

MEMORIAS

13 AL 17 DE NOVIEMBRE DEL 2000
PUNTA DEL ESTE - URUGUAY



JUBILEO
Prof. Julio Ricaldoni

ORGANIZAN:

- Instituto de Estructuras y Transporte
- Facultad de Ingeniería Universidad de la República
- Asociación Sudamericana de Ingeniería Estructural

Salir

Listado de Trabajos



Listado de Autores



Listado de Temas



Búsqueda
de trabajos



Auspiciantes



Conferencias



Historia



Evaluadores

Aguado de Cea, Antonio
Alcocer, Sergio
Ambrosini, Daniel
Antunes, Helena Carmo
Arze L. Elías
Astroza, Maximiliano
Awroch, Armando M.
Barlek, Rodolfo
Beckeres, Pierre
Benito, Raúl D.
Bignoli, Arturo J.
Blessman, Joaquín
Campagnolo, João Luiz
Campos Filho, Américo
Carmona, Juan S.
Carnicer, Roberto S.
Caro, Santana
Cataldo, José Alberto
Cechella, Isaia, Geraldo
Cisilino, Adrian
Cleto, Agosti
Colacce, Carlos
Colmar Vellasco, Pedro
Consoli, Nilo
Cremonini, Ruy A.
Creus, Guillermo J.
Crisafulli, Francisco
Cudmani, Roberto O.
Curutchet, Raúl A.
da Conceição Domingues Shehata, Lidia
Dal Molin, Denise C. C.
Darín, Gustavo
Davila, Virginia Rosito
de Faria Telles, Jose Claudio
De Las Casas, Estevam
del Carril, Tomás
Del Villar, José M.
Doz, Graciela Nora
Duarte Ribeiro, José Luiz

Salir

INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE
Prof. Julio Ricaldoni

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
Avda. Julio Herrera y Reissig 565
C.P. 11300 - Montevideo - URUGUAY

Tels.: (598-2) 711 0524 - 711 0993 - 711 2643

Fax: (598-2) 711 2886

E-mail: iet@fing.edu.uy - www.fing.edu.uy/iet/

COMISIÓN ORGANIZADORA

Presidente
Prof. Ing. Gerardo Rodríguez
Secretario
Dr. Ing. Alvaro Gutiérrez
Vocales
Prof. Ing. Susana García
Dr. Ing. Berardi Sensale
M.Sc. Ing. Atilio Mórquico
Prof. Ing. Santana Caro

13 AL 17 DE NOVIEMBRE DEL 2000
PUNTA DEL ESTE - URUGUAY



JUBILEO
Prof. Julio Ricaldoni

Atras

16 AL 17 DE NOVIEMBRE DEL 2000
PUNTA DEL ESTE - URUGUAY



JUBILEO
Prof. Julio Ricaldoni

ALTERAÇÕES DEVIDAS À INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA NO COMPORTAMENTO DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO SUBMETIDOS A AÇÕES HORIZONTAIS

H 72 2a

Oswaldo Gomes de Holanda Júnior
Mestre em Engenharia de Estruturas

Marcio Antonio Ramalho
Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas

Márcio Roberto Silva Corrêa
Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas

Escola de Engenharia de São Carlos - EESC
Universidade de São Paulo - USP
Brasil

SUMARIO

A interação solo-estrutura é geralmente negligenciada na análise estrutural de edifícios. Entretanto, esta interação pode ter influência significativa no comportamento das estruturas, sobretudo no caso de edifícios sobre fundações diretas. Com o objetivo de estudar esta influência, comparam-se neste trabalho os resultados de análises com e sem a consideração da interação solo-estrutura para dois exemplos de edifícios usuais em concreto armado. Para cada exemplo, são aplicadas ações horizontais devidas ao vento, atuando separadamente segundo duas direções ortogonais. Representam-se as superestruturas por pórticos tridimensionais formados por elementos finitos tipo barra, e os conjuntos compostos por fundação e maciço de solo subjacente são representados por elementos especiais baseados no Método dos Elementos de Contorno. Os resultados demonstram que realmente podem ocorrer diferenças bastante significativas entre os esforços obtidos com ambas análises, especialmente nos pavimentos inferiores, onde também se verificou uma perturbação no comportamento dos momentos fletores. Além disso, os deslocamentos horizontais nos topos dos edifícios sofreram acréscimos percentualmente significativos ao ser considerada a interação com o solo.

SYSNO 1176084
PROD 003570

ACERVO EESC

INTRODUÇÃO

Na análise estrutural de edifícios usuais, a interação solo-estrutura normalmente não é considerada. Em alguns casos, como edifícios sobre estacas ou quando é feito um tratamento para o solo, esse procedimento é justificável. Entretanto, quando a edificação assenta-se sobre fundações superficiais, a flexibilidade dessas fundações pode interferir nos esforços e deslocamentos da estrutura.

Pode-se dizer, então, que para a obtenção de resultados mais próximos da realidade, o sistema a ser analisado deve sofrer uma alteração. Comumente, este sistema é composto por uma estrutura apoiada sobre uma base rígida (Figura 1b). Porém, o desempenho estrutural de um edifício é função da interação entre seus elementos e o maciço de solo subjacente. As edificações são mais bem definidas como constituídas de três partes interligadas: superestrutura, subestrutura e maciço de solo subjacente, como representado na Figura 1a.

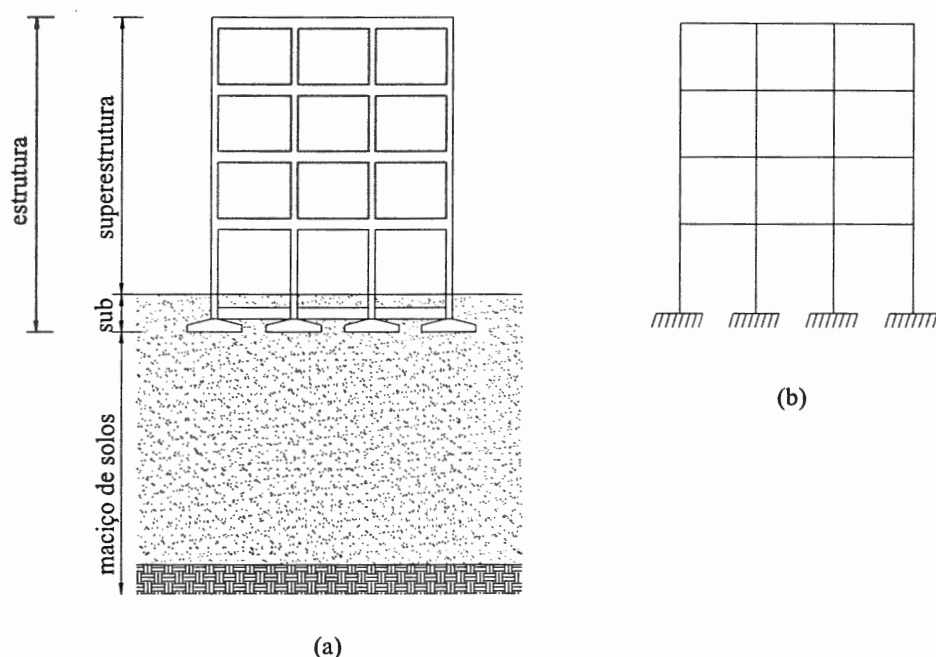


Figura 1: Hipóteses de projeto. (a) Sistema superestrutura-subestrutura-macço de solo. (b) Sistema estrutura-base rígida.

Dada a relativa falta de conhecimentos sobre a qualidade e a grandeza dos efeitos da interação solo-estrutura nas edificações, verifica-se a necessidade de pesquisas que abordem tal assunto. Elas são importantes para dar o devido embasamento teórico aos profissionais de engenharia, permitindo que seja feito um dimensionamento estrutural mais adequado, e alertá-los para este problema tão comumente negligenciado.

Com o intuito de verificar a importância da consideração da interação solo-estrutura e de observar o comportamento das estruturas usuais de edifícios levando-se em conta a flexibilidade de suas fundações, foi elaborado este estudo de alguns efeitos dessa interação para o caso de edifícios de concreto armado sobre fundação direta.

Foram aplicadas ações horizontais à estrutura. Nessa situação, foram comparados os esforços nos elementos estruturais e os deslocamentos nodais para análises efetuadas com ou sem a consideração da interação solo-estrutura.

AÇÕES APLICADAS

Analisaram-se dois edifícios, submetidos a ações horizontais. As solicitações aplicadas correspondem à ação do vento e foram determinadas de acordo com a norma brasileira NBR 6123 (1988).

XXIX JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL

Assumiu-se que os pavimentos dos edifícios estão contidos em planos paralelos ao plano xy . Foram impostas separadamente ações devidas ao vento segundo as direções x e y . Ressalta-se que os exemplos não foram submetidos a nenhum tipo de carga vertical.

MODELAGEM DOS EDIFÍCIOS

Cada exemplo teve sua superestrutura representada por um pórtico tridimensional e o conjunto subestrutura-maço de solo modelado a partir do elemento sapata rígida.

Os elementos do tipo barra, que compõem os pórticos tridimensionais, são elementos finitos lineares com dois nós localizados em suas extremidades e seis graus de liberdade por nó: três translações e três rotações segundo os eixos ortogonais que definem o espaço tridimensional.

Representa-se o conjunto subestrutura-maço de solo através do elemento sapata rígida. Este elemento é composto de uma ou mais sapatas perfeitamente rígidas, cada uma ligada a um ponto nodal da superestrutura. Na formulação do elemento, o solo é considerado como um meio contínuo, elástico, linear, isotrópico, e homogêneo. Permite-se a consideração de uma camada indeslocável situada dentro do maço de solo a uma certa profundidade.

RESULTADOS

Em seguida são apresentados os edifícios estudados e as comparações dos resultados obtidos com as análises com e sem a consideração da interação solo-estrutura, para o vento atuando em ambas as direções.

Edifício Maison Versailles

Na Figura 2 encontra-se a planta baixa do pavimento tipo do edifício e o esquema de aplicação das ações externas. Este exemplo é composto de 21 pavimentos.

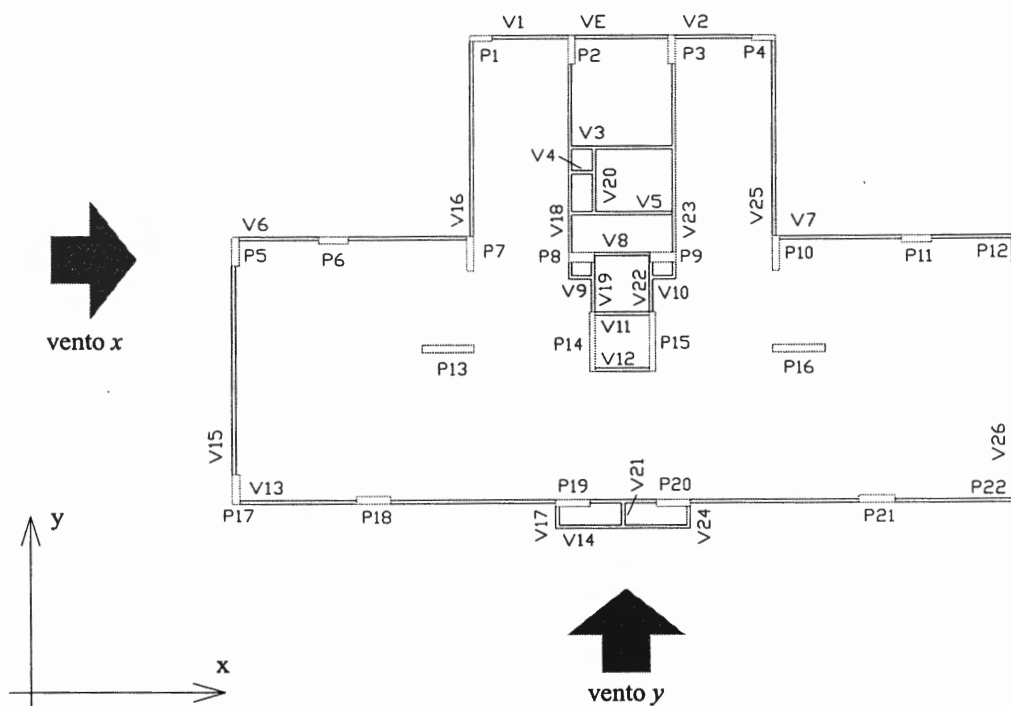


Figura 2: Planta baixa e esquema de aplicação de ações horizontais do ed. Maison Versailles

Após a consideração da interação com o solo, percebeu-se uma alteração percentual significativa das reações verticais nas bases dos pilares. De modo geral, houve uma redução dessas reações, em especial com relação aos pilares mais solicitados, em ambos os casos de aplicação de forças.

Ocorreu uma importante redistribuição das reações horizontais nas bases dos pilares. Para vento atuando na direção x, observou-se que os pilares P13 e P16, os mais rígidos na direção do vento, tiveram suas reações reduzidas em -31%. Em contrapartida, outros pilares passaram a reagir de maneira mais significativa às forças horizontais. O mesmo fenômeno foi verificado quando aplicadas as forças na direção y. Dessa vez, os pilares P14 e P15 sofreram as maiores reduções nas reações, de -105%.

A maioria dos pilares que trabalham no suporte à ação do vento tiveram os momentos fletores nas bases aumentados. Entretanto, aqueles mais rígidos na direção de aplicação das forças, em ambos os casos, passaram a absorver menos momento. A flexibilidade da fundação impediu que eles absorvessem tanto momento quanto o que foi determinado na análise sem interação solo-estrutura. A Tabela 1 apresenta alguns valores para o vento na direção y. Em geral, as mudanças ocorridas foram consideráveis apenas nos pavimentos inferiores.

Interessante é a percepção da interferência da interação com o solo nos pavimentos inferiores. Verificaram-se pelos gráficos que houve uma perturbação no comportamento dos momentos fletores dos pilares nas proximidades da fundação, a qual, bastante reduzida a partir do 3o. pavimento, praticamente desaparece após o 5o. pavimento. Alguns gráficos são apresentados na Figura 3.

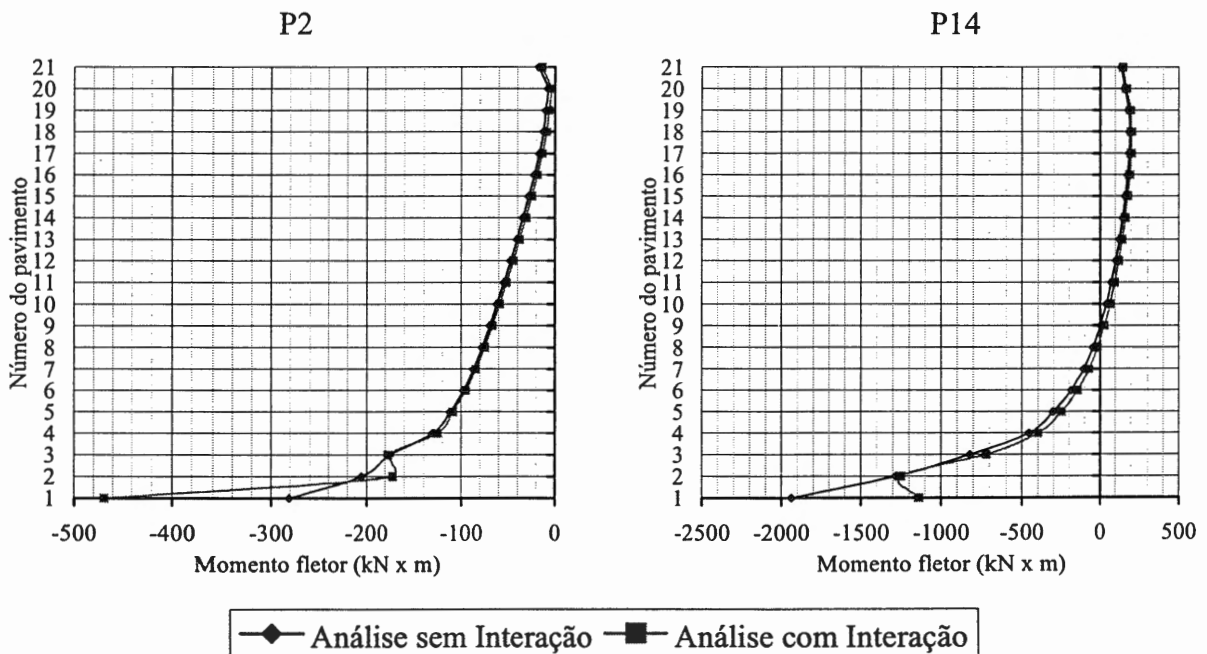


Figura 3: Momentos fletores nos pilares P2 e P14, vento na direção y.

Tabela 1: Momentos fletores nos pilares, vento na direção y.

	BASE DO EDIFÍCIO		11º PAVIMENTO		TOPO DO EDIFÍCIO	
	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)
P 2	-281,2527	-469,0161	-54,5927	-51,7576	-17,5893	-13,8125
P 3	-280,7622	-468,4275	-54,5828	-51,7183	-17,5795	-13,7831
P 5	-293,9076	-392,5962	-55,2695	-62,0090	-16,5299	-25,1136
P 7	-485,0064	-532,3887	-17,4618	-14,6561	16,8536	17,3441
P 10	-490,0095	-529,3476	-17,4422	-14,4894	16,8732	17,5207
P 12	-289,7874	-389,0646	-55,2695	-61,9992	-16,5299	-25,1038
P 14	-1938,4560	-1139,9220	74,3009	95,3434	136,8495	146,7576
P 15	-1935,5130	-1135,9980	74,3009	95,3728	136,8495	146,7576
P 17	-293,3190	-400,4442	-53,3075	-60,1942	-16,9517	-25,4668
P 22	-289,1988	-396,8145	-53,3075	-60,1844	-16,9517	-25,4570

A consideração da interação solo-estrutura na análise para ações horizontais manteve a característica dos maiores esforços nas vigas que trabalham no suporte à ação do vento desenvolverem-se a aproximadamente 1/4 da altura total do edifício. Da mesma forma que no caso dos momentos em pilares, as principais diferenças ocorreram nos pavimentos inferiores, embora não tenham sido verificadas perturbações nos gráficos.

Foram observados momentos fletores e esforços cortantes. Dentre as principais vigas que resistem aos esforços provocados pelo vento em cada caso, as diferenças percentuais entre os momentos fletores determinados a partir das análises com e sem interação variaram de -52,40% a 27,50% para vento na direção x, e de -18,29% a 14,16% para vento na outra direção. Para os esforços cortantes, os intervalos foram semelhantes, de -52,37% a 20,06% para o vento x, e de -18,31% a 15,11% para o vento y.

Alguns gráficos são apresentados na Figura 4. Todos os demais são semelhantes. Na Tabela 2 estão presentes os valores de momentos fletores enquanto que os esforços cortantes encontram-se na Tabela 3. Os resultados referem-se à análise com forças aplicadas na direção y.

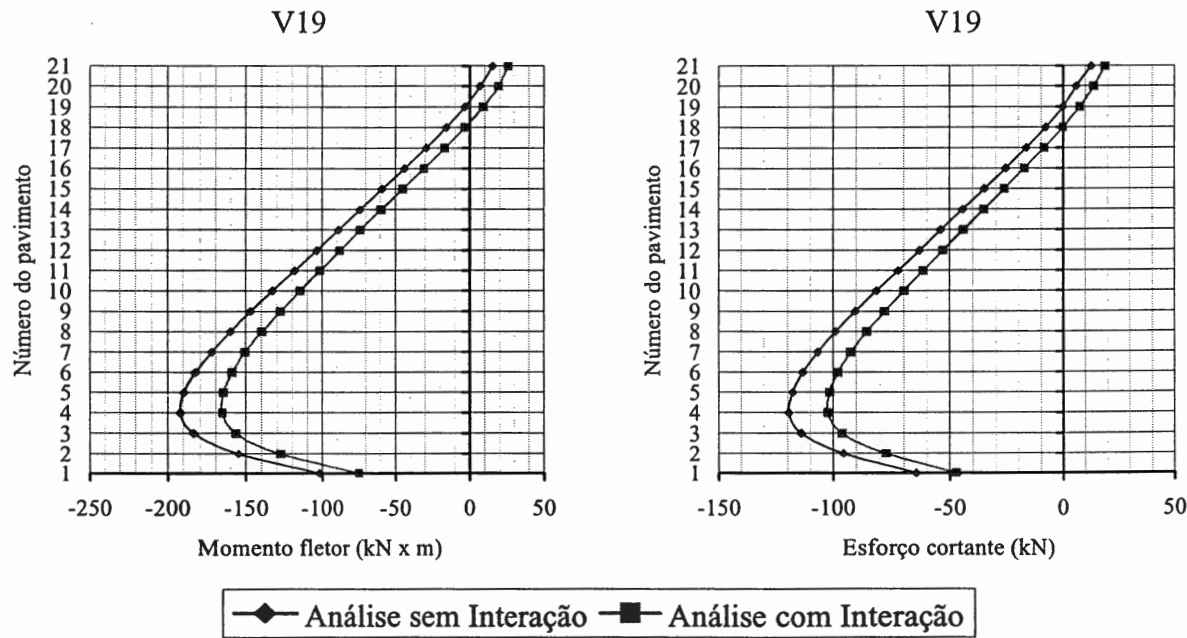


Figura 4: Momento fletor e esforço cortante na viga V19, vento na direção y.

Tabela 2: Momentos fletores nas vigas, vento na direção y.

	BASE DO EDIFÍCIO		11º PAVIMENTO		TOPO DO EDIFÍCIO	
	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)
V 15	-61,2929	-86,9657	-118,4067	-131,3559	-44,0175	-54,4946
V 16	-23,7010	-30,5483	-87,4562	-91,9393	-22,9358	-26,0652
V 18	-23,4851	-32,3828	-113,0112	-113,0112	-47,1861	-44,9200
V 19	-101,8278	-74,9386	-118,5048	-101,6316	15,1466	25,6532
V 22	-101,7297	-74,8307	-118,5048	-101,6316	15,1466	25,6630
V 23	-23,4655	-32,3338	-113,0112	-112,9131	-47,1763	-44,8906
V 25	-48,4810	-61,2536	-87,4267	-91,6450	-22,9162	-25,8494
V 26	-60,6945	-86,0729	-118,4067	-131,2578	-44,0077	-54,4651

Tabela 3: Esforços cortantes nas vigas, vento na direção y.

	BASE DO EDIFÍCIO		11º PAVIMENTO		TOPO DO EDIFÍCIO	
	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)	SEM INTERAÇÃO (kN x m)	COM INTERAÇÃO (kN x m)
V 15	-17,0988	-24,2503	-33,0303	-36,6305	-12,2821	-15,2055
V 16	-6,6051	-8,7231	-22,6415	-23,7991	-5,2866	-6,0027
V 18	-7,5007	-10,2024	-35,7967	-35,6790	-14,6561	-13,7831
V 19	-64,6871	-47,3234	-72,4763	-61,6264	12,6549	18,7862
V 22	-64,6479	-47,2450	-72,4763	-61,6166	12,6549	18,7862
V 23	-7,4929	-10,1828	-35,7967	-35,6692	-14,6561	-13,7732
V 25	-12,4391	-16,1080	-22,6317	-23,7206	-5,2817	-5,9537
V 26	-16,9321	-24,0051	-33,0205	-36,6109	-12,2821	-15,1957

Os deslocamentos verticais da fundação provocados pelas ações horizontais são muito pequenos se comparados aos devidos a ações verticais. Entretanto, é interessante verificar como eles ocorrem para compreender melhor o fenômeno interativo. As figuras 5 e 6 representam as deformadas de recalques na base do edifício. A borda preta corresponde à cota original de assentamento da fundação, sem deformação, e a região hachurada, aos deslocamentos verticais multiplicados por 200.



Figura 5: Aspecto da deformada de recalques para vento na direção x.



Figura 6: Aspecto da deformada de recalques para vento na direção y.

A consideração da flexibilidade da fundação foi responsável por um aumento percentual substancial dos deslocamentos horizontais do edifício. No caso das ações horizontais na direção x, em que os deslocamentos provocados são menores, houve um acréscimo percentual da translação em x de 34,26% no topo do edifício, cujo valor passou de 2,86 cm para 3,85 cm. Para o vento na direção y, os deslocamentos no topo passaram de 10,81 cm para 13,82 cm, correspondendo a um acréscimo percentual de 27,88%. A Figura 7 ilustra graficamente o que ocorreu.

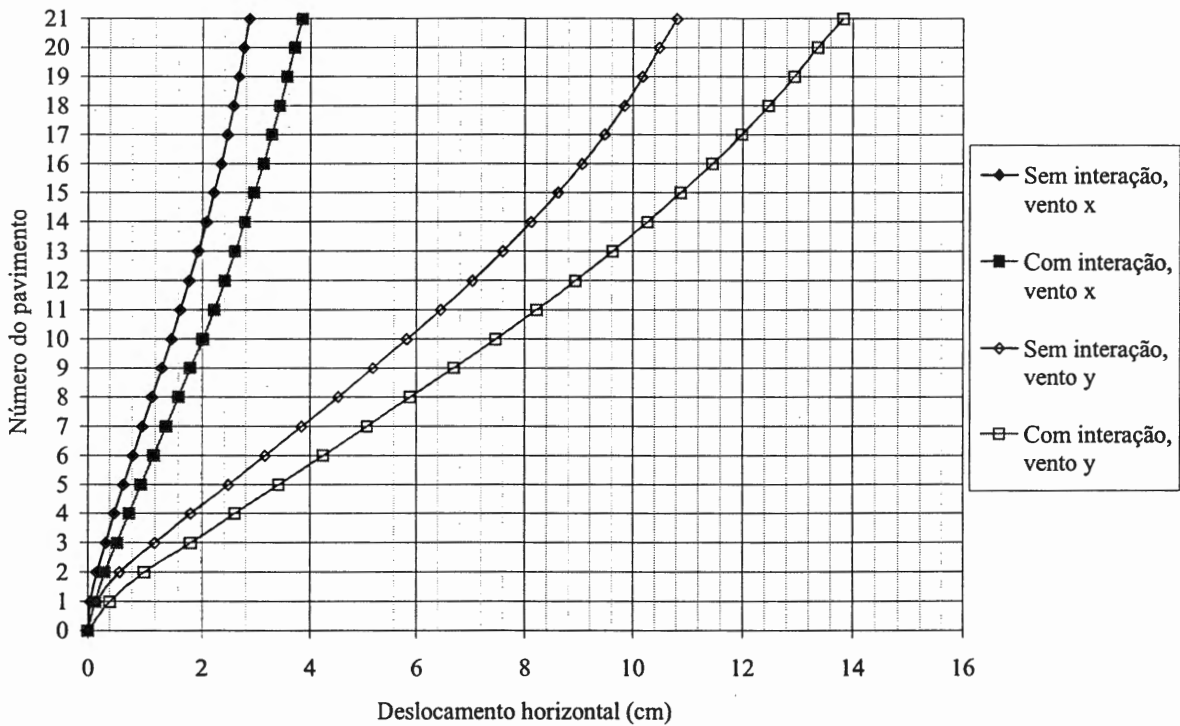


Figura 7: Translações horizontais devidas ao vento.

Edifício Manhattan

A este edifício de 13 pavimentos tipo, cuja planta baixa é apresentada na Figura 8, foram aplicadas ações correspondentes ao vento atuando também em duas direções ortogonais. Discutem-se os resultados obtidos com as análises com e sem a interação solo-estrutura logo em seguida.

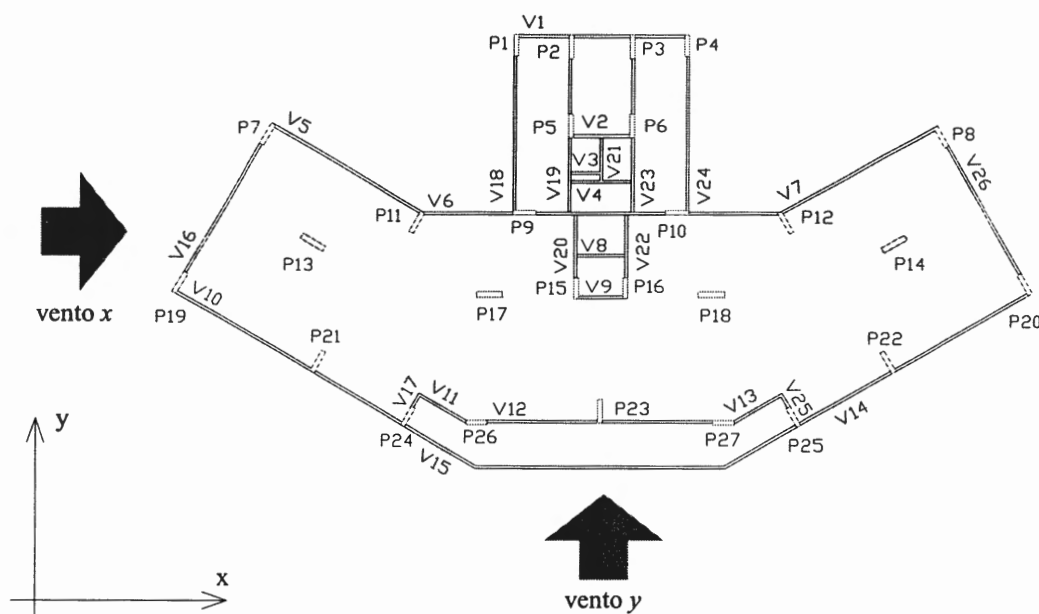


Figura 8: Planta baixa e esquema de aplicação de ações horizontais do ed. Manhattan.

Verificou-se também para este exemplo uma redução das reações verticais nas bases dos pilares mais solicitados quando considerada a interação com o solo. Esta constatação pôde ser feita para ambos os casos de aplicação das forças. Em especial para o vento na direção y, situação em que os pilares P2, P3, P5 e P6 concentravam grande parte das reações verticais, foi percebida uma melhor distribuição dessas reações na análise com interação.

Neste exemplo também pôde ser percebida uma redistribuição das reações horizontais nas bases dos pilares. Não foi tão intensa quanto a do exemplo anterior por causa da ausência de pilares notoriamente mais rígidos que os demais. Mesmo assim, verificou-se a tendência de uma menor concentração das reações horizontais.

Com relação aos momentos fletores transmitidos à fundação, torna-se necessária a distinção entre os comportamentos da edificação em cada caso de aplicação das forças. Quando o vento foi aplicado na direção x, apenas alguns pilares (P9, P13, P17, P26 e seus simétricos) destacavam-se no combate às ações. Como esperado, verificou-se que os momentos fletores nas suas bases sofreram redução ao se considerar a flexibilidade da fundação.

Entretanto, para a absorção dos esforços provocados pelo vento na direção y praticamente todos os pilares são importantes. Neste caso, observou-se um acréscimo dos momentos nas bases da maioria desses pilares.

Em ambos os casos, foi percebida novamente uma perturbação dos momentos fletores nos pavimentos inferiores e verificou-se que as mudanças foram mais significativas também nesses pavimentos.

Ao contrário do que ocorreu com os pilares, a maioria das vigas estão posicionadas de forma a suportar melhor os esforços devidos ao vento na direção x. Para esse caso, observou-se que não houve mudanças significativas nos esforços, mesmo nos pavimentos inferiores.

Combatendo a ação do vento na outra direção, havia apenas as vigas V16, V18, segundo tramo da V19 e suas simétricas. Verificou-se que, para essas vigas, as diferenças entre os esforços determinados com e sem a interação solo-estrutura foram consideráveis ao longo de toda a altura da edificação, embora tenham diminuído nos pavimentos superiores. Elas ficaram compreendidas no intervalo de -33,22% a 69,60%.

Foram muito baixos os deslocamentos verticais provocados pelo vento na fundação deste edifício, se comparados aos devidos ao carregamento vertical. Esta afirmação é válida para a atuação do vento em ambas direções.

No topo da edificação, os acréscimos percentuais do deslocamento horizontal foram significativos. Para vento na direção x, o deslocamento nessa direção aumentou 26,84%, de 1,10 cm para 1,40 cm. O deslocamento horizontal na direção y, para vento atuando nessa direção, o que configura a situação mais crítica, sofreu um acréscimo de 66,03%, passando de 4,45 cm para 7,39 cm. Os aspectos das deformadas do edifício são apresentados na Figura 9.

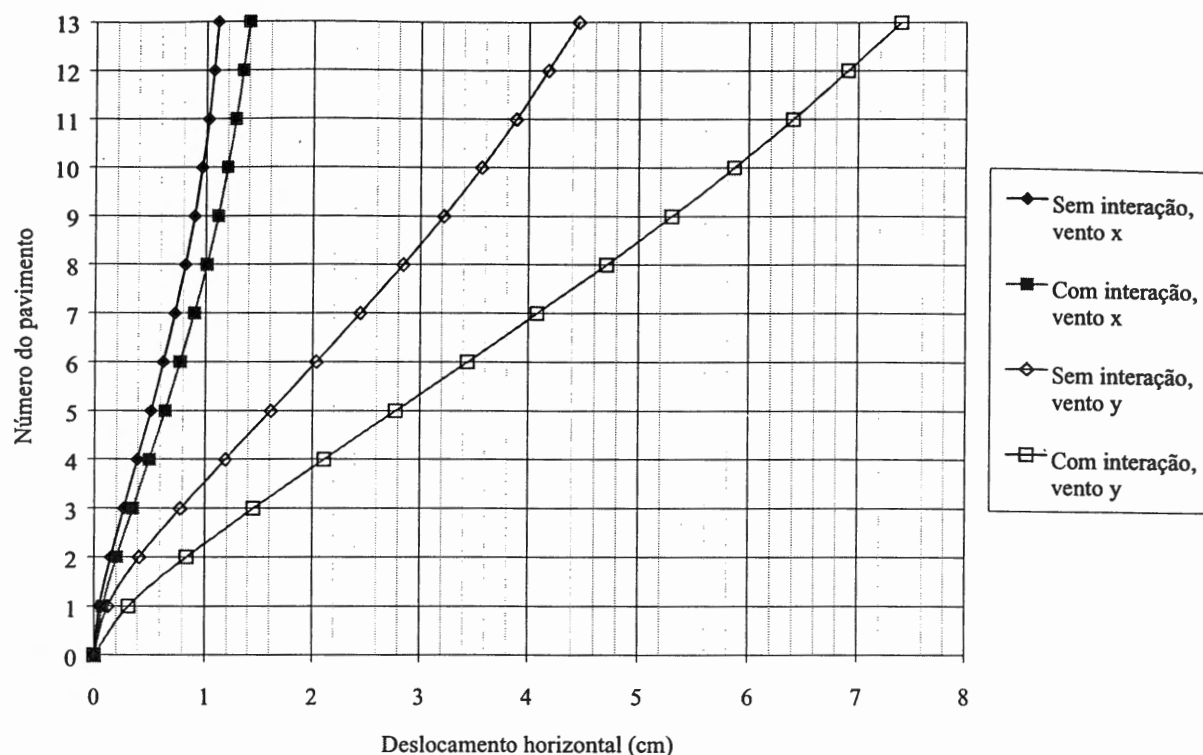


Figura 9: Translações horizontais devidas ao vento.

CONCLUSÃO

Foram comparados os resultados de análises com e sem a consideração da interação solo-estrutura ao serem aplicadas ações horizontais devidas ao vento a dois edifícios tomados como exemplo.

De modo geral, verificou-se que as reações verticais transmitidas à fundação sofreram uma redução, sobretudo nos casos dos pilares mais solicitados. Quanto às reações horizontais nas bases dos pilares, percebeu-se uma tendência à uniformização. Especialmente na presença de pilares notoriamente mais rígidos que os demais na direção de ação do vento, observou-se a importância da redistribuição das reações horizontais, ocorrendo uma menor concentração dessas reações nesses pilares.

Foi verificada uma perturbação no comportamento dos momentos fletores nos pavimentos inferiores. Além disso, mudanças significativas de valores foram encontradas somente nesses pavimentos. Existindo pilares mais rígidos na direção de aplicação das ações, foi observada uma redução de momentos nas suas bases quando considerada a flexibilidade da fundação.

Os aspectos dos gráficos de esforços em vigas em relação à altura do edifício são iguais, seja a análise com ou sem interação solo-estrutura. As principais mudanças de valores, quando acontecem, referem-se aos pavimentos inferiores.

Nas bases das edificações, os deslocamentos verticais devidos às ações horizontais são muito pequenos se comparados aos recalques das fundações provocados por ações verticais. Já os deslocamentos horizontais nos topos dos edifícios para ações do vento sofrem acréscimos percentualmente significativos ao ser considerada a interação com o solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). NBR 6123 — Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro.

BURLAND, J. B. et al. (1977). Behaviour of foundations and structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 9., Tokyo, 1977. Proceedings. Japan, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. v. 2, p. 495-546.

GUSMÃO, A. D. (1994). Aspectos relevantes da interação solo-estrutura em edificações. Solos e Rochas, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 47-55.

HOLANDA JR., O. G. (1998). Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. São Carlos. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HOLANDA JR., O. G. et al. (1999). Influência da interação solo-estrutura em edifícios de concreto armado sobre fundações diretas submetidos a ações verticais [CD-ROM]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41., Salvador, 1999. São Paulo, IBRACON. 9p.

HOLANDA JR., O. G. et al. (1999). Soil-structure interaction with the consideration of a rigid layer in the soil [CD-ROM]. In: PIMENTA, P. M. et al., eds. Computational methods in engineering'99 (Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 20., São Paulo, 1999). São Paulo, EPUSP. 10p.

INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS (1989). Soil-structure interaction: the real behaviour of structures. London.

RAMALHO, M. A. (1990). Sistema para análise de estruturas considerando interação com meio elástico. São Carlos. 389 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. (1991). Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundação direta. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25., Porto Alegre, 1991. Anais. Porto Alegre, UFRGS. v. 2, p. 433-44.