direção pode ser estimada. Pessoas acordam. Líquidos são perturbados, alguns são derramados. Pequenos objetos instáveis são deslocados ou derrubados. Portas oscilam, fecham e abrem. Venezianas e quadros movem-se. Relógios de pêndulo param, voltam a funcionar ou alteram o seu ritmo.
VI	Sentido por todos. Muitos se assustam e correm para as ruas. As pessoas andam de forma instável. Janelas, pratos e objetos de vidro são quebrados. Pequenos objetos, livros, etc. caem das estantes. Quadros caem das paredes. A mobília é deslocada ou tombada. Reboco e alvenaria fracos apresentam rachaduras. Pequenos sinos (de igrejas e escolas) tocam. Árvores e arbustos movem-se visivelmente.



Intensidade	Descrição
VII	Difícil manter-se de pé. Notado pelos motoristas. Objetos suspensos oscilam fortemente. A mobília quebra-se. Danos e rachaduras em alvenaria fraca. Queda de reboco; tijolos, pedras, telhas, cornijas, parapeitos não contraventados e ornamentos arquitetônicos soltam-se. Algumas rachaduras em alvenaria normal. Ondas em reservatórios e água turva com lama. Pequenos escorregamentos e formação de cavidades em taludes de areia ou pedregulho. Sinos grandes tocam. Canais de irrigação
VIII	Condução de veículos afetada. Danos e colapso parcial em alvenaria comum. Algum dano em alvenaria sólida e nenhum em alvenaria reforçada. Queda de estuque e de algumas paredes de alvenaria. Torção e queda de chaminés, inclusive as de fábricas, monumentos, torres e tanques elevados. Casas em pórtico movem-se em suas fundações, quando não arrancadas do solo. Pilhas de destroços derrubadas. Galhos quebram-se nas árvores. Mudanças na vazão ou temperatura de fontes. Rachaduras em chão úmido ou taludes íngremes.
IX	Pânico geral. Alvenaria fraca destruída; alvenaria comum fortemente danificada, as vezes com colapso total. Alvenaria sólida seriamente danificada. Danos gerais em fundações. Estruturas em pórtico, quando não arrancadas, deslocadas em suas fundações. Pórticos rachados. Rachaduras significativas no solo. Em áreas de aluvião, areia e lama arrastadas; criam-se minas d'água e crateras na areia.



Intensidade	Descrição
X	A maioria das alvenarias e estruturas em pórtico destruídas com suas fundações. Algumas estruturas de madeira bem construídas e pontes destruídas. Danos sérios em barragens, diques e taludes. Grandes deslizamentos de terra. Água lançada nas margens de canais, rios, lagos, etc. e lama lançada horizontalmente em praias e terrenos planos. Trilhos ligeiramente entortados.
XI	Trilhos bastante entortados. Tubulações subterrâneas completamente fora de serviço.
XII	Destruição praticamente total. Grandes massas de rocha deslocadas. Linhas de visão e nível distorcidas. Objetos lançados no ar.



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

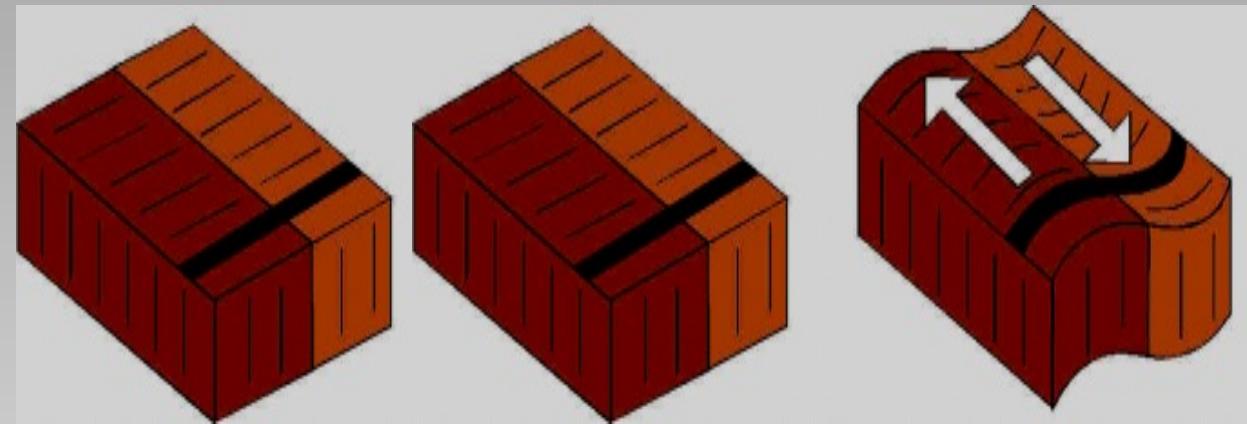


Principais placas tectônicas

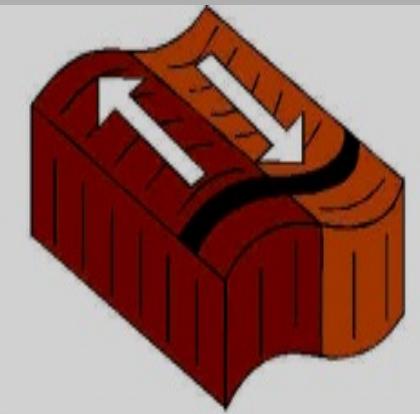


Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

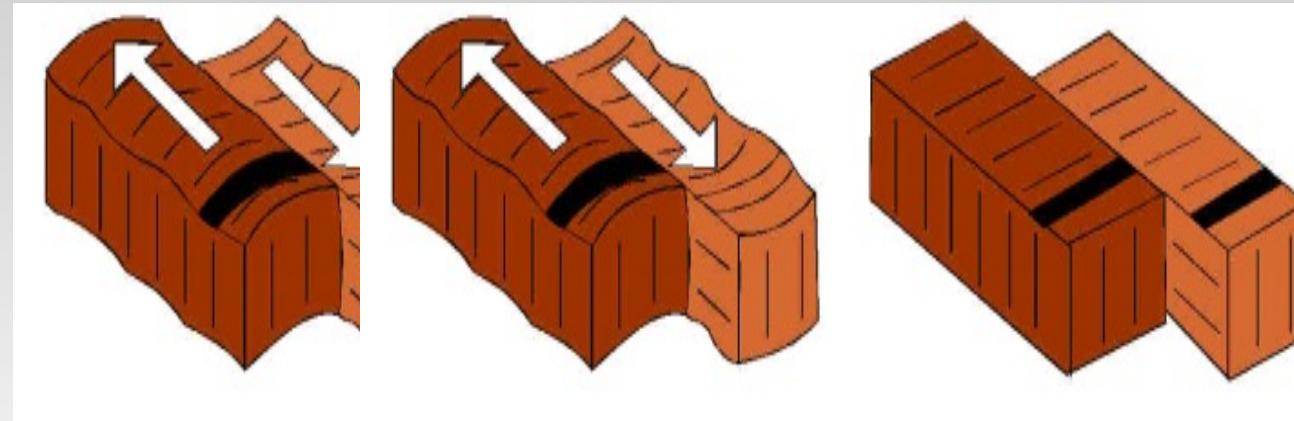
Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



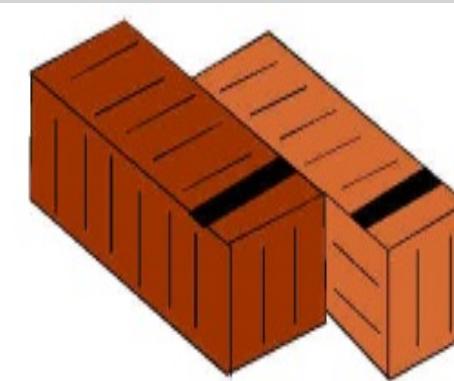
(a)



(b)

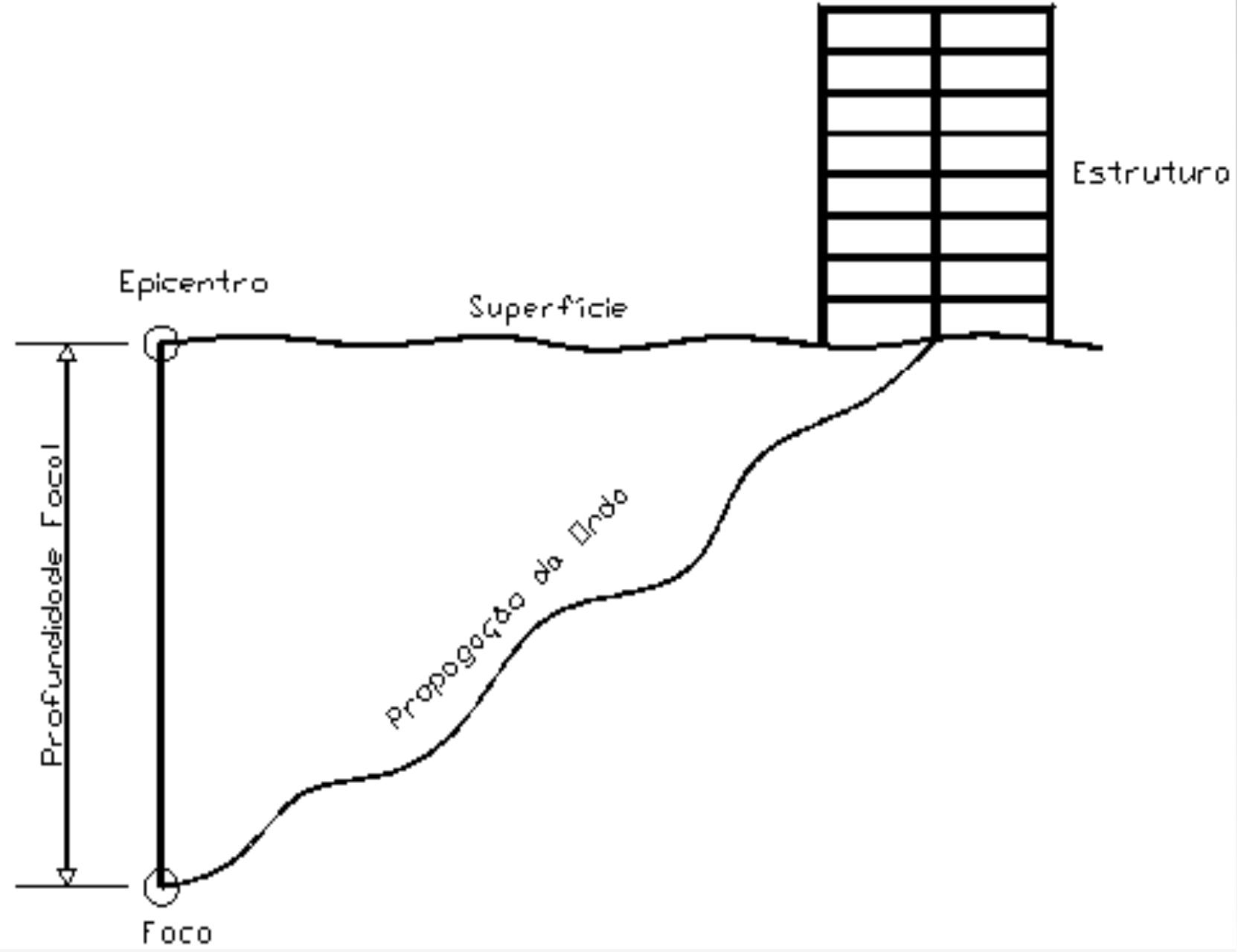


(c)



(d)

Esquema da teoria de REID (1906)

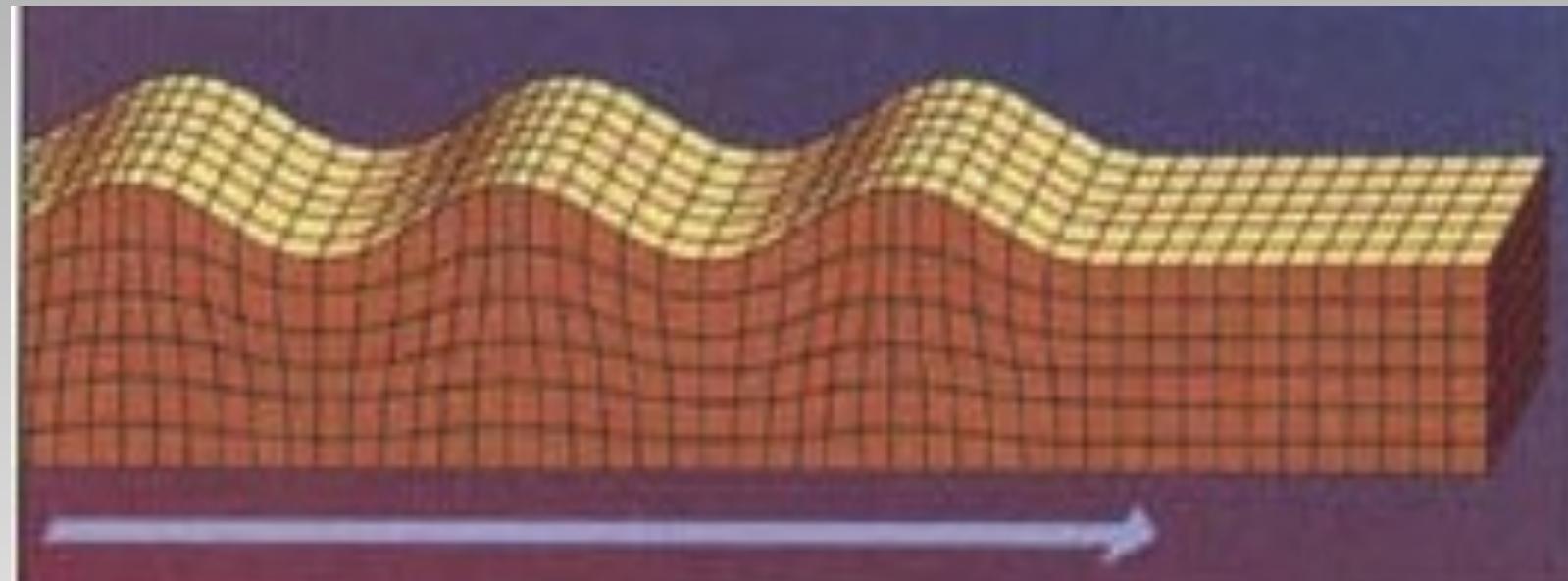


Propagação das ondas a partir do foco



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Propagação das ondas do tipo Rayleigh



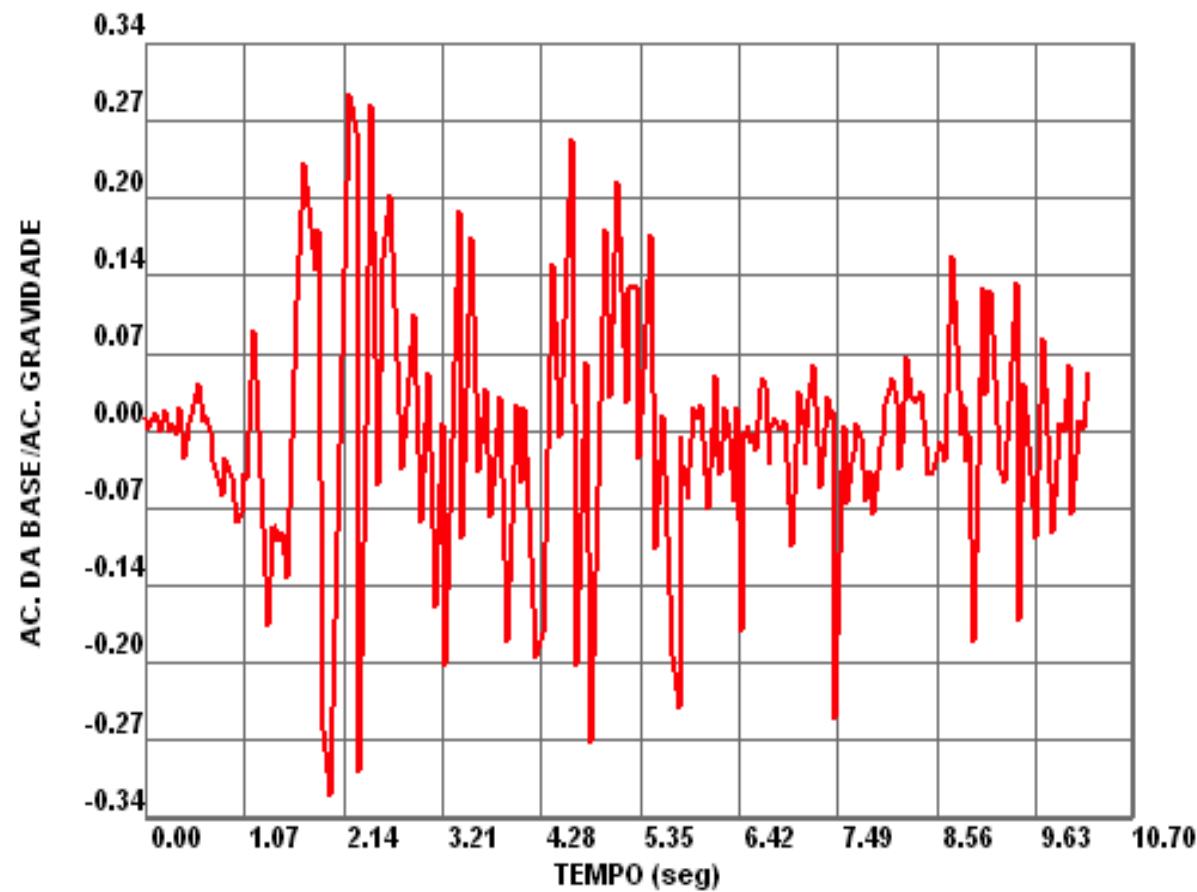
Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



SALT-UFRJ

ACELERAÇÃO DA BASE



Acelerações do sismo de El Centro

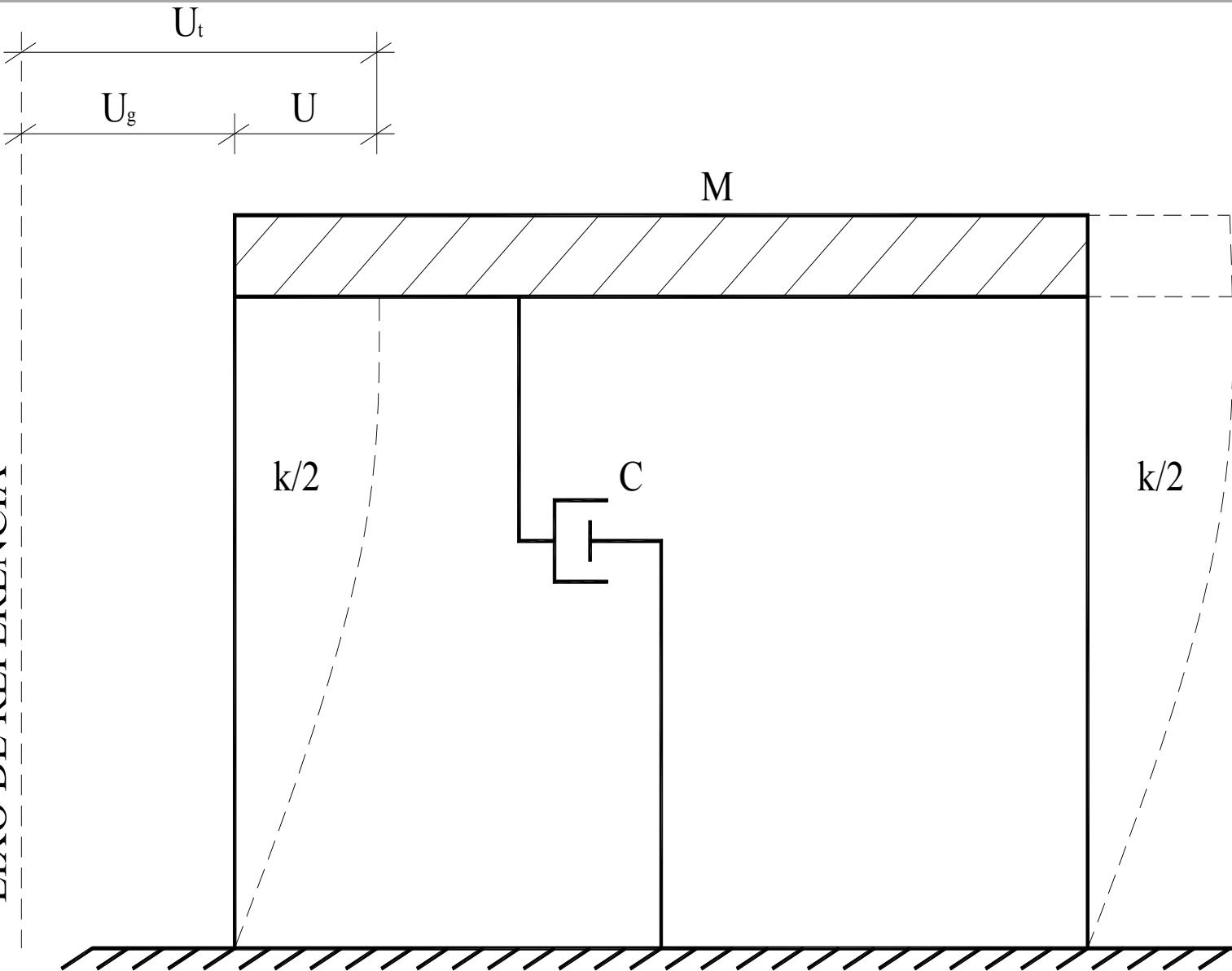


Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



EIXO DE REFERÊNCIA

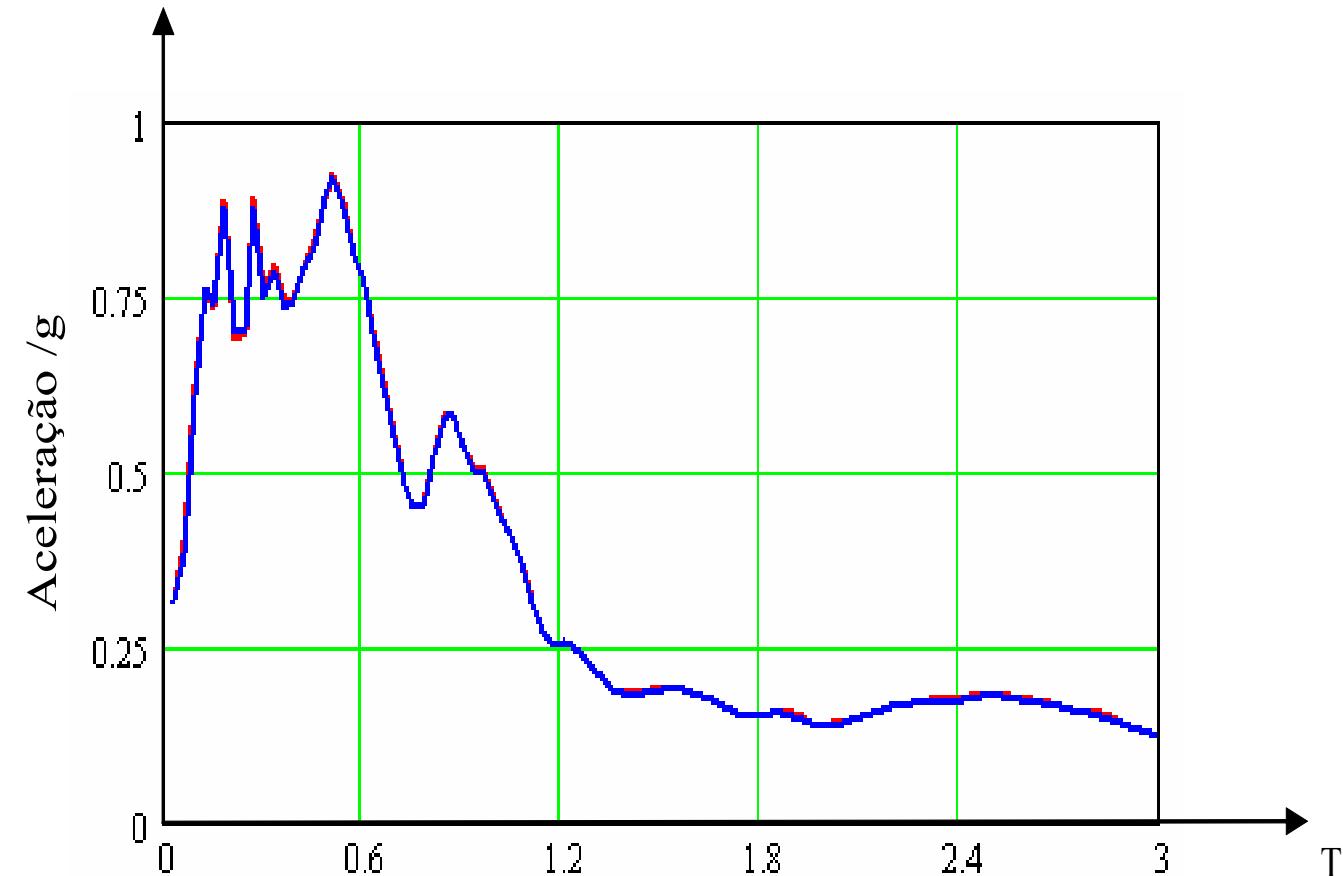


Sistema de um grau de liberdade



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Espectro de acelerações do sismo de El Centro



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Sismicidade no Brasil

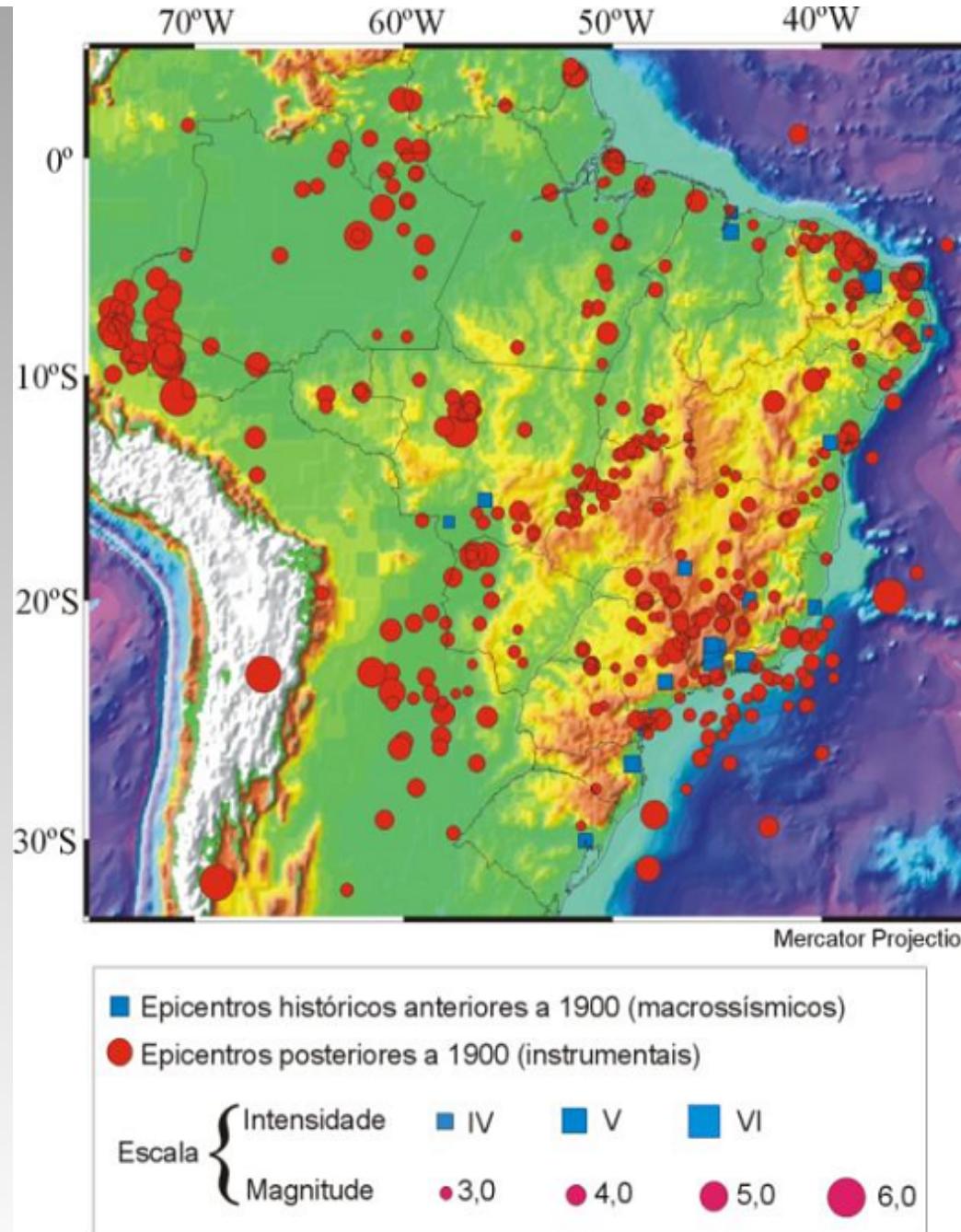


- O estudo da sismicidade no Brasil começou nos anos 70. Dados sismológicos são coletados em uma rede sismológica em operação contínua. Este estudo da sismicidade no Brasil não foi concluído.
- Um estudo sísmico mundial foi feito pelo GFZ-POTSDAM, e considerado pelo U.S. Geological Survey (“Seismic Hazard Map of South America”).
- O Brasil apresenta sismicidade muito baixa (região intra-placas tectônicas), com acelerações horizontais inferiores a $0,4 \text{ m/s}^2$. Exceções são alguns estados do Nordeste, próximos à falha do Atlântico Central, e a Amazônia Ocidental, próxima à Cordilheira dos Andes.
- Considerando normas de países sul-americanos e a continuidade geográfica entre estes países, foi consolidado o mapa sísmico da América do Sul (período de recorrência de 475 anos).



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

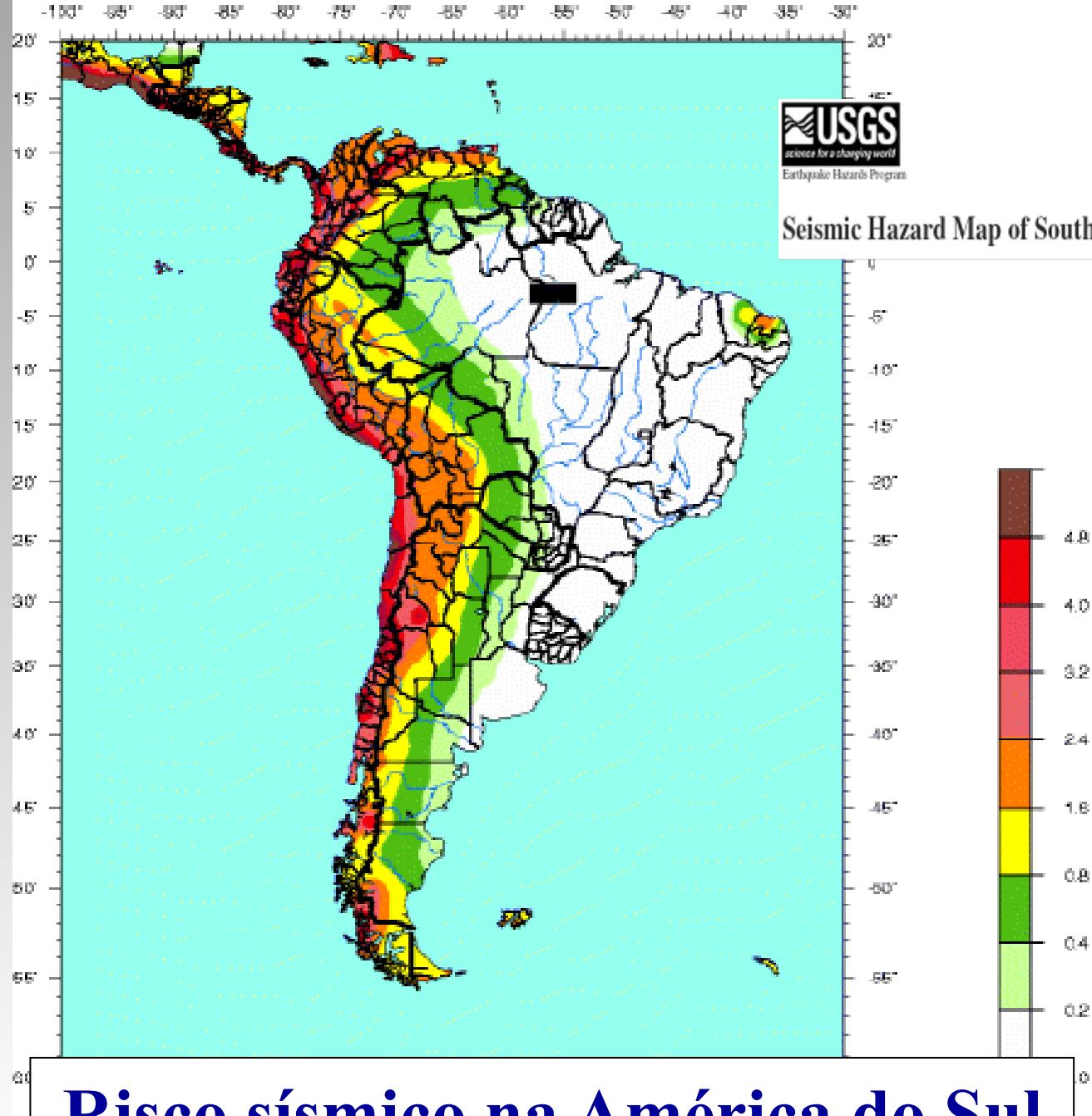


Tremores de terra ocorridos no Brasil



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



[USGS Home](#)
[Contact USGS](#)
[Search USGS](#)



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

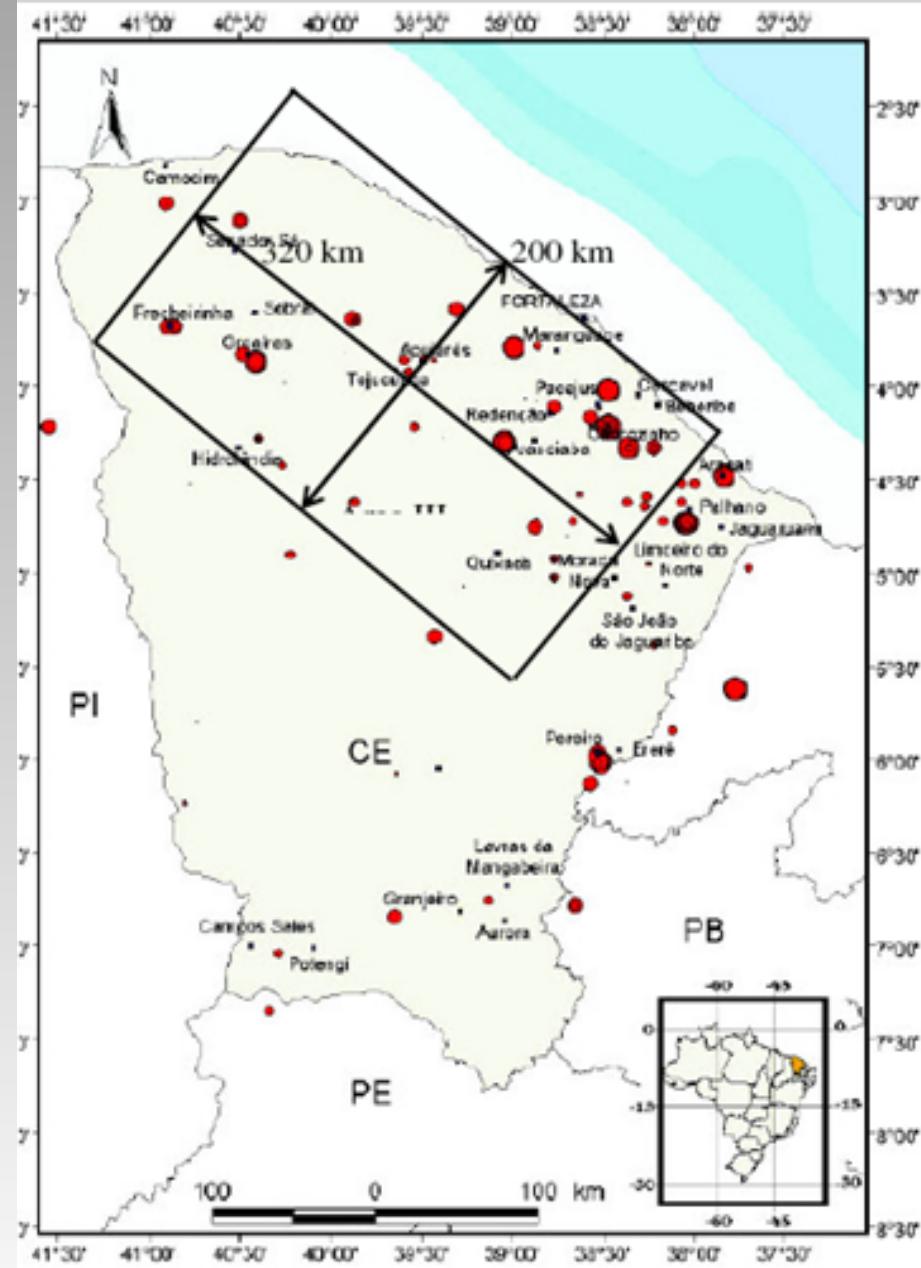


Sismicidade na Amazônia (Monroy et al. 2005)



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

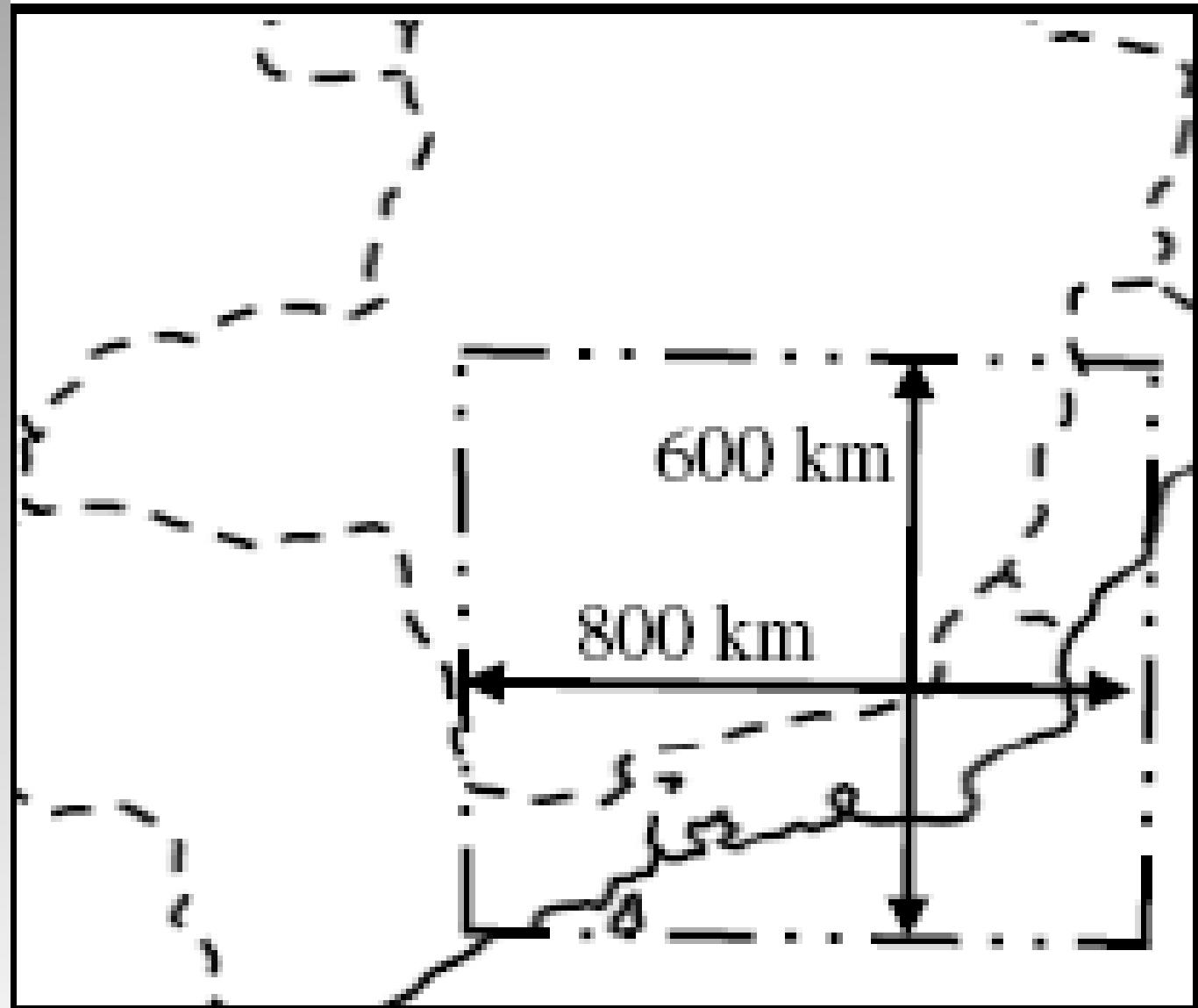


Estudo da sismicidade no Ceará (Marza et al.)



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

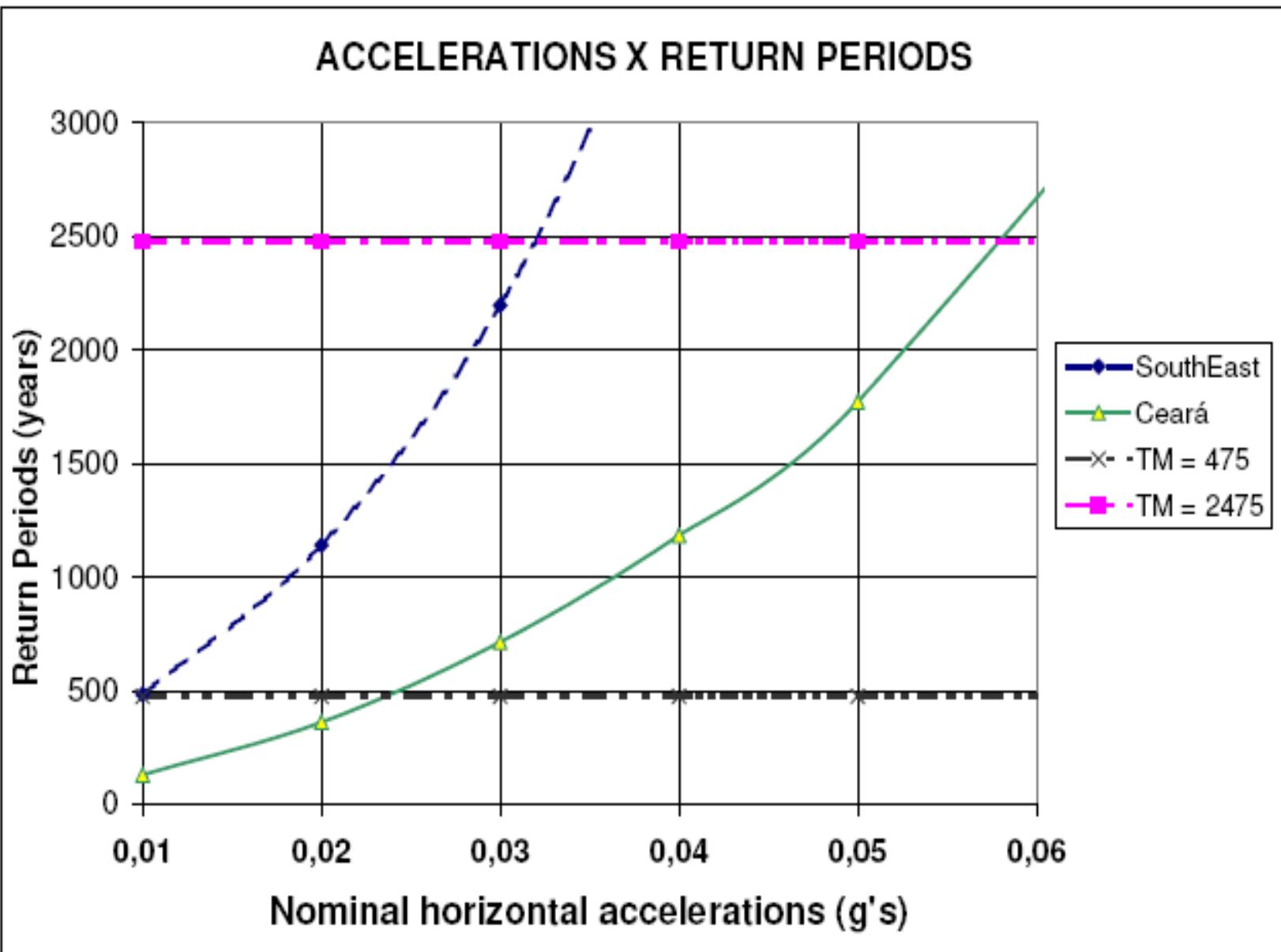


**Estudo da sismicidade no Sudeste (Berrocal;
Almeida, 2002)**



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Relação Acelerações X Períodos de Retorno

NBR15421- Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos

Parte III – Apresentação da Norma



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



A Norma Brasileira de Sismos



- A nova Norma Brasileira de Sismos se alinha com a necessidade das nossas Normas evoluírem para um maior reconhecimento internacional.
- A Norma considera que em algumas áreas do Brasil existe um potencial sísmico considerável.
- A Norma se baseou nos dados sismológicos disponíveis e no tratamento estatístico e probabilístico destes dados.

- A ABNT propõe o zoneamento sísmico da Figura 3. Foram consideradas as análises probabilísticas hoje disponíveis no Brasil (Sudeste e Nordeste).
- Considera-se como base normativa a NBR 8681 (Norma de Ações e Segurança nas Estruturas).
- Nos aspectos de resistência sísmica, foi tomada como base a Norma Americana ASCE/SEI 7-05.
- A combinação básica de cálculo é dada por:

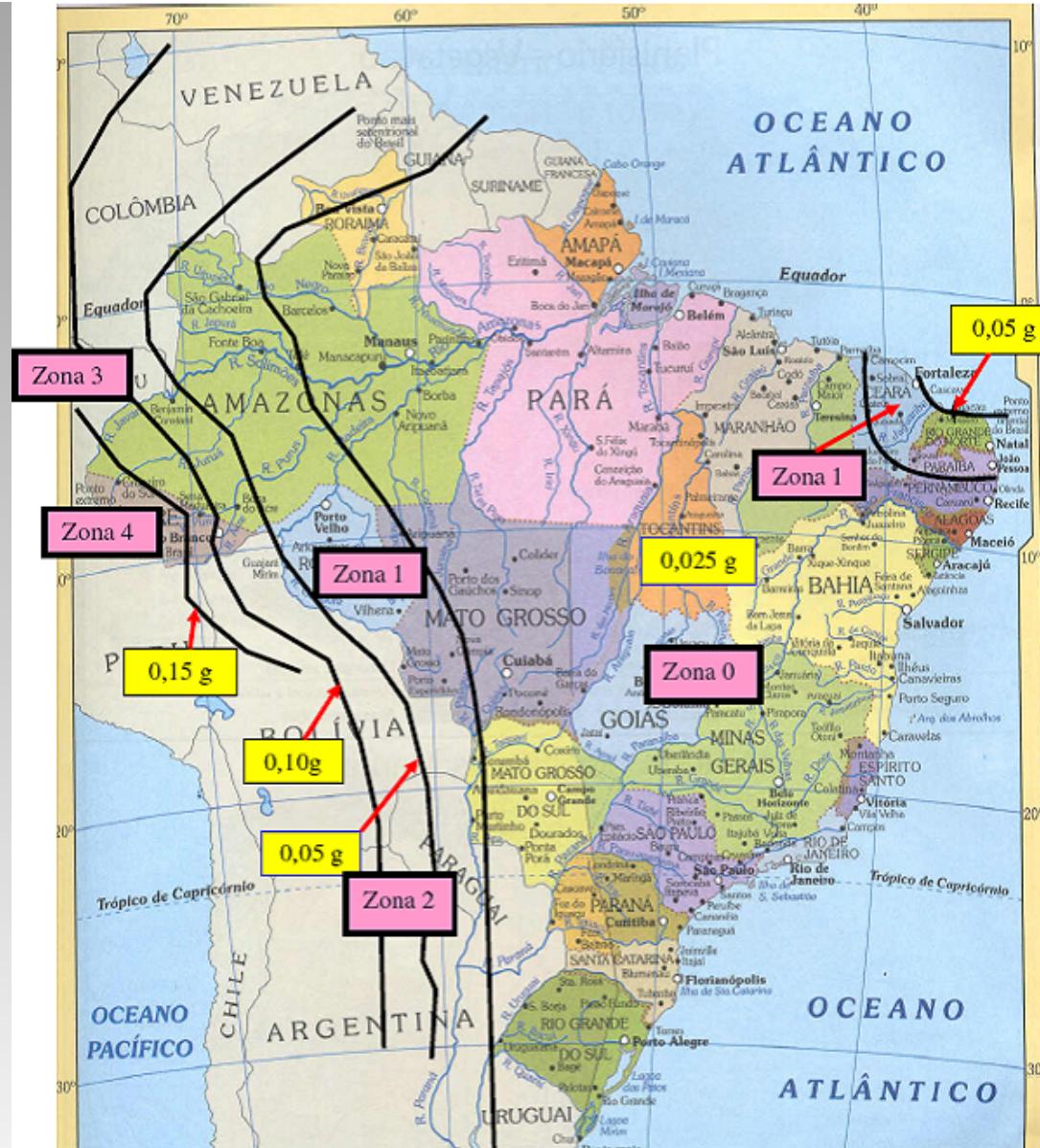
$$E_d = 1,2E_g + 1,0E_q + 1,0E_{exc}$$

- E_d , E_g , E_q e E_{exc} são os valores de uma solicitação de cálculo e as respectivas parcelas das cargas permanente, acidental e sísmica nesta solicitação.
- São definidas cinco Zonas Sísmicas e três Categorias Sísmicas, relacionadas com as acelerações horizontais características a_g .



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



Acelerações Horizontais Características



CRITÉRIOS PARA A ANÁLISE SÍSMICA

- Para as estruturas na Zona Sísmica 0, nenhuma verificação é exigida.
- Para as estruturas em Zona Sísmica 1, pode ser feita uma verificação simplificada:
 - São aplicadas simultaneamente a todos os pisos, nas duas direções horizontais, cargas horizontais iguais a 1% dos pesos permanentes.
- Para as estruturas de Categoria Sísmica B ou C, pode ser usado o método das forças horizontais equivalentes ou um processo mais rigoroso (análise espectral ou análise por históricos de aceleração no tempo).

Zona Sísmica	Categoria Sísmica	Valores de a_g
0	A	$a_g = 0,025g$
1		$0,025g \leq a_g \leq 0,05g$
2	B	$0,05g \leq a_g \leq 0,10g$
3		$0,10g \leq a_g \leq 0,15g$
4		$a_g = 0,15g$



MÉTODO DAS FORÇAS HORIZONTAIS EQUIVALENTES

- Força horizontal total na base da estrutura:

$$H = C_s W$$

W é o peso total permanente da estrutura.

- C_s é o menor entre os valores:

$$C_s = \frac{2,5 \cdot (a_{gs0} / g)}{(R/I)}$$

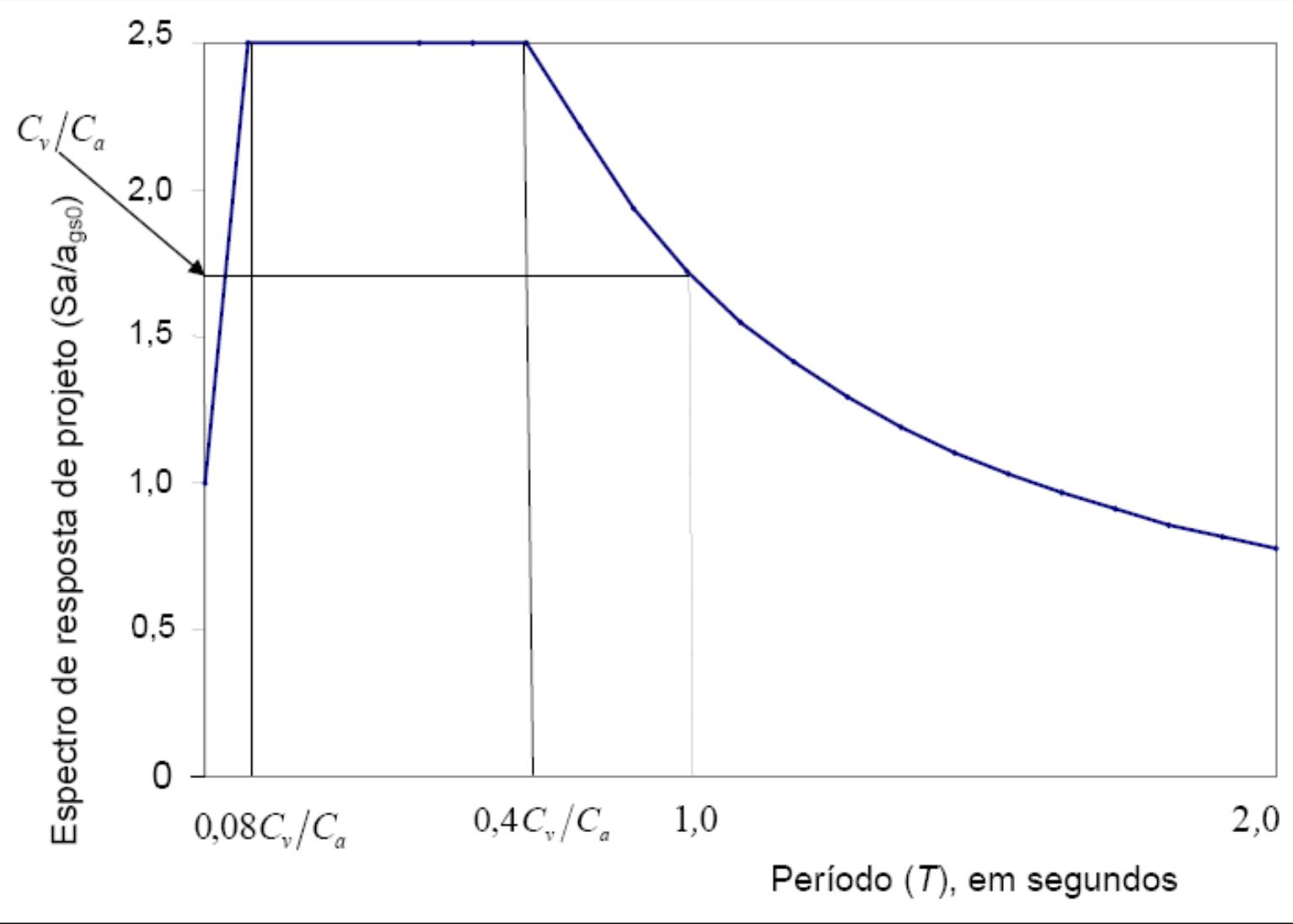
$$C_s = \frac{(a_{gs1} / g)}{T(R/I)}$$

- a_{gs0} e a_{gs1} são as acelerações espectrais para os períodos de 0,0s e 1,0s:

$$a_{gs0} = C_a \cdot a_g \text{ e } a_{gs1} = C_v \cdot a_g$$

- C_v e C_a dependem do subsolo local e de a_g .

Classe do terreno	Designação da Classe do Terreno	C_a		C_v	
		$a_g \leq 0,10g$	$a_g = 0,15g$	$a_g \leq 0,10g$	$a_g = 0,15g$
A	Rocha sã	0,8	0,8	0,8	0,8
B	Rocha	1,0	1,0	1,0	1,0
C	Rocha alterada ou solo muito rígido	1,2	1,2	1,7	1,7
D	Solo rígido	1,6	1,5	2,4	2,2
E	Solo mole	2,5	2,1	3,5	3,4



Variação do espectro de resposta de projeto (S_a/a_{g0}) em função do período (T)



- O período da estrutura (T) pode ser obtido como:

$$T = C_T \cdot h_n^x \quad (h_n - \text{altura do edifício})$$

- Nos exemplos, $C_T = 0,0466$ e $x = 0,9$ (forças sísmicas resistidas por pórticos de concreto).
- I é o fator de importância de utilização; para as edificações usuais $I = 1,0$.
- R é o coeficiente de modificação de resposta (relativo à deformação inelástica). Para pórticos de concreto com detalhamento usual, $R = 3$.
- A força F_x aplicada a cada elevação é igual a:

$$F_x = C_{vx} \cdot H \quad \text{com } C_{vx} \text{ igual a:}$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

- w_i é o peso efetivo total relativo à elevação i
- h_i são as alturas entre a base e as elevações i ;
 - para períodos próprios inferiores a 0,5 s, $k = 1$;
 - para períodos entre 0,5 s e 2,5 s, $k = (T + 1,5)/2$;
 - para períodos próprios superiores a 2,5 s, $k = 2$.



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



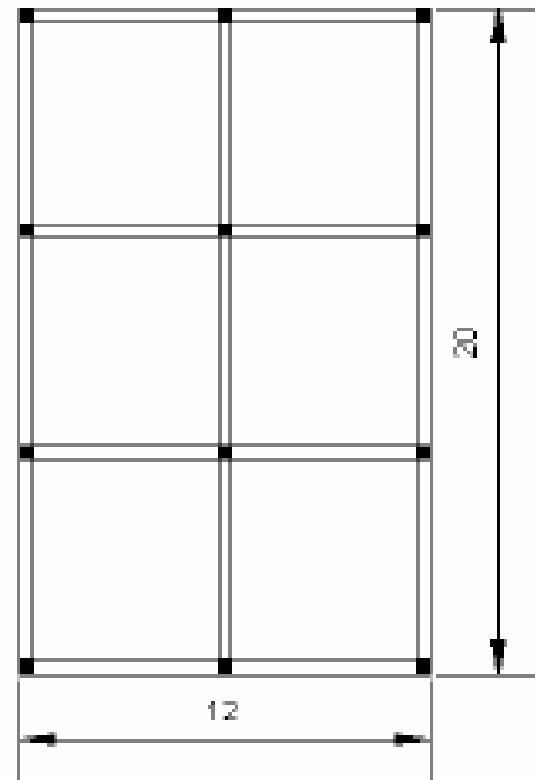
Estudo comparativo entre efeitos dos sismos e do vento



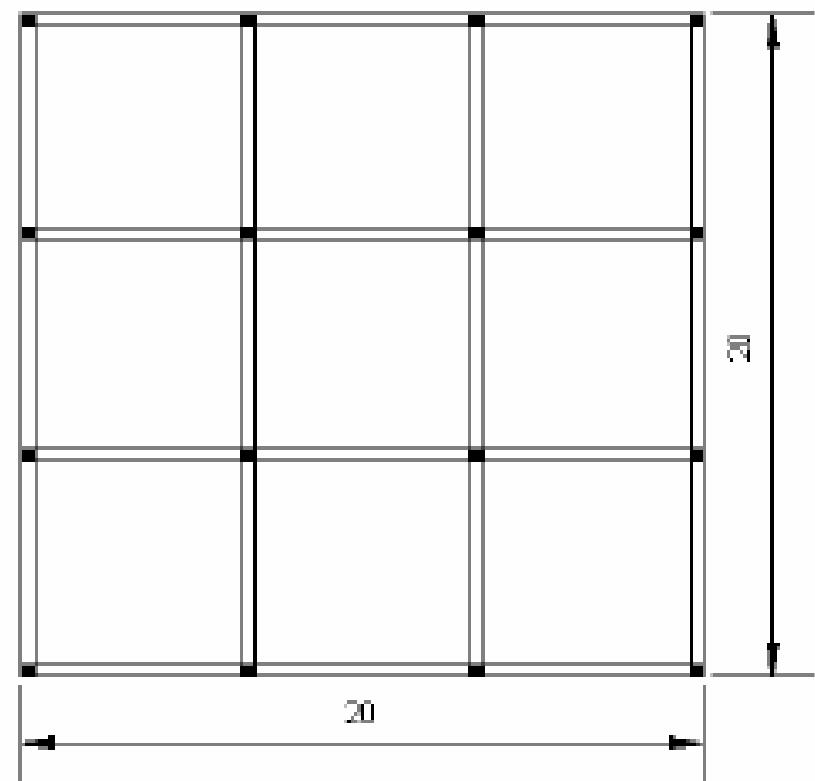
- É natural a preocupação com os impactos da nova Norma Brasileira de Sismos nos processos de cálculo e no custo das construções.
- São aqui comparados os efeitos dos sismos com os de vento em edifícios, no Brasil.
- As análises se desenvolvem para edifícios em várias cidades do Brasil, usando procedimentos automáticos do Sistema SALT – UFRJ.
- Uma comparação é feita, das forças globais decorrentes de sismo e vento, em prédios de 1 a 50 pavimentos, em três cidades no Brasil.



- São analisadas duas situações extremas (Edifícios Tipo A e B) para relações entre área exposta ao vento/ massa por andar:
- Edifício Tipo A: Dimensões em planta: 12m x 20m; Carga permanente por metro quadrado: 8 kPa.
- Edifício Tipo B: Dimensões em planta: 20m x 20m; Carga permanente por metro quadrado: 12 kPa.



Edifício Tipo A



Edifício Tipo B



- As cargas de vento estão de acordo com a NBR-6123, com fatores S_1 e S_3 (topográfico e probabilístico) iguais a 1,00.

Cidade	Velocidade característica do vento (V_t) – m/s	Acelerações sísmicas características a_s (g's)
Rio Branco	30,0	0,10
Porto Velho	30,0	0,01
Corumbá	40,0	0,01

- Os exemplos são processados com o sistema SALT-UFRJ. Os resultados apresentados nas figuras são forças horizontais e momentos totais nas bases dos prédios.
- Em Rio Branco (Zona Sísmica 3, Classes de Terreno A a E), as forças de sismo são claramente superiores aos de vento.
- Em Porto Velho (situação similar à cidade de Fortaleza), em algumas situações, os efeitos do sismo podem suplantar os do vento.



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

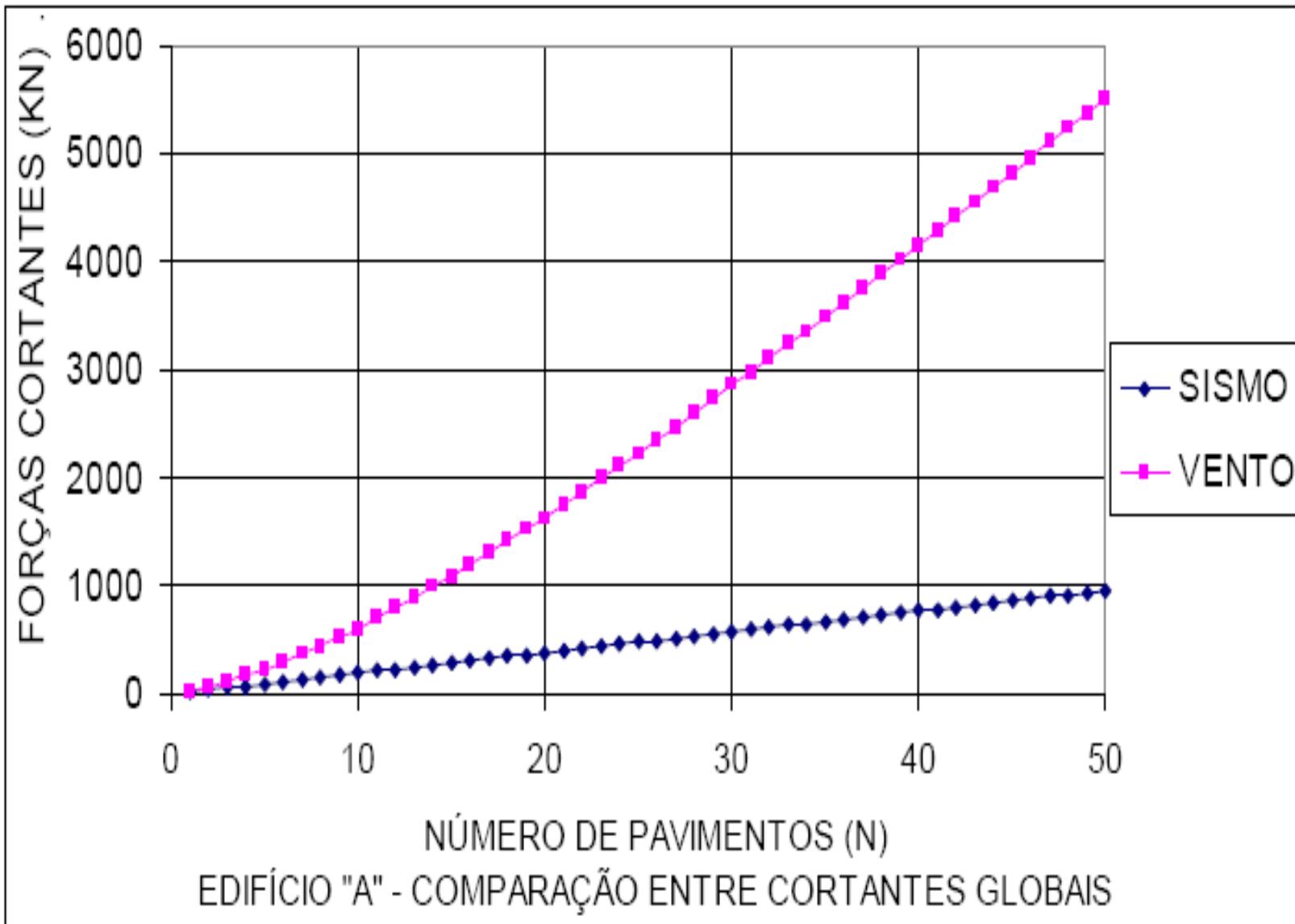


Figura 5 – Cidade de Corumbá – Edifício “A” - Comparação entre esforços cortantes globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

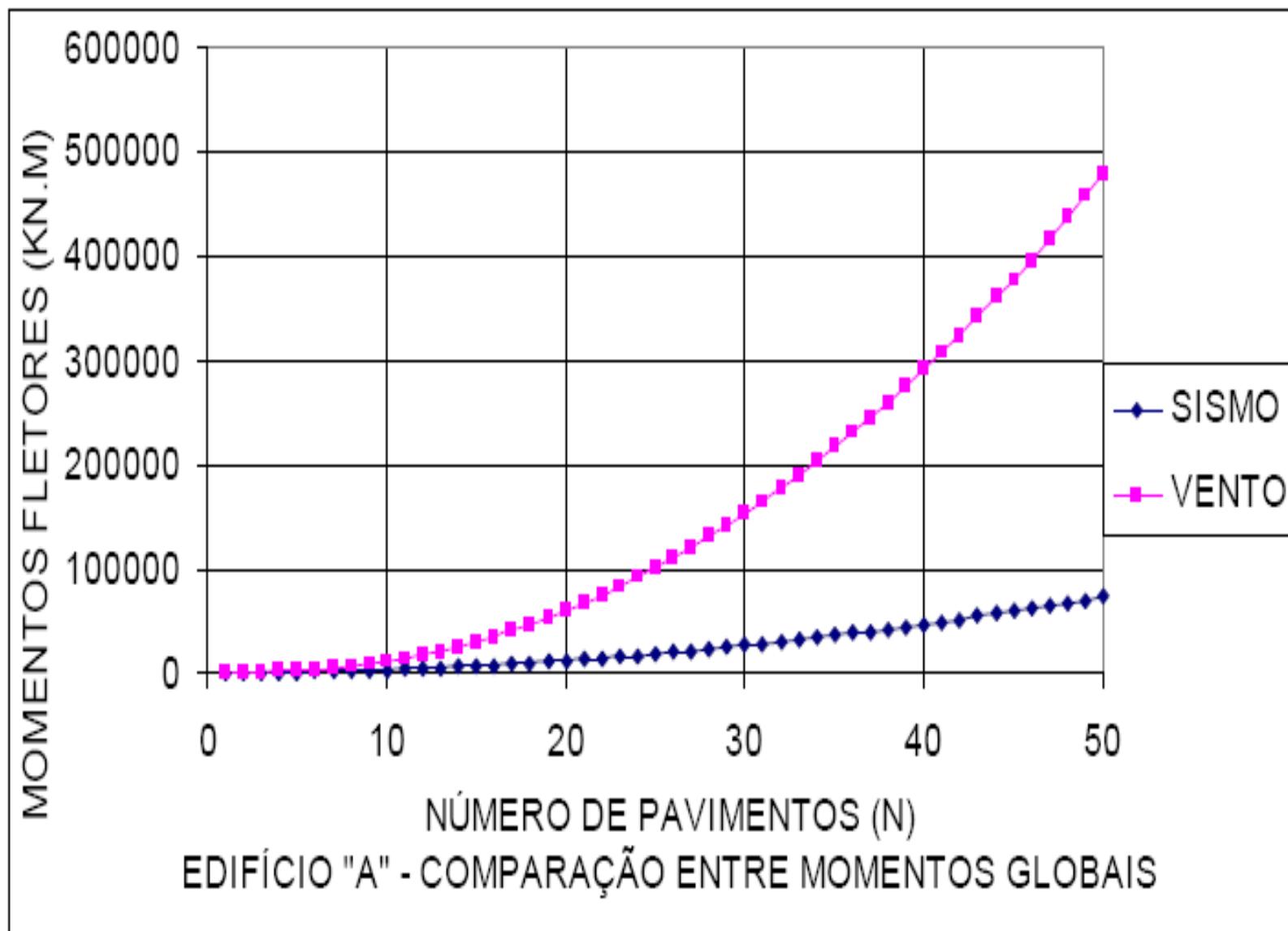


Figura 6 – Cidade de Corumbá – Edifício "A" - Comparação entre momentos fletores globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

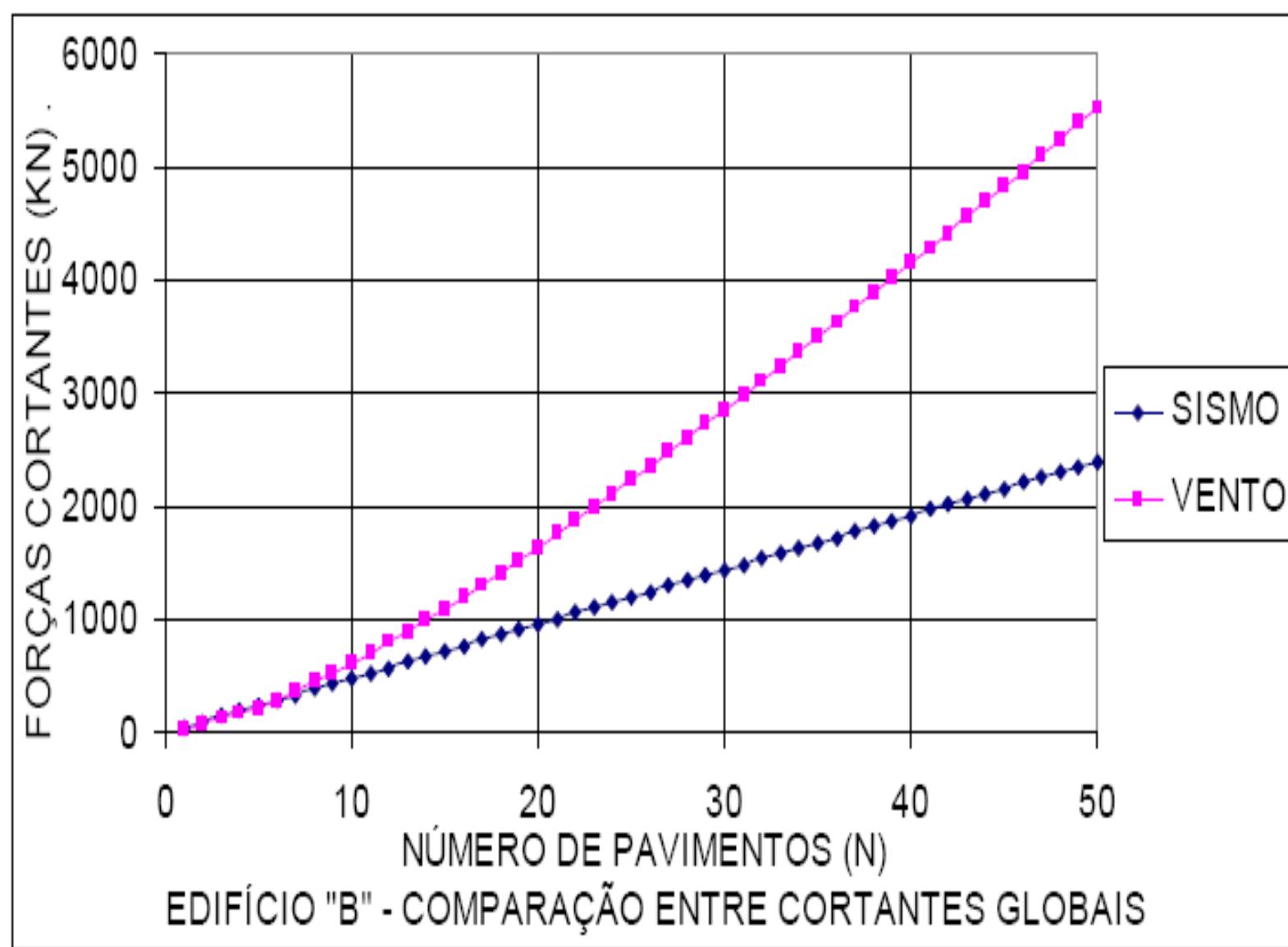


Figura 7 – Cidade de Corumbá – Edifício “B” - Comparaçāo entre esforços cortantes globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

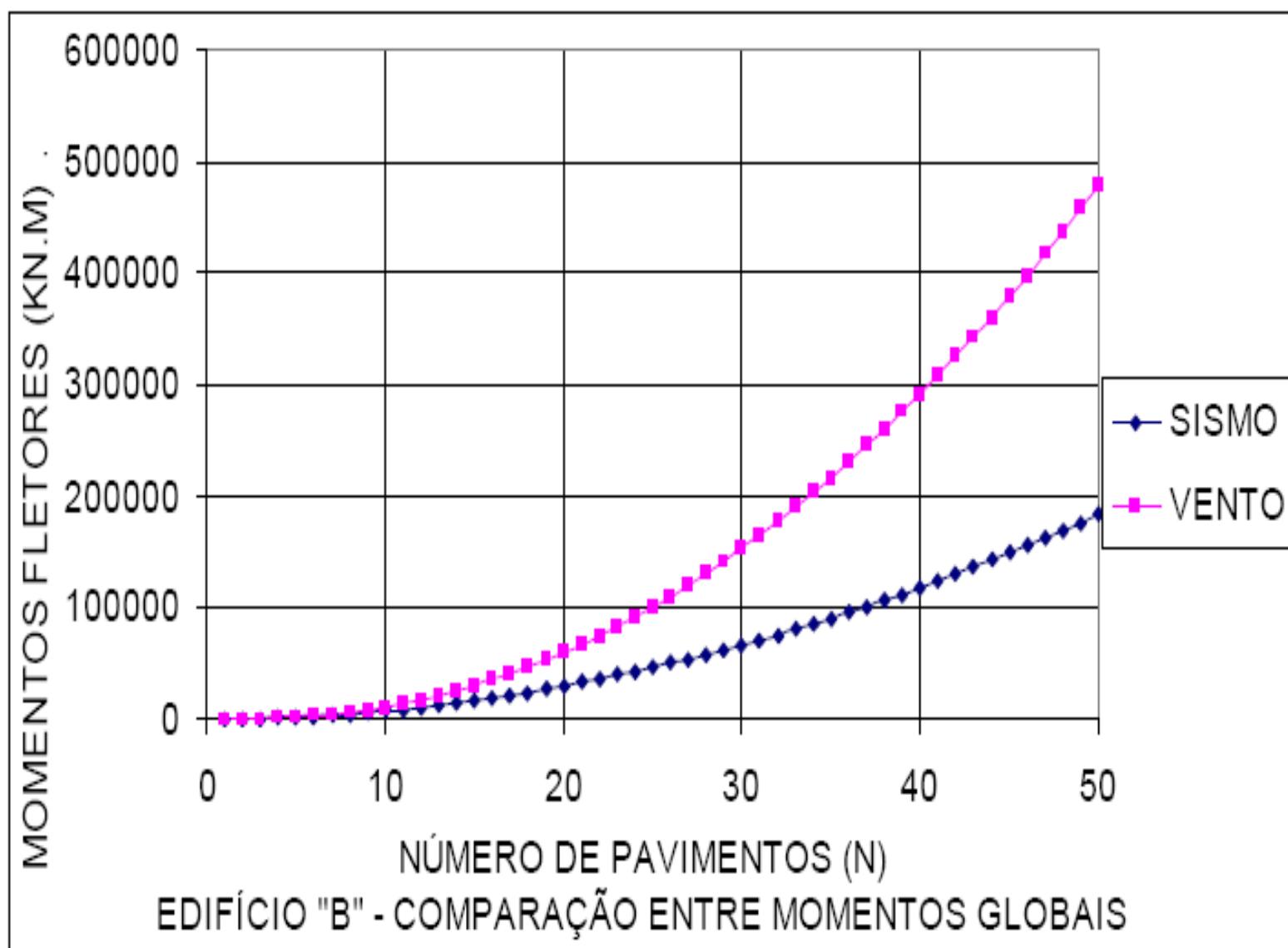


Figura 8 – Cidade de Corumbá – Edifício "B" - Comparação entre momentos fletores globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

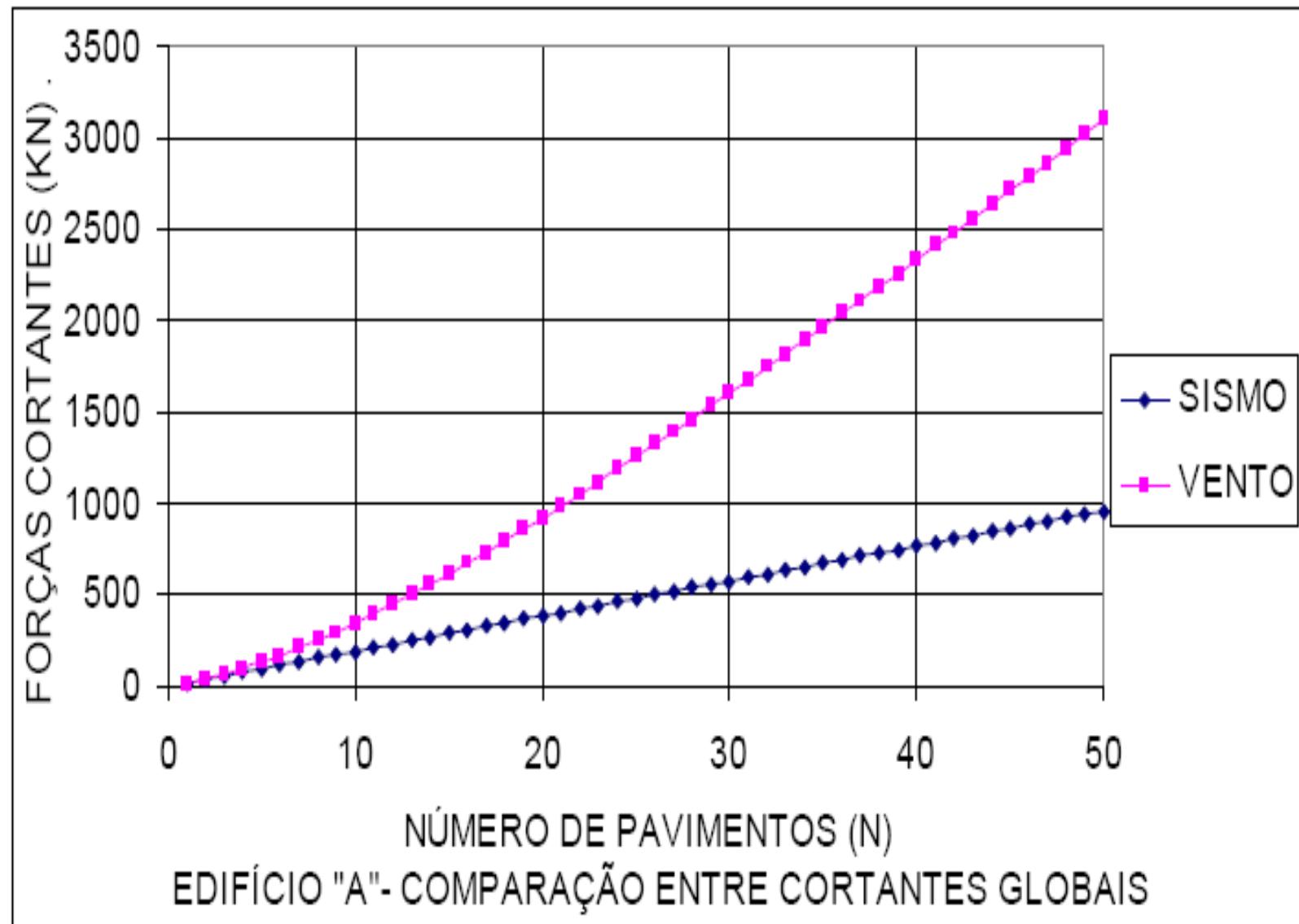


Figura 9 – Cidade de Porto Velho – Edifício “A” - Comparação entre esforços cortantes globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

UFRJ
SALI
OMP-RR

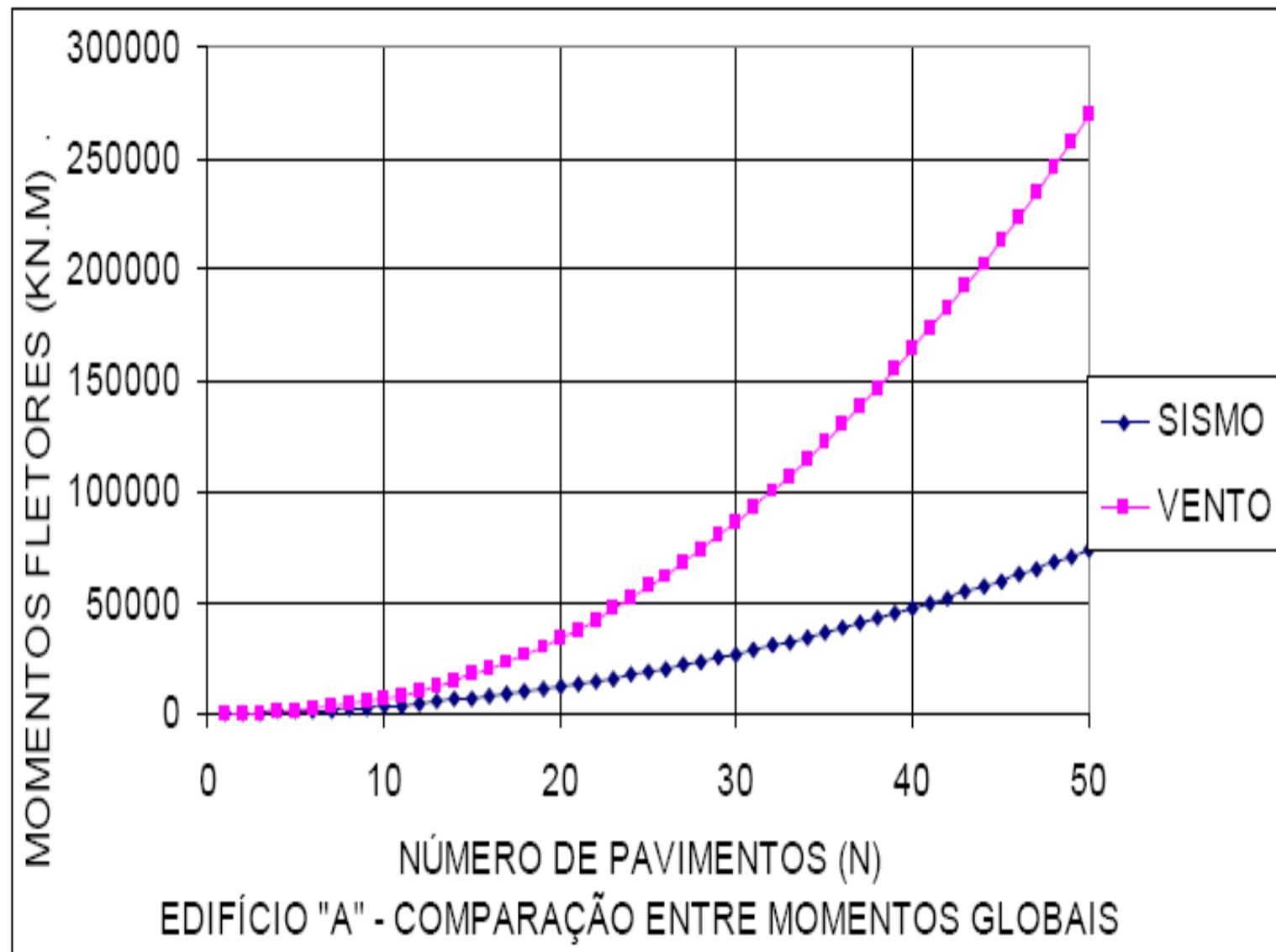


Figura 10 – Cidade de Porto Velho – Edifício “A” - Comparação entre momentos fletores globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

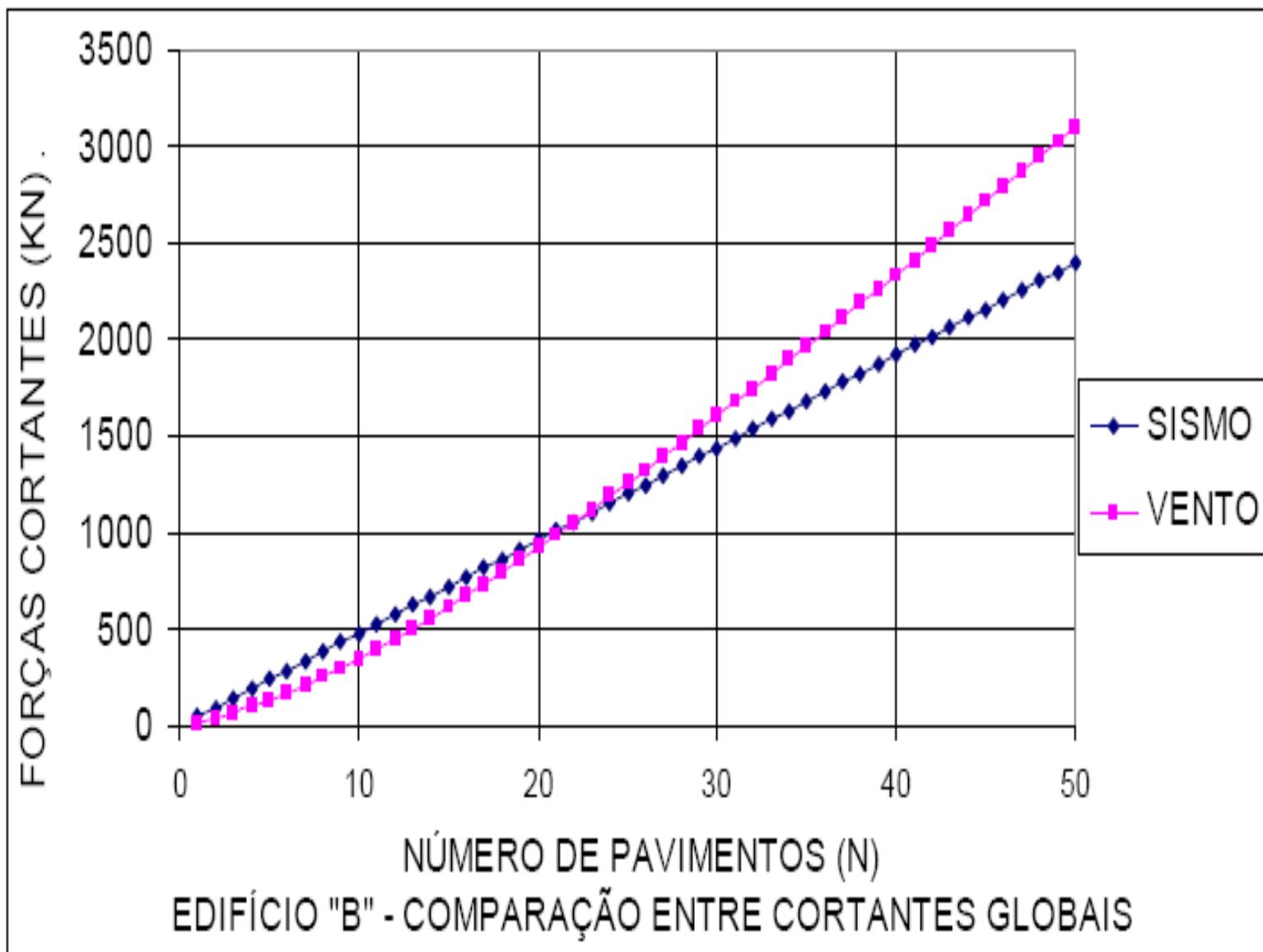


Figura 11 – Cidade de Porto Velho – Edifício "B" - Comparação entre esforços cortantes globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

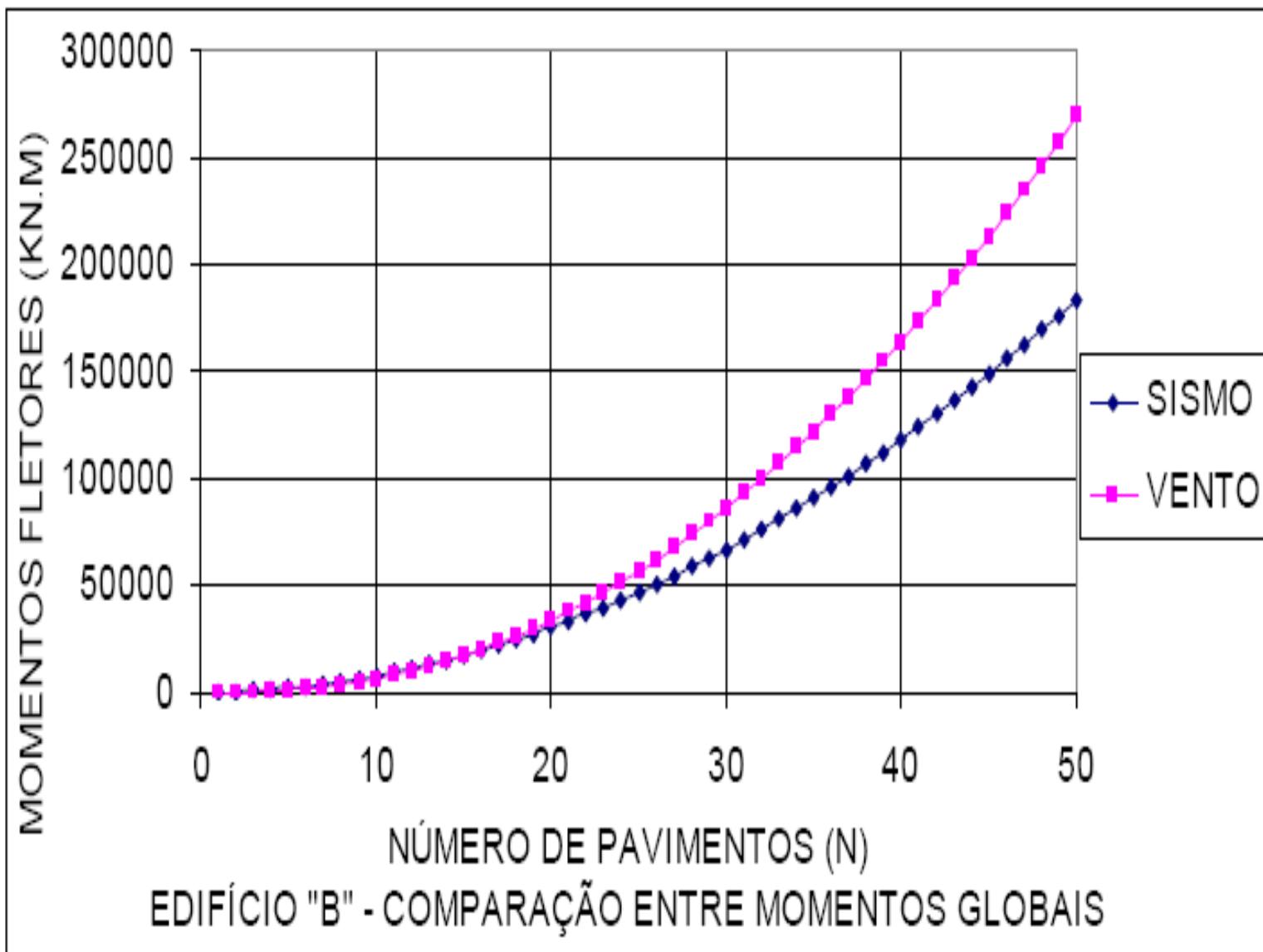


Figura 12 – Cidade de Porto Velho – Edifício “B” - Comparação entre momentos fletores globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

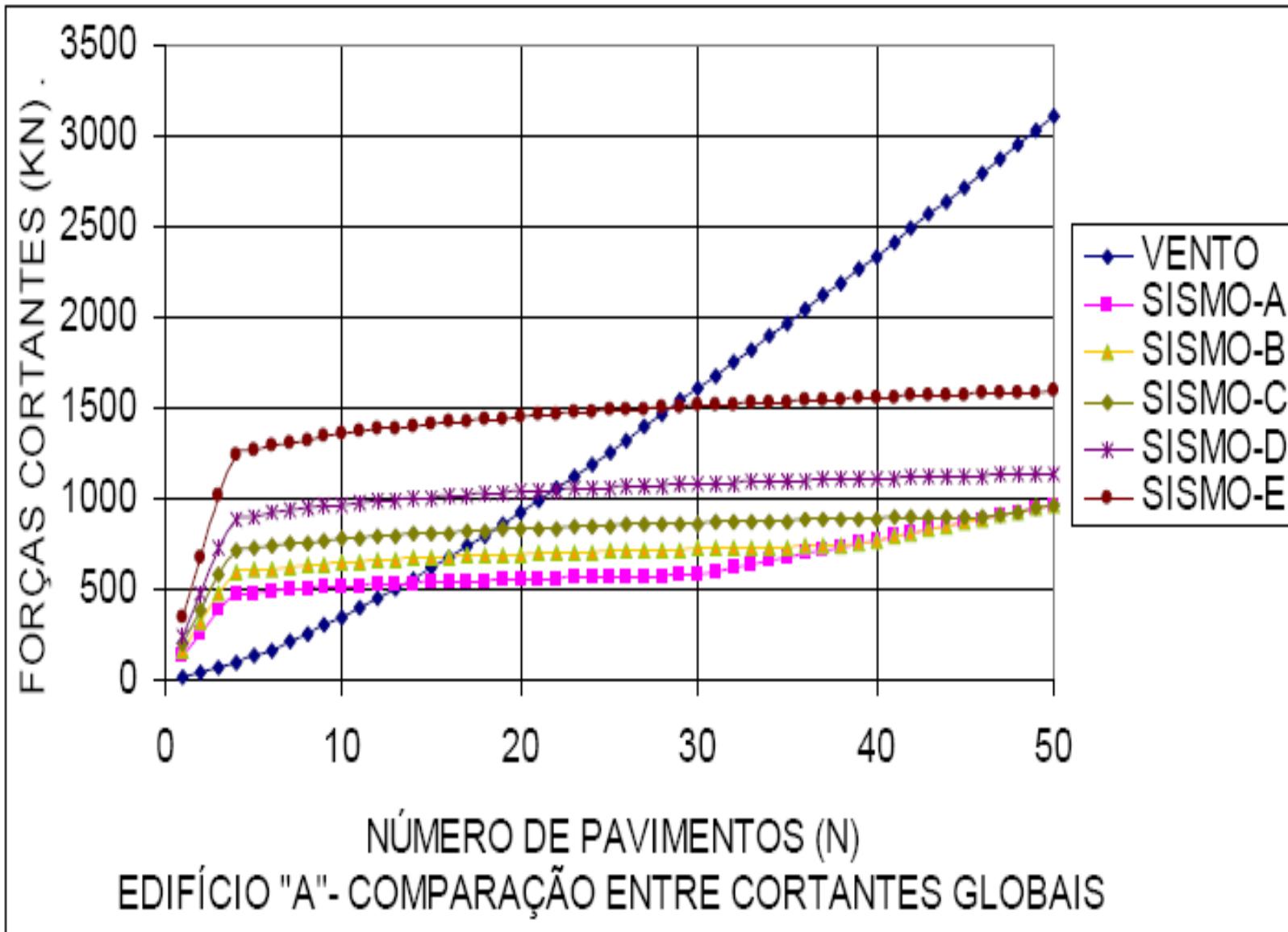


Figura 13 – Cidade de Rio Branco – Edifício “A” - Comparação entre esforços cortantes globais

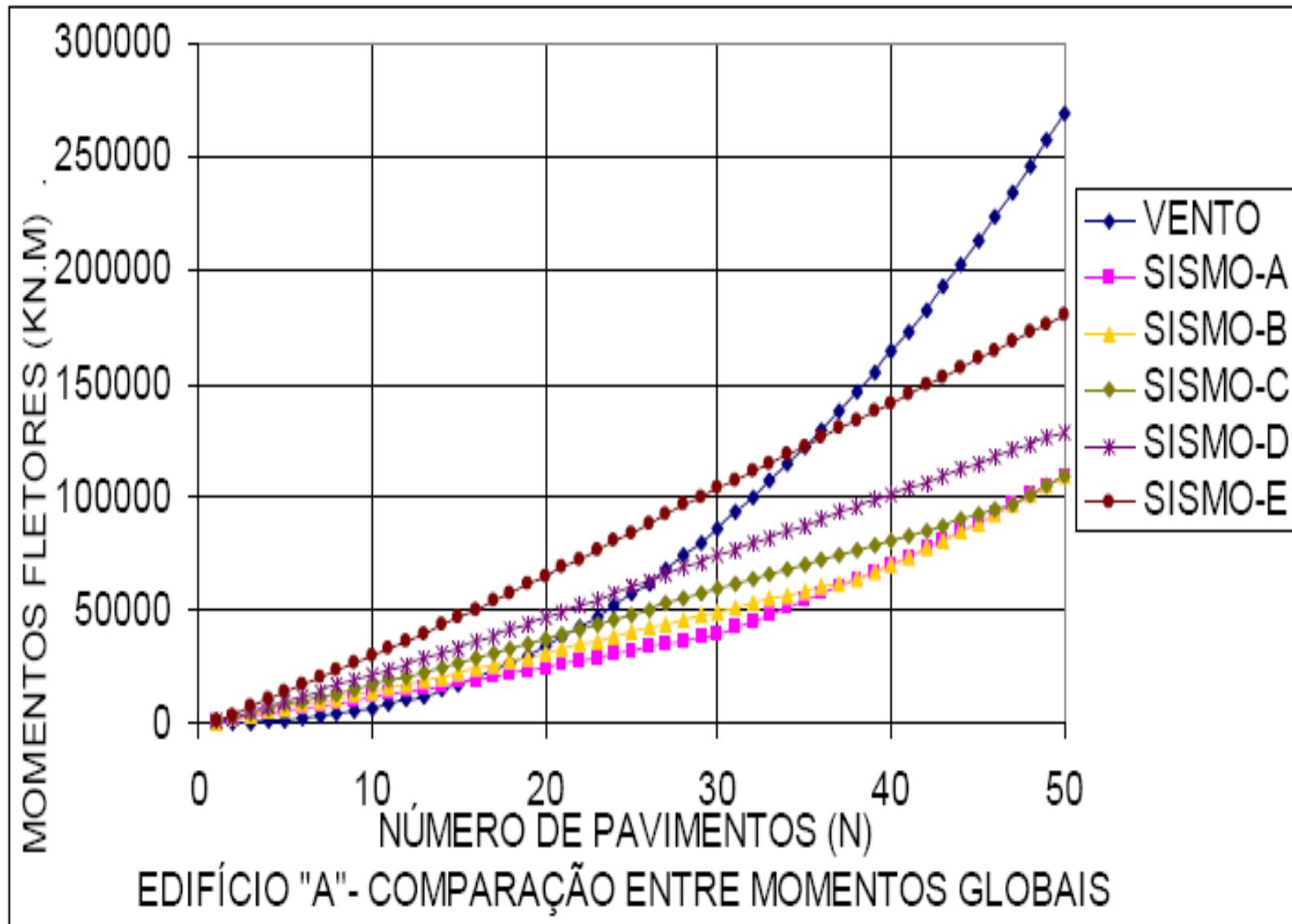


Figura 14 – Cidade de Rio Branco – Edifício “A” - Comparaçāo entre momentos fletores globais



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima

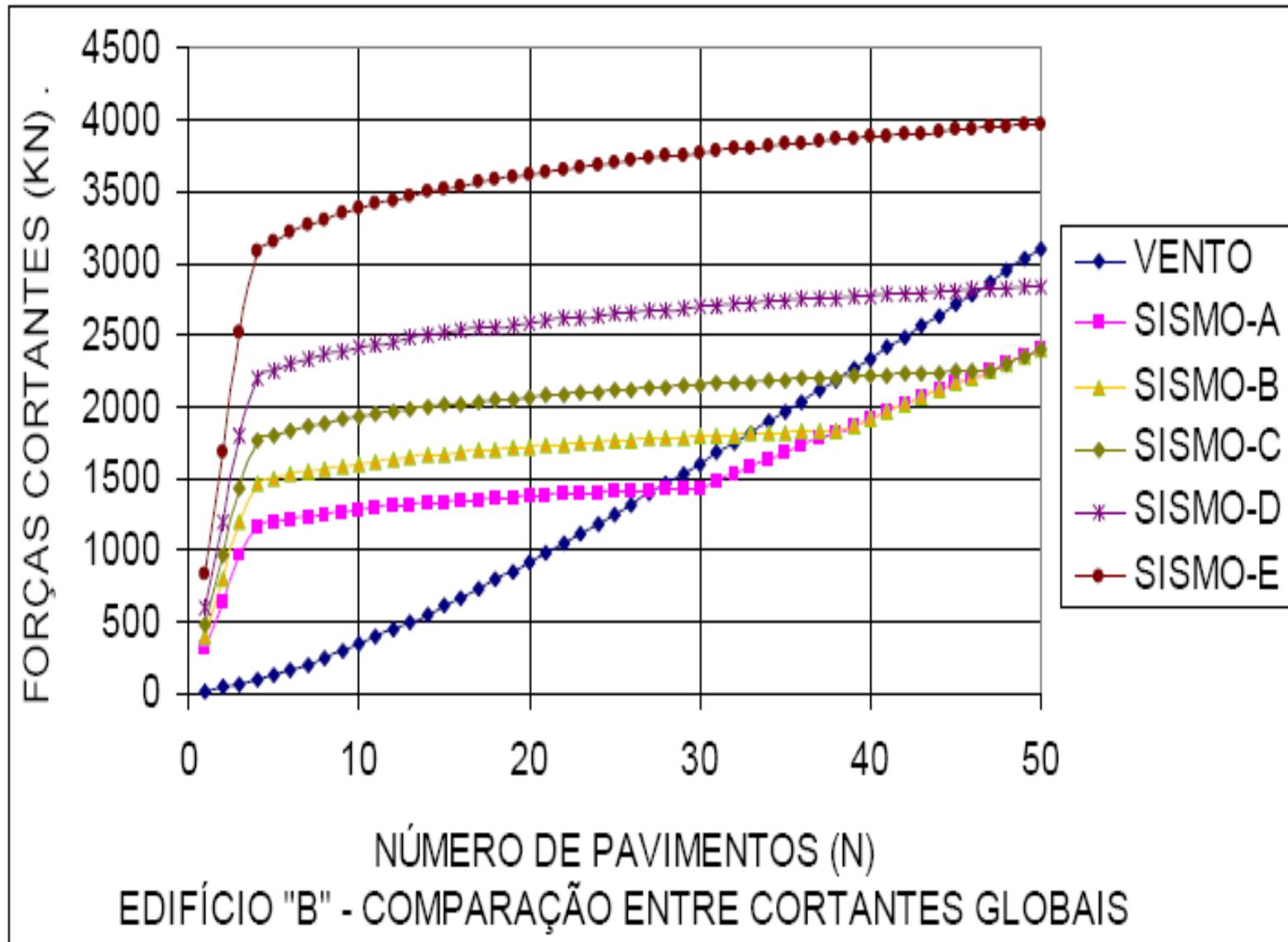


Figura 15 – Cidade de Rio Branco – Edifício “B” - Comparaçāo entre esforços cortantes globais

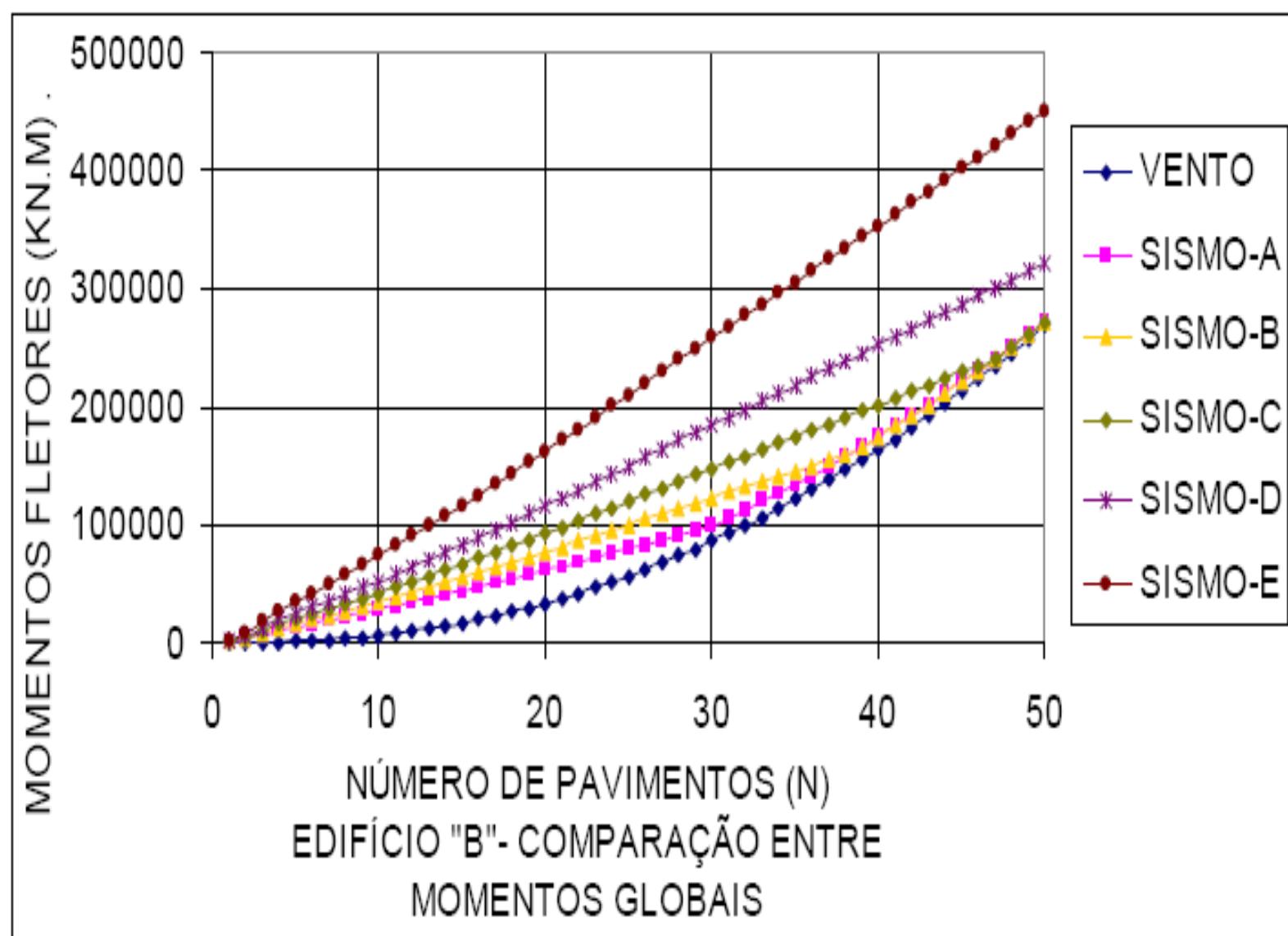


Figura 16 – Cidade de Rio Branco – Edifício “B” - Comparação entre momentos fletores globais

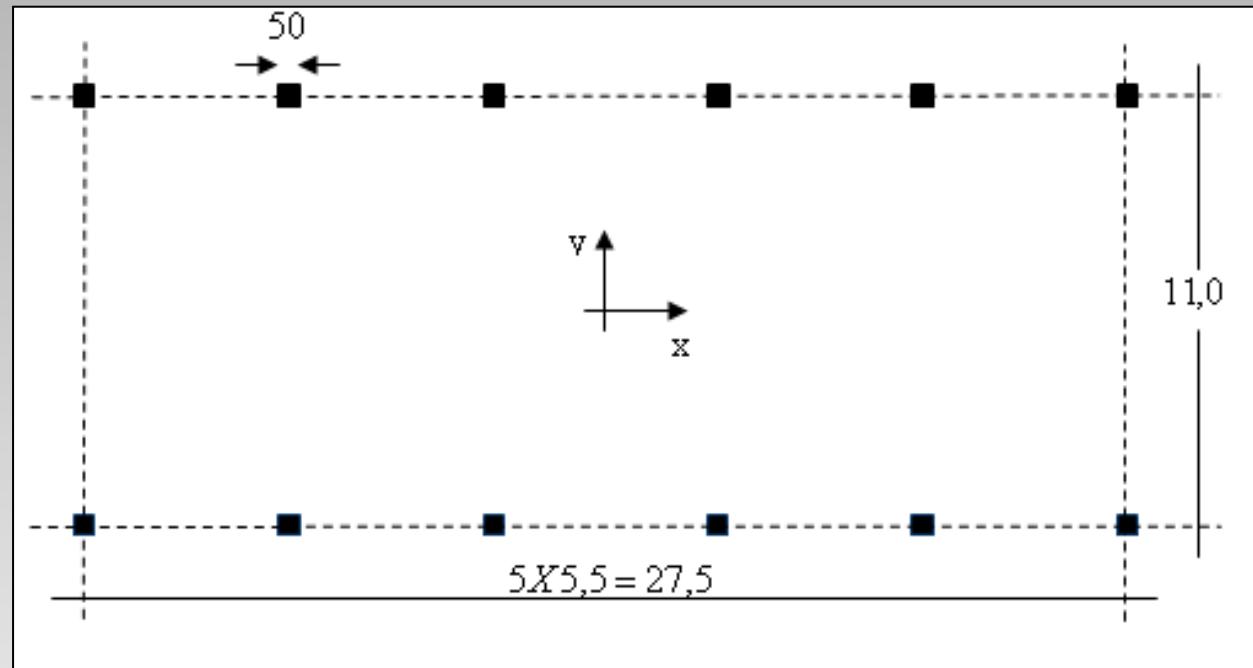


Exemplo de aplicação:

Um edifício com ocupação prevista para escritórios, com estrutura em concreto armado, localizado na cidade de Rio Branco, no Acre, tem três andares com colunas retangulares de seção transversal de 40 cm por 50 cm, dispostas em planta conforme mostrado na figura em seqüência.

A altura entre andares é de 4,0 m. A carga permanente, por andar, é avaliada em 6,3 kN/m².

Considerar que o solo de fundação seja uma areia, com SPT médio nos 30m superiores do terreno, igual a 30 golpes. Efetuar a análise sísmica considerando o método estático da Norma Sísmica Brasileira, na direção y da figura.



Distribuição dos pilares



Período aproximado (expressão da Norma): 0,436 s

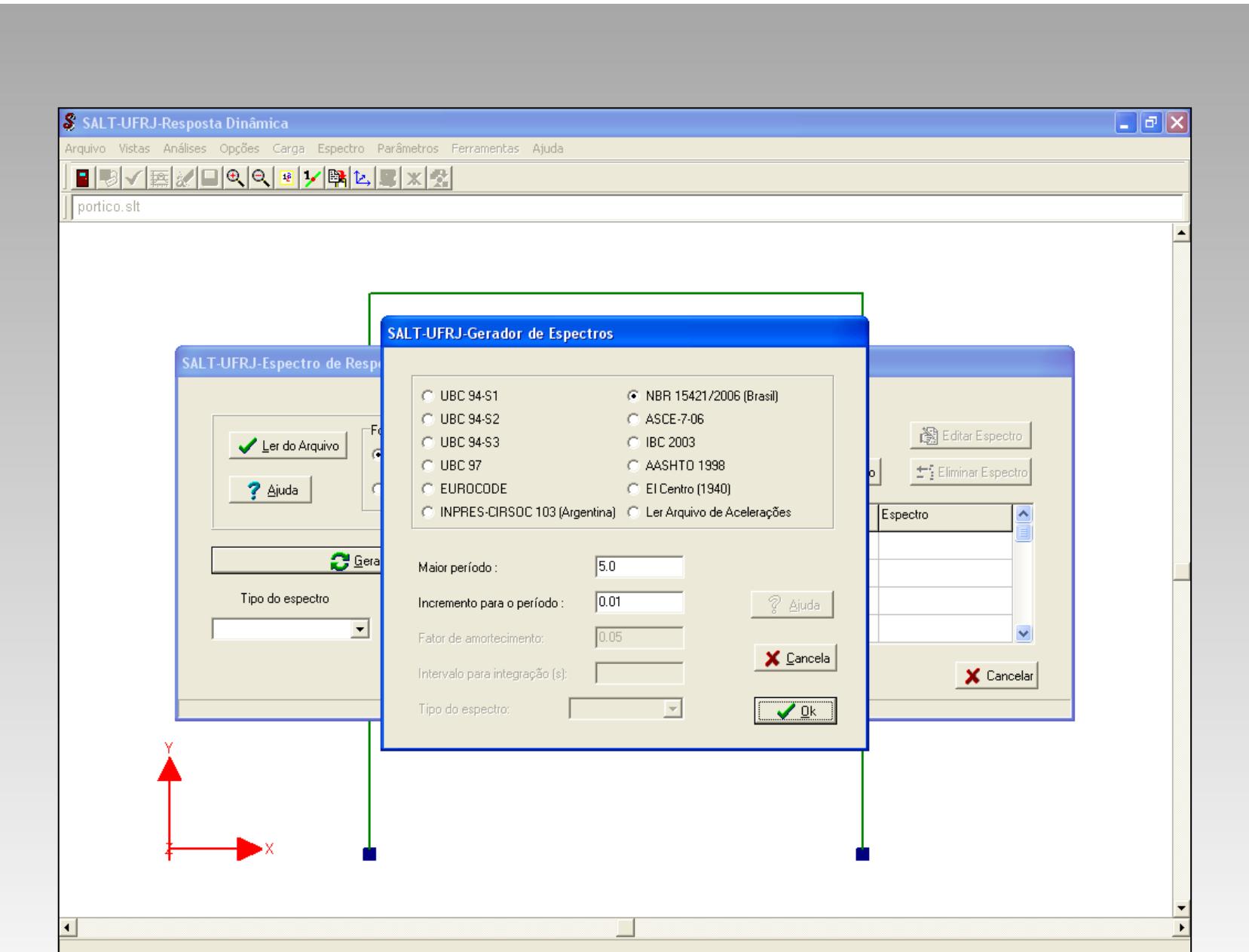
Andar	Rigidez (kN/m)	Vx(kN)	$\Delta x(m)$	Deslocamento total (m)
3	1,5E5	380,2	2,533E-3	11,82E-3
2	1,5E5	633,7	4,222E-3	9,289E-3
1	1,5E5	760,4	5,067E-3	5,067E-3

Vx força horizontal total no andar
 Δx deslocamento relativo de andar



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

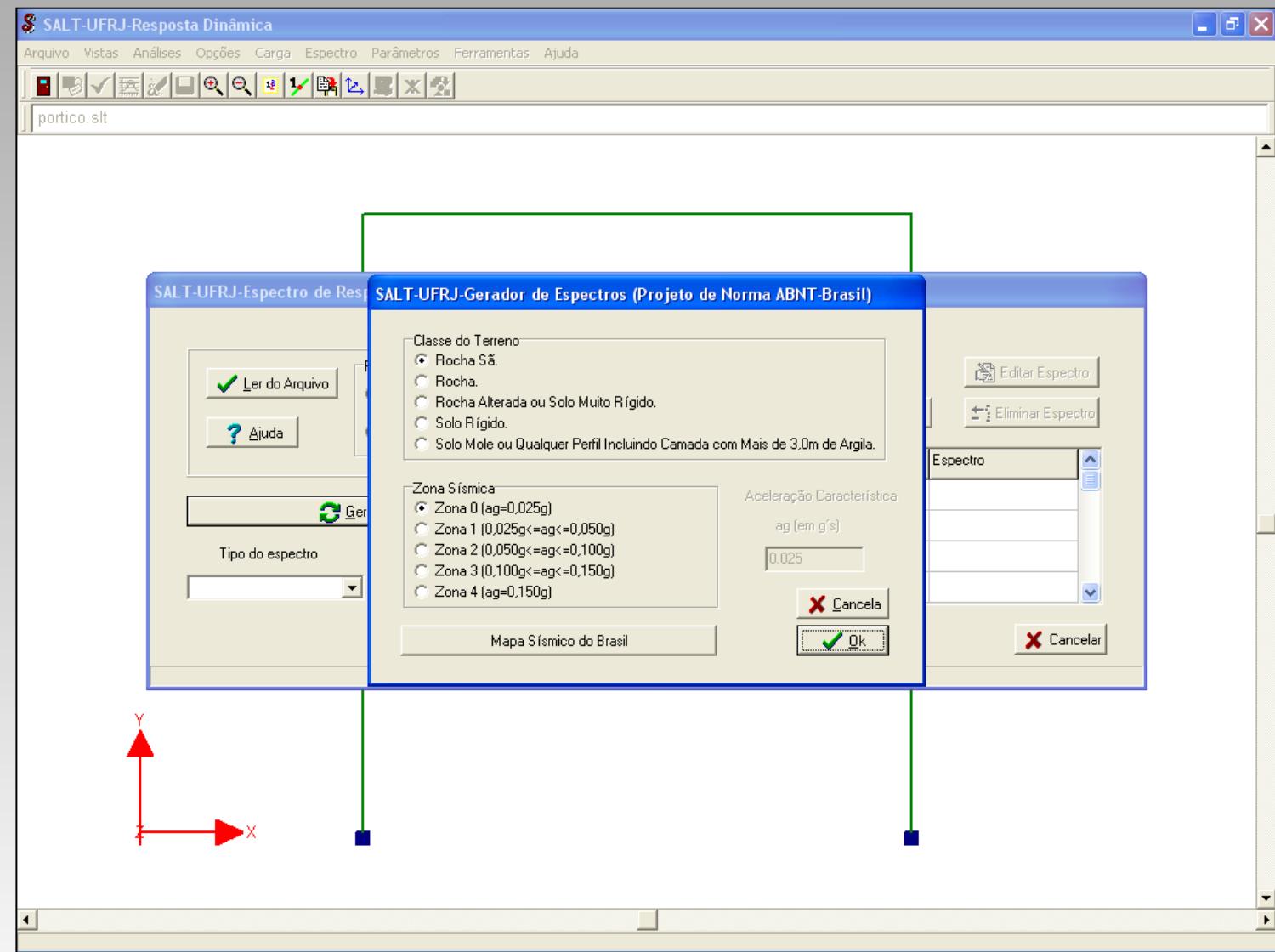
Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

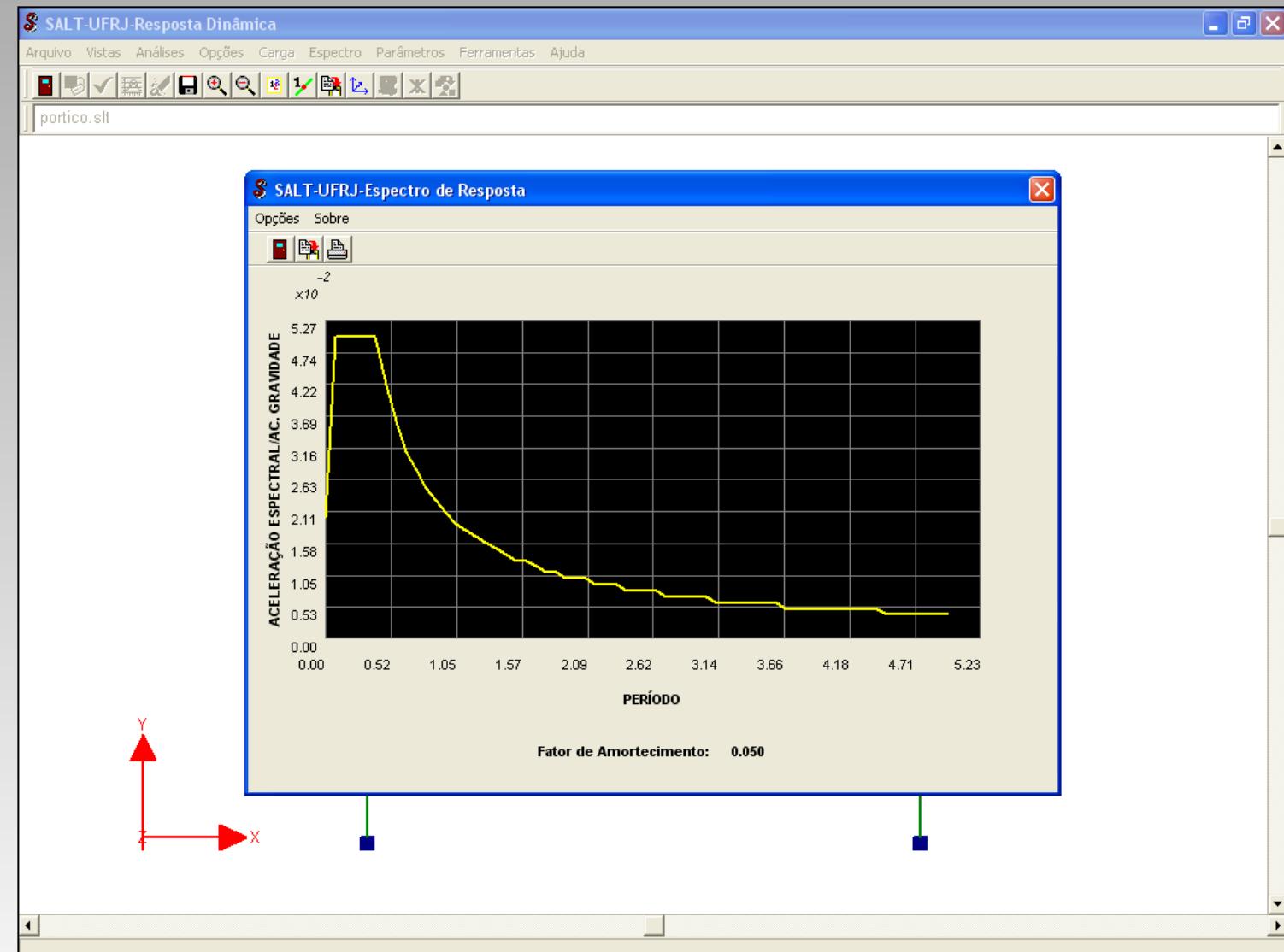
Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima





As freqüências fornecidas pelo programa são:

modo	freqüência (rad/seg)	freqüência (Hertz)	período (seg)
1	12.3664	1.9682	0.5081
2	34.6499	5.5147	0.1813
3	50.0702	7.9689	0.1255



MASSAS EFETIVAS

MODO	INDIVIDUAL (%)			ACUMULADO (%)		
	DIREÇÃO X	DIREÇÃO Y	DIREÇÃO Z	DIREÇÃO X	DIREÇÃO Y	DIREÇÃO Z
1	91.4	0.0	0.0	91.4	0.0	0.0
2	7.5	0.0	0.0	98.9	0.0	0.0
3	1.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0

FORÇA NA BASE

SIST	FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOMENTO X	MOMENTO Y	MOMENTO Z
GLOB	698.51	0.00				6259.38

Sergio Hampshire C. Santos
Silvio de Souza Lima



***SALT é marca registrada da
Escola Politécnica da UFRJ***
**Registro número INPI-94000732 no
Instituto Nacional de Propriedade
Industrial**

www.salt.poli.ufrj.br

salt@poli.ufrj.br