

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS



**ESTADO ATUAL DA ANÁLISE DE
ESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS
DE EDIFÍCIOS ALTOS**

M. C. STAMATO

PUBL. N.º 163
SÃO CARLOS
1972

ESTADO ATUAL DA ANÁLISE DE ESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS

DE EDIFÍCIOS ALTOS

por M.C. Stamato

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende descrever e classificar os processos numéricos existentes para a análise elástica de estruturas tridimensionais de edifícios elevados sob a ação de cargas horizontais supostas estáticas. Os critérios de classificação relacionam-se com os processos contínuos ou discretos, com as hipóteses assumidas para a rigidez das lajes e com o comportamento característico dos diferentes tipos de painéis de contraventamento. Dá-se ênfase à discussão das hipóteses a fim de delimitar o campo de aplicação dos vários processos. Sugere-se ampla relação bibliográfica ligada não só aos processos correntes da prática profissional como também às técnicas mais requintadas, objeto de pesquisas mais recentes.

Nos processos aqui descritos admite-se comportamento elástico-linear dos elementos da estrutura. O tratamento em regime elasto-plástico aumenta a complexidade do problema, mesmo em se tratando de estruturas metálicas cujo material melhor se aproxima do material elasto-plástico ideal. No caso das estruturas de concreto armado, a limitada capacidade de rotação das rótulas torna dificilmente exequível, por ora, a análise tridimensional, para os objetivos práticos do projeto.

Com algumas ampliações, principalmente nas indicações bibliográficas, este trabalho constitui a versão em português de relatório¹ submetido à "ASCE - IABSE Joint Committee on Planning and Design of Tall Buildings" à qual pertence o autor, como membro do "Technical Committee 24 - Stiffness and Crack Control".

2. CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

Os diversos processos de análise tridimensional podem ser classificados segundo dois diferentes critérios. O primeiro refere-se à consideração da rigidez (transversal e no plano) das lajes. A maioria dos processos usuais de análise tridimensional considera, como hipótese simplificadora, a rigidez das lajes como sendo nula transversalmente e infinita em seus próprios planos. Outros processos mais sofisticados consideram os valores efetivos da rigidez, fazendo uso da técnica dos elementos finitos. É claro que a escolha entre uma ou outra hipótese é mais uma questão de capacidade de computação pois a introdução da rigidez da laje aumenta consideravelmente o número de incógnitas em um problema em que ele já é elevado, mesmo com as hipóteses simplificadoras citadas.

O segundo critério de classificação diz respeito ao tratamento por processos contínuos ou discretos. Nos processos contínuos os elementos horizontais, que ligam os elementos resistentes verticais, são substituídos por um meio contínuo de rigidez equivalente, continuamente distribuída ao longo da altura do edifício. Estes processos conduzem a um sistema de poucas equações diferenciais as quais, depois de integradas, fornecem deslocamentos e esforços em toda a estrutura.

Nos processos discretos são usadas técnicas matriciais conhecidas predominando a preferência da maioria dos autores pelo método dos deslocamentos. Estes processos conduzem a um sistema de muitas equações lineares as quais, depois de resolvidas, fornecem deslocamentos e esforços em toda a estrutura.

Os processos discretos são mais gerais permitindo tratar estruturas de geometria mais variada, quer em planta, quer em elevação. Todavia, trabalham sempre com elevado número de parâmetros e variáveis dificultando a percepção do comportamento do conjunto e a maneira como a variação dos parâmetros influi nos resultados. Os processos contínuos são mais sintéticos e - admitida a regularidade da estrutura em planta e em elevação - descrevem o comportamento macroscópico da estrutura em função de um número reduzido de parâmetros elásticos e geométricos.

Convém observar que a uniformidade da estrutura ocorre com frequência em edifícios elevados. Também nota-se que os erros

encontrados nos processos contínuos se atenuam à medida que aumenta o número de andares, ao contrário dos processos discretos cujos erros de arredondamento são maiores para número muito grande de incógnitas.

3. PROCESSOS CONTÍNUOS

Para simplificar a linguagem chamar-se-á de "painel" todo elemento resistente vertical (pórtico, parede ou treliça) que receba as cargas horizontais aplicadas às lajes e as transmita à fundação. Em edifícios de planta retangular os painéis paralelos ao vento serão chamados de "painéis de alma" e os transversais ao vento "painéis de flange", por analogia com um consolo vertical que receba cargas no plano da alma (Fig. 1).

São bastante conhecidos na literatura os processos contínuos de solução de estruturas planas onde são associados pilares-paredes entre si ou com pórticos. Entre outros autores citam-se ROSENBLUETH e HOLTZ², CARDAN³, ALBIGÉS e GOULET⁴, FRANCO⁵, BECK⁶, COULL e CHOUDHURY⁷ e ROSMAN^{8,9}. A técnica de ALBIGÉS e GOULET⁴, que considera as deformações axiais dos pilares, foi estendida por FRANCO¹⁰ a fim de resolver estrutura de planta retangular, com dois eixos de simetria, formada por 3 ou 4 pórticos de alma (cada um com dois ou tres pilares ou pilares-paredes) e mais dois pórticos de flange (Fig. 1). Como ocorre nas demais aplicações do processo contínuo às estruturas tridimensionais, as lajes são rígidas em seus planos e têm rigidez transversal desprezível (parte da laje, porém, pode ser incluída nas vigas para formar seção em T). Também se admite serem constantes, ao longo da altura do edifício, as seções das paredes, pilares e vigas.

No trabalho de FRANCO¹⁰ verifica-se a influência das vigas de flange V3 (Fig. 1) que, quanto mais rígidas, tanto mais transferem forças axiais dos pilares A (painéis mais rígidos) para os pilares B (painéis menos rígidos), aproximando o comportamento da estrutura ao dos "tubos" descritos no item 4.3 deste trabalho. A solução é obtida através da equação diferencial linear de 4ª ordem, com coeficientes constantes que dependem das características elástico-geométricas de paredes, pilares e vigas.

A técnica de ROSMAN⁸ simplifica radicalmente a associação plana de um pórtico e uma parede admitindo: a) a parede só se deforma por momento fletor no painel sendo rígida às forças cortantes no painel; b) o pórtico só se deforma por força cortante no painel sendo rígido aos momentos fletores no painel (convém não confundir momento no painel com momento nas barras do painel); c) são constantes ao longo da altura as seções transversais de paredes, pilares e vigas; d) os elementos horizontais de ligação da parede com o pórtico são barras bi-articuladas que só transmitem forças horizontais e estão distribuídas continuamente ao longo da altura do edifício. Essas hipóteses podem ser estendidas às estruturas tridimensionais substituindo-se, na hipótese d), as barras bi-articuladas por diafragmas rígidos em seus planos mas sem rigidez transversal. Essa extensão é feita por STAMATO¹¹ que toma como incógnitas as duas translações u , v e a rotação w de cada diafragma. A solução é obtida por um sistema de três equações diferenciais lineares de 4.^a ordem em u , v , w , de coeficientes constantes.

No processo de STAMATO¹¹ demonstra-se que um conjunto de mais de três paredes pode ser substituído por três paredes elasticamente equivalentes o mesmo ocorrendo com um conjunto de mais de três pórticos, elasticamente equivalente a três pórticos convenientemente dispostos. A Fig. 2 representa um modelo de estrutura ensaiada por STAMATO no qual se obteve boa concordância entre os valores experimentais⁴⁷ com os resultados teóricos obtidos por processo contínuo¹¹ e discreto⁴⁷.

É interessante observar que nessa estrutura (Fig. 2) ocorre inversão no sentido da torção do edifício em vista dos comportamentos elásticos diferentes que caracterizam parede e pórtico. A Fig. 3 torna evidente tal inversão em um exemplo bem simples, ao associar em paralelo apenas um pórtico e uma parede¹², com carga uniformemente distribuída $2p$, aplicada no plano mediano dos dois painéis. A estrutura é estaticamente determinada, cada painel recebe a carga p e deforma-se segundo as linhas elásticas u_f e u_w mostradas na Fig. 3b. A diferença entre estas elásticas, indicada em sombreado, é proporcional à rotação w do diafragma genérico.

Quando paredes e pórticos são associados em série (ou o que dá no mesmo, são todos paralelos e estão dispostos de modo simétrico, Fig. 4) a estrutura resultante apresenta alguns aspectos vantajosos quando não existe predominância da rigidez do conjunto de pórticos sobre a rigidez do conjunto de paredes e vice-versa. Quando

predomina a rigidez do conjunto de pórticos a forma da linha elástica aproxima-se da curva u_f da Fig. 3b, com fortes distorções na base que podem causar trincas nas divisões. Quando predomina a rigidez do conjunto de paredes a forma da linha elástica aproxima-se da curva u_w da Fig. 3b com grandes inclinações e grandes amplitudes no topo. Não existindo predominância de um tipo sobre o outro eles se complementam, pois na região (base ou topo) onde um deles é mais deformável conta-se com a maior participação do outro que aí é relativamente mais rígido.

Para uma carga distribuída p , no plano de simetria da Fig. 4, a Fig. 5 mostra como varia, ao longo da altura z , a força cortante Q_f absorvida no conjunto de pórticos, para vários valores da rigidez relativa K do conjunto de pórticos em relação ao conjunto de paredes.^{12,13} Pela Fig. 5 observa-se que, para valores médios de K (de 1 a 4 aproximadamente), a variação de Q_f é pequena ao longo da altura z . Como Q_f governa o dimensionamento das vigas dos pórticos às cargas horizontais verifica-se a possibilidade de serem as vigas moduladas, por estarem quase igualmente solicitadas tanto às cargas horizontais (Fig. 5) como às verticais. Em tais casos ($K = 1$ a 4) parece ser conveniente a associação de paredes e pórticos que constituem, como já se comentou, estruturas complementares.

O processo de STAMATO¹¹ pode ser estendido¹³, com pequeno trabalho adicional, de modo a considerar a rigidez à torção de painéis de seção composta (em L, U ou caixão, por exemplo) suposta aplicável a teoria de SAINT-VENANT, da torção uniforme.

Caso particular em que só existem paredes com eixos principais paralelos e trabalhando à torção segundo SAINT-VENANT é apresentado por COURBON¹⁴. Ainda quando só existem paredes STILLER¹⁵ obtém resultados mais gerais que COURBON¹⁴, considerando paredes de eixos principais não paralelos e comportamento à flexo-torção. Mais tarde STILLER¹⁶ inclui paredes com aberturas cuja solução deve ser complementada com resultados obtidos em ensaios fotoelásticos. A torção de duas paredes iguais de seção em U cujas flanges são ligadas com lintéis, de modo a formar uma caixa retangular com aberturas simétricas em duas faces paralelas é estudada por MICHAEL¹⁷ que compara seus resultados teóricos com valores experimentais obtidos por outros autores⁷⁰.

ROSMAN¹⁸ trata de estruturas assimétricas formadas por paredes isoladas ou ligadas por lintéis, tomando como funções-incôgnitas as forças cortantes nos lintéis e as forças verticais nas junções dos trechos planos das paredes de seção composta (L ou U, por exemplo), estendendo seu trabalho anterior onde eram tratados casos simétricos mais simples¹⁹. BOUDAKIAN²⁰ estuda a associação tridimensional de pórticos e paredes ligadas com lintéis, admitindo as hipóteses de SAINT-VENANT na torção das paredes. Generalização ainda maior conseguem LAREDO^{21,22} e GLUCK²³ que consideram estruturas assimétricas formadas por pórticos e paredes simples ou ligadas com lintéis, levando em conta o empenamento na torção.

Se a rigidez à torção de cada painel é pequena, quando comparada com a rigidez à torção de todo o edifício, parece desnecessário requintar a solução, pela consideração da flexo-torção nas paredes de seção aberta. Também vale lembrar que os processos muito gerais (incluindo o efeito da flexo-torção e a associação dos painéis com lintéis) começam a perder o carácter de síntese mencionado no ítem 2 como vantagem dos processos contínuos sobre os discretos.

4. PROCESSOS DISCRETOS SIMPLIFICADOS

Para simplificar a linguagem e obedecer tanto quanto possível o "Vocabulário de Teoria das Estruturas", proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland²⁴, serão definidos os seguintes termos, em correspondência com as diversas hipóteses que podem ser feitas sobre a rigidez das lajes do edifício:

Tipo de lâmina-plana	Rigidez transversal	Rigidez no plano da lâmina
Diafragma	nula	infinita
Chapa	nula	finita
Placa	finita	infinita
Laje	finita	finita

Existe um número elevado de trabalhos que propõem processos discretos simplificados e que assimilam as lajes a diafrag-

mas. Tais processos podem ser assim classificados:

4.1 - Processos estimativos

Admitindo só existir uma única laje é possível definir por um único escalar a rigidez do painel como sendo a força horizontal capaz de provocar deslocamento horizontal unitário ao nível da laje considerada. Com a hipótese da laje comportar-se como diafragma existem apenas tres deslocamentos incógnitos isto é, duas translações horizontais e uma rotação em torno de um eixo vertical. Os quinhões de carga recebidos em cada painel serão, portanto, proporcionais à sua rigidez e ao seu deslocamento (que por sua vez é função linear dos tres deslocamentos do diafragma).

Na realidade existem n lajes e a rigidez de cada painel aos deslocamentos horizontais aos níveis das lajes é u'a matriz quadrada de ordem $n \times n$, em forma de faixa (ou banda) diagonal, mais ou menos estreita.

Um primeiro grupo de processos estimativos supõe os andares carregados com cargas proporcionais e admite ser suficiente um único escalar para exprimir a rigidez de cada painel. Desse modo a carga é dividida proporcionalmente à rigidez de cada painel, como se existisse uma única laje e um único andar carregado. Se os painéis são proporcionais, isto é, se os elementos correspondentes de suas matrizes de rigidez mantêm entre si a mesma proporção, este primeiro grupo de processos estimativos conduz a resultados exatos pois as linhas elásticas dos painéis (carregados com quinhões de cargas proporcionais à rigidez de cada um) satisfarão as condições de compatibilidade de deslocamentos em todos os andares. A rigidez de cada painel pode ser estimada, por exemplo, pela força horizontal que aplicada no topo do painel aí provoca deslocamento horizontal unitário.

Se os painéis são do mesmo tipo e ^{aproximadamente} proporcionais, isto é se suas elásticas são semelhantes para cargas semelhantes (ou ainda, se suas matrizes de rigidez forem aproximadamente proporcionais) estes processos estimativos podem fornecer resultados razoáveis, pelo menos para anteprojetos. Um primeiro tipo básico, que se poderia chamar "tipo-flexão", é formado por parede isolada que se deforma predominantemente por flexão no painel e que, para as cargas usuais

do vento, tem concavidade voltada para sotavento (Fig. 3b, curva u_w). Um segundo tipo básico, que se poderia chamar "tipo-cortante", é formado por pórtico isolado que se deforma predominantemente por força cortante no painel e que, para as cargas usuais do vento, tem concavidade voltada para barlavento (Fig. 3b, curva u_f). Os painéis "tipo-flexão" apresentam, em geral, matriz de rigidez de faixa mais larga e com menor predominância da diagonal principal quando comparados com os painéis do "tipo-cortante". Evidentemente os erros serão grosseiros se o processo estimativo for aplicado a estruturas que possuam painéis de tipos diferentes.

Paredes contraventadas com lintéis poderiam ser chamadas de "tipo-misto" e se aproximam do "tipo-flexão" quando os lintéis são ou extremamente rígidos ou extremamente flexíveis. Parede e pórtico associados em série também têm comportamento misto, a menos que predomine acentuadamente a rigidez de um deles sobre o outro.

Um segundo grupo de processos estimativos refere-se às estruturas que só contêm painéis do "tipo-cortante" carregadas com qualquer carga horizontal. É possível demonstrar que, neste caso, a matriz de rigidez (referida às forças cortantes nos painéis) se diagonaliza, isto é, é possível exprimir por um único escalar a rigidez de cada painel em cada andar; ou ainda, as distorções de um andar só dependem da força cortante nesse andar sendo independentes das distorções nos demais andares. Nestes casos o problema geral, com um sistema $3n$ equações lineares a $3n$ incógnitas, reduz-se a n sistemas de 3 equações a 3 incógnitas. A distribuição da força cortante global é feita separadamente em cada andar, proporcionalmente à rigidez dos painéis no andar considerado. Os processos deste segundo grupo conduzem a resultados aceitáveis, pelo menos em anteprojetos, em estruturas que só possuam painéis do "tipo-cortante", mesmo quando os painéis apresentem variações não proporcionais de rigidez ao longo da altura. Se a estrutura só contêm painéis do "tipo-flexão" aproximadamente proporcionais, os processos deste segundo grupo também são razoáveis podendo ser aplicados para qualquer carregamento horizontal. Observe-se que tal situação é um pouco mais geral do que no primeiro grupo onde se supunha cargas externas proporcionais entre si, nos diversos andares.

Se no mesmo edifício estiverem previstos painéis de tipos diferentes (ou mesmo se só existirem painéis do "tipo-flexão"

mas com variações de seção não-simultâneas ou não-proporcionais) os processos estimativos cometem erros grosseiros pois o problema real apresenta fortes perturbações, quase sempre no topo e na base do edifício.

SPURR²⁵, GRINTER²⁶, RICALDONI²⁷ e CESTELLI GUIDI e GIUFFRÉ²⁸ fornecem estimativas da rigidez do andar para diversos painéis do "tipo-cortante" (pórticos, treliças, e pórticos com mãos francesas). A Portland Cement Association²⁹ também propõe fórmulas para estimar a rigidez do andar de pórticos de vários pilares. Estes trabalhos^{26,27,28,29} e também ALBIGÈS e GOULET⁴, CHA PUIS e LATIL³⁰ e LEWICKI³¹ só consideram painéis ortogonais sem rigidez à torção e utilizam o método dos deslocamentos, quase sempre determinando previamente o centro de torção a fim de calcular os três deslocamentos de cada andar. LIN³², STAMATO³³ e GOMES DOS SANTOS³⁴ estendem o processo para painéis resistentes à torção (segundo SAINT-VENANT) e LIN³², VICKERS³⁵, STAMATO^{33,36} e MEDWADOWSKI³⁷ aplicam-no a painéis dispostos em direções oblíquas.

Convém mencionar também o processo aproximado de GREEN³⁸ válido para estrutura e carga simétricas e desenvolvido para conseguir compatibilidade de deslocamento no andar carregado e em mais um andar situado abaixo dele (a 1/6 da altura do andar carregado).

4.2 - Processos que desprezam as interações verticais dos painéis

Estes processos consideram as mesmas três incógnitas por andar (3 deslocamentos horizontais dos diafragmas) mencionadas no item 4.1. Todavia, a melhoria introduzida é que são levadas em conta as interações de cada andar com os demais, ao contrário das hipóteses do item 4.1 que supunham comportamento independente de cada andar. Obtém-se agora, um sistema de $3n$ equações lineares ($n = n^o$ de andares), em geral com matriz de rigidez em faixa diagonal pois cada andar só interfere com alguns outros, acima e abaixo dele.

Estes processos permitem, portanto, resolver estruturas com painéis de tipos bem diferentes. Em quase todos despreza-se a rigidez à torção das barras dos painéis. Eles conduzem a resultados razoáveis quando existem pilares nas interseções dos painéis e quando a altura do edifício é moderada. Se o edifício é muito alto as

deformações axiais dos pilares são importantes. Quando as interseções dos painéis ocorrem nas extremidades de vigas podem ser transmitidas forças verticais significativas de um painel para o outro. Nestes dois últimos casos os processos deste parágrafo apresentam erros maiores. Evidentemente, a aproximação é bastante boa quando os painéis não se interceptam.

RICALDONI³⁹ esquematiza a solução do problema para estrutura assimétrica com painéis ortogonais planos. CLOUGH, KING e WILSON⁴⁰ apresentam processo eficiente que conduz a matriz de rigidez tri-diagonal e que considera pórticos e paredes dispostos ortogonalmente, podendo incluir deformações axiais e por força cortante. Esse trabalho, todavia, supõe situações simétricas sem rotação das lajes. CLOUGH e KING⁴¹ estendem-no posteriormente, de modo a incluir a torção de estruturas assimétricas contendo pórticos situados em planos ortogonais que se interceptam em pilares rígidos às forças axiais.

STAMATO³⁶ e TRIGO⁴² consideram painéis planos gerais (que incluem pórticos, paredes e treliças e que podem estar dispostos em planos oblíquos) supondo determinada previamente a matriz de rigidez de cada painel. Nas suas interseções os painéis têm deslocamentos verticais independentes e não interagem mutuamente.

WEBSTER⁴³ estuda estrutura com painéis planos paralelos dispostos assimetricamente; as paredes são tratadas como elementos lineares atribuindo-se às vigas que nelas concorrem m^ísulas de rigidez infinita. FERRY BORGES e RAVARA⁴⁴ resolvem estrutura assimétrica com painéis planos em direções ortogonais e tratam os nós de vigas e paredes pelo mesmo artifício de vigas com m^ísulas de rigidez infinita. WINOKUR e GLUCK^{45,46} tratam de casos semelhantes aos anteriores^{36,44}, levam em conta a deformação do solo⁴⁵, traçam linhas de influência⁴⁵ e mostram a inversão do sentido da torção ao longo da altura⁴⁶, em estrutura assimétrica contendo paredes e pórticos. STAMATO⁴⁷ também traça linhas de influência e constata, teórica e experimentalmente, essa mesma inversão, já mencionada no ítem 3. Em estruturas assimétricas com painéis de tipos diferentes (Figs. 2 e 3) STAMATO⁴⁷ ainda observa que a posição do centro de rotação de determinado andar depende da altura em que se aplica um momento de torção no edifício. GLUCK^{48,49} propõe método aproximado iterativo para uma estrutura composta de paredes isoladas que sofram,

simultaneamente, bruscas variações de rigidez em determinados andares.

COULL e IRWIN^{50,51} estudam um conjunto de painéis para telos contendo paredes isoladas ou associadas em série por meio de lintéis e desprezando⁵⁰ ou considerando⁵¹ a rigidez à torção dos painéis (segundo SAINT-VENANT). O processo é misto pois a matriz de rigidez de cada painel é obtida por inversão da matriz de flexibilidade a qual, por sua vez, é determinada por processo contínuo. Acha das as matrizes de rigidez dos painéis, a solução é conseguida por via discreta, pelo método dos deslocamentos.

LAREDO^{21,22} resolve, também por processo discreto, estruturas formadas por painéis que não se interceptam, planos ou não, supondo conhecida a matriz de rigidez de cada painel e incluindo os termos correspondentes à torção e ao bi-momento²². Admite, todavia, serem fixas, em cada painel, as projeções horizontais dos centros de torção e dos eixos principais de todas as seções transversais do painel.

4.3 - Processos que consideram as interações verticais dos painéis

Para uma estrutura cujo andar-tipo é formado por uma malha retangular de vigas que se interceptam nos eixos verticais dos pilares WEAVER e NELSON⁵² desenvolvem uma solução bastante geral incluindo os efeitos de todos os deslocamentos dos nós e de todas as componentes de rigidez das barras (momento fletor, força axial, torção e força cortante). Se p é o número de pilares, existem p nós em cada andar e, em face da rigidez de diafragma, cada nó tem três graus de liberdade independentes (um deslocamento vertical e duas rotações em torno de eixos horizontais) aos quais se somam os três deslocamentos horizontais do diafragma, comuns a todos os nós do mesmo andar. O número total de incógnitas por andar é, portanto, $3p + 3$ bem maior que as três incógnitas consideradas nos processos do item 4.2. O processo de WEAVER e NELSON⁵² supõe a inexistência de pilares-paredes, circunstância que poderia ser contornada, em alguns casos, pela técnica de atribuir mólulas de rigidez infinita às vigas, na parte em que suas extremidades são comuns às paredes.

Tendo em vista que a rigidez transversal das lajes é quase sempre mais importante que a rigidez à torção das vigas STAMATO e STAFFORD-SMITH⁵³ só consideram em cada andar - além dos três desloca

mentos horizontais do diafragma - os deslocamentos verticais das interseções dos painéis, supostos planos mas podendo incluir pörticos, paredes e treliças. Esse processo supõe i interseções entre painéis e o número de incógnitas por andar é reduzido para $i + 3$. Os painéis não são necessariamente ortogonais e o trabalho⁵ mostra algumas técnicas que produzem matriz de rigidez em faixa diagonal estreita, de modo a permitir o uso de computadores menores. As paredes de seção composta (em L, U, ou caixão) podem ser consideradas tratando-as como formadas de vários trechos planos e incluindo como incógnitas os deslocamentos verticais das interseções desses planos, em cada andar. Tal recurso é desenvolvido por YAGUI⁵⁴ que obtém, em paredes de seção composta, resultados bastante coincidentes com a teoria de VLASOV. As hipóteses de STAMATO e STAFFORD-SMITH⁵³ foram aplicadas por SORIANO⁵⁵ ao tipo de estrutura analisado por WEAVER e NELSON⁵² de modo a baixar o número de incógnitas por andar de $3p + 3$ para $p + 3$ (onde $p = n^o$ de pilares).

O caso em que só existem paredes de seção composta ligadas entre si por meio de lintéis é tratado pelo método dos deslocamentos por HEIDEBRECHT e SWIFT⁵⁶, que incluem o efeito do empenamento e a correspondente coordenada-força, o bimomento. As lajes são assimiladas a diafragmas, se bem que os autores sugeriram a possibilidade de considerar a rigidez da laje por meio de elementos finitos.

As estruturas de edifícios usualmente chamadas de "tubos" são formadas por um conjunto periférico de pilares muito próximos ligados por vigas algo rígidas (Fig. 6a). Os edifícios "tubulares" têm, quase sempre, planta retangular com dois planos verticais de simetria. Além dos painéis de alma (que se comportam como pörticos planos) também contribuem na resistência às cargas horizontais os painéis de flange. Os pilares das flanges de barlavento e de sotavento são respectivamente tracionados e comprimidos, de modo decrescente, dos cantos para o centro das flanges. Um processo aproximado para o anteprojeto dos tubos é sugerido pela "A.C.I. Committee 442"⁵⁷ que assimila o conjunto a um consolo vertical de seção discreta na qual se toma uma "largura equivalente" de flange (inferior à largura real devido à menor participação dos pilares próximos ao centro da flange) em função das três dimensões externas do tubo.

Uma análise bem mais cuidadosa pode ser obtida com os processos já descritos^{53,55} que se simplificam bastante quando se

considera a uniformidade das barras e a simetria da estrutura e do carregamento. NAKA, KATO e NAKAO⁵⁸ consideram a influência de vários parâmetros no comportamento de estruturas tubulares. COULL e SUBEDI⁵⁹, assim como MAZZEO e FRIES⁶⁰, em vista da simetria mencionada, substituem a estrutura tridimensional por apenas uma quarta parte dela, tornada plana (Fig. 6b) mediante a escolha adequada dos seguintes vínculos: a) dispostos no eixo médio do painel de alma de modo a reproduzir a antimetria da carga em relação a esse eixo; b) dispostos no eixo médio do painel de flange de modo a reproduzir a simetria da carga em relação a esse eixo; c) dispostos na interseção da alma com a flange de modo a só transmitir forças verticais da alma para a flange mas permitindo o deslocamento horizontal só da alma, carregada com um quarto das forças horizontais. COULL e SUBEDI⁵⁹ substituem os vínculos c) por barras fictícias que possuem matriz de rigidez com características especiais.

5. PROCESSOS DISCRETOS REFINADOS

Inicialmente convém mencionar que a rigidez transversal da laje pode ser levada em conta em alguns casos, por uma "faixa de largura efetiva" que possua rigidez equivalente. Tais casos ocorrem quando os painéis estão dispostos com certa regularidade. Substituindo a laje por uma grelha de vigas ortogonais KHAN e SBAROUNIS⁶¹ calculam a "largura efetiva" de uma laje-cogumelo comparando os resultados teóricos com os obtidos em ensaio de modelo que simula a situação da laje junto aos pilares interiores. BARNARD e SCHWAIGHOFER⁶², a partir de experiências com modelo de uma estrutura de lajes e paredes (sem vigas), concluem que a largura efetiva coincide com a largura total, nos casos particulares estudados. QADEER⁶³ usa diferenças finitas para resolver a equação biharmonica da placa e apresenta, juntamente com STAFFORD-SMITH⁶⁴, uma série de curvas que dão a "largura efetiva" para diferentes espaçamentos de paredes e diversas relações entre parâmetros geométricos.

Esta estimativa da "largura efetiva" pode ser utilizada ao se aplicar os métodos descritos em 4.2 e 4.3.

Fora desses casos simplificados cresce bastante o número de incógnitas quando se considera as deformações da laje como chapa. O acréscimo é ainda consideravelmente maior quando se leva em conta também as deformações de placa, pela técnica dos elementos fi

nitos. Em vista disso os processos a seguir descritos têm sido aplicados ou em casos de geometria simplificada ou em estruturas com menor número de andares e quase sempre exigindo o emprego de computadores de maior capacidade.

5.1 - Processos que assimilam as lajes a chapas

A hipótese das lajes serem rígidas em seus próprios planos em geral não introduz erros muito sérios, principalmente quando o comprimento e a largura, em planta, são da mesma ~~da mesma~~ ordem de grandeza e ambas pequenas em relação à altura do edifício. A aproximação também é boa, mesmo em edifício de flange bastante a alongada, se a carga horizontal é uniforme e os painéis de alma são do mesmo tipo e têm rigidez da mesma ordem de grandeza, de modo a resultarem pequenas deformações nos planos das lajes. Quase todos os processos aqui descritos só consideram as deformações das lajes e paredes em seus planos e desprezam a rigidez transversal desses elementos bidimensionais (deformações de chapas).

GOLDBERG⁶⁵ analisa edifício de flange alongada, formada pela associação em paralelo de vários pórticos internos com duas paredes externas (Fig. 4) e calcula as deformações de chapa das lajes e paredes considerando os efeitos de momentos fletores e forças cortantes pela teoria elementar das vigas de grande altura. Em vista do carácter alongado dos exemplos analisados encontram-se sensíveis diferenças entre considerar ou não a deformabilidade das lajes em seus planos, conforme se constata na comparação dos resultados de GOLDBERG⁶⁵ e de WEBSTER⁶⁶ para um mesmo edifício de 10 andares.

MAJID e CROXTON⁶⁷ estudam o mesmo tipo de estrutura analisado por GOLDBERG⁶⁵ optando porém pelo método dos esforços. As lajes e paredes formam uma grelha vertical cujas barras têm coeficientes de rigidez calculados pela teoria elementar das vigas de grande altura levando em conta as deformações de flexão e de cisalhamento. Os esforços incógnitos são as forças horizontais de interação entre essa grelha e os pórticos de alma. São comparados os resultados obtidos considerando as lajes como diafragmas ou chapas assim como a influência das deformações causadas pelas cargas verticais excêntricas na distribuição das forças horizontais entre os diversos painéis.

DICKSON e NILSON⁶⁸ examinam edifícios celulares abertos a sotavento e a barlavento, formados por uma grelha retangular verti-

cal de paredes e lajes que são tratadas como subestruturas de elementos finitos bidimensionais ligados entre si em pontos discretos, ao longo de suas interseções. Só se consideram as deformações de chapa e são levadas em conta cargas assimétricas e as eventuais variações de espessuras ou aberturas existentes em paredes e lajes.

ZIENKIEWICZ, PAREKH e TEPLY⁶⁹ tratam estruturas formadas por paredes dispostas em diversos planos verticais (paralelos ou não) e ligadas por lajes horizontais. São usados elementos finitos que consideram tanto as deformações do plano como as deformações transversais de lajes e paredes. Os resultados assim obtidos são comparados com aqueles que advêm apenas da consideração do efeito de chapa para os quais se consegue grande redução no volume de trabalho computacional. Pelos exemplos examinados, nos quais não existem paredes associadas com lintéis, verifica-se que o efeito de chapa predomina acentuadamente, pouco se ganhando em precisão pela consideração da flexão transversal. Além disso, para os exemplos de edifícios não-alongados, os resultados obtidos com a hipótese de lajes serem diafragmas são perfeitamente aceitáveis para os fins da prática.

5.2 - Processos que assimilam as lajes a placas

Evidentemente, o processo de ZIENKIEWICZ, PAREKH e TEPLY⁶⁹ considera os efeitos de chapa e de placa e cabe simultaneamente em ambos os itens 5.1 e 5.2. Para edifícios com dimensões horizontais da mesma ordem de grandeza, a hipótese das lajes serem rígidas em seus planos é muito útil. Se além disso as lajes do edifício não têm vigas (isto é, o edifício só possui pilares, paredes e lajes) e principalmente quando as lajes atuam como lintéis associando paredes, é mais importante considerar as deformações de placa do que as de chapa. Convém notar que esta situação, em que as lajes fazem as vezes de lintéis, não ocorre nos exemplos analisados por ZIENKIEWICZ, PAREKH e TEPLY⁶⁹ para os quais predomina o efeito de chapa.

O tratamento das lajes como placas é sempre feito por meio de elementos finitos. JENKINS e HARRISON⁷⁰ estudam teórica e experimentalmente o comportamento de duas paredes iguais, de seção em U, ligadas entre si com lajes retangulares cujos quatro vértices coincidem com as extremidades dos U mas que não avançam no interior deles, de modo a simularem os patamares de espera de dois poços de elevador-

res que se defrontam. HARRISON⁷¹ apresenta interessantes resultados experimentais que evidenciam o sensível aumento da rigidez à torção de um perfil U de "perspex", em função do número crescente de placas transversais que lhe são gradativamente incorporadas.

CHOU DHURY⁷² analisa estruturas que consistem de paredes e pórticos dispostos, em planta, segundo u'a malha retangular e interligados com vigas e lajes. Suas principais hipóteses são: as lajes assimilam-se a placas; as seções planas das paredes permanecem planas; a torção não uniforme das paredes é desprezada. A rigidez transversal da laje é calculada com elementos finitos retangulares e a sua matriz de rigidez é convenientemente condensada nos pontos nodais de coincidência com os elementos verticais. Os resultados teóricos apresentam boa concordância com valores experimentais obtidos por outros autores^{47,70}.

TARANATH⁷³ admite quase as mesmas hipóteses de CHOU DHURY mas leva em conta o empenamento das paredes em seção aberta de modo a poder analisar sistemas com núcleos gêmeos abertos; núcleos associados a colunas perimetrais e sistemas com paredes planas e de seção aberta.

6. CONCEPÇÃO E PROJETO DA ESTRUTURA

A concepção e o projeto de uma estrutura tridimensional de edifício elevado constitui tarefa que exige experiência profissional bem maior do que a simples análise numérica dos esforços e deslocamentos que ocorrem em uma estrutura dada.

A fim de fornecer idéias gerais ligadas à boa concepção da estrutura são sugeridos, entre outros, os trabalhos de ARUP⁷⁴, TURNER⁷⁵, HERBERG⁷⁶, FRISCHMANN e PRABHU⁷⁷, BECKMANN e DUNICAN⁷⁸, KHAN⁷⁹, ROBERTSON⁸⁰, SCHMIDT⁸¹ e outros⁵⁷.

As numerosas descrições de estruturas de edifícios elevados, profusamente ilustradas em revistas de Engenharia e de Arquitetura, também são muito úteis como observação da experiência alheia.

Apenas como exemplos citam-se os trabalhos de DIAMANT⁸², NERVI⁸³, ROY⁸⁴, PICARDI⁸⁵, FRISCHMANN, BROWN e PRABHU⁸⁶ e ou-

tros^{87,88,89,90,91,92}. Alguns destes trabalhos^{77,79} são bastante interessantes como concepção de edifícios arrojados e antevisão de edifícios do futuro.

7. BIBLIOGRAFIA

1. STAMATO, M.C. - Three-Dimensional Analysis of Tall Buildings, "ASCE-IABSE Joint Committee on Planning and Design of Tall Buildings", Fritz Engng Lab., Lehigh Univ., Bethlehem, Pa, Jan., 1971, pp 1-18
2. ROSENBLUETH, E. e HOLTZ, I. - Elastic Analysis of Shear Walls in Tall Buildings, Jnl.A.C.I., vol.56, Jun., 1960, pp 1209-1222
3. CARDAN, B. - Concrete Shear Walls Combined with Rigid Frames in Multi-Storey Buildings Subjected to Lateral Loads, Jnl.A.C.I., vol.58, nº3, Set., 1961, pp 299-315
4. ALBIGÉS, M. e GOULET, J. - Contreventement des Bâtiments, Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., nº149, Mai., 1960, pp 473-500
5. FRANCO, M. - Comportamento Elástico de Estruturas Formadas por Pilares-Paredes Contraventados entre si, Estrutura, nº45, Rio de Janeiro, Jun., 1960, pp 373-389
6. BECK, H. - Contribution to the Analysis of Coupled Shear Walls, Jnl.A.C.I., vol.59, Ago., 1962, pp 1055-1069
7. COULL, A. e CHOUDHURY, J.R. - Analysis of Coupled Shear Walls, Jnl.A.C.I., vol.64, nº9, 1967, pp 587-593
8. ROSMAN, R. - Beitrag zur Untersuchung des Zusammenwirkens von Waagerecht Belasteten Wänden und Stockwerkrahmen bei Hochbauten, Beton-und Stahlbetonbau, Fev., 1963, pp 36-40
9. ROSMAN, R. - Laterally Loaded Systems Consisting of Walls and Frames, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 273-289
10. FRANCO, M. - Alguns Problemas Relativos à Ação do Vento em Edifícios de Grande Altura, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Univ.de São Paulo, 1966, pp 1-55
11. STAMATO, M.C. - Associação Contínua de Paredes e Pórticos Planos XV^{as}. Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol.1, Dez., 1971, pp 139-158

12. STAMATO, M.C. - Casos Simples de Interação de Paredes e Pórticos, XV^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol.I, Dez., 1971, pp 97-113
13. STAMATO, M.C. - Associação Contínua de Painéis de Contraventamento, Publ.nº157, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, S.P., 1971, 72 pp
14. COURBON, J. - Calcul de l'Effet du Vent sur un Bâtiment Mixte, Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., nº226, Out., 1966, pp 1185-1197
15. STILLER, M. - Verteilung der Horizontalkrafte auf die Aussteifenden Scheiben Systeme von Hochhäusern, Beton-und Stahlbetonbau, vol.60, Fev., 1965, pp 42-45
16. STILLER, M. - The Effect of Wall Openings on the Stresses and Edge Shear Forces in Diaphragm Systems, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 497-512
17. MICHAEL, D. - Torsional Coupling of Core Walls in Tall Buildings, Structural Engineer, nº2, vol.47, Fev., 1969, pp 67-71
18. ROSMAN, R. - Statics of Non-Symmetric Shear Wall Structures, Proc. Inst. of Civ. Engrs. supplement XII, paper 7393S, 1971, pp 211-244
19. ROSMAN, R. - Analysis of Spatial Concrete Shear Wall Systems, Proc. Inst. of Civ. Engrs., supplement, 1970, pp 131-152
20. BOUDAKIAN, A. - Déformations et Contraintes dans les Structures Profileés Raidies, Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., nº277, Jan 1971, pp 125-166
21. LAREDO, M. - Théorie Générale du Comportement Mécanique des Grandes Structures dans l'Espace, Travaux, vol.50, nº388, Jun., 1967, pp 315-351
22. LAREDO, M. - Theorie Générale du Comportement des Grandes Structures Spatiales, Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., nº254, Fev., 1969, pp 305-386
23. GLUCK, J. - Lateral-Load Analysis of Asymmetric Multistory Structures, Proc. A.S.C.E., nºST2, Fev., 1970, pp 317-333
24. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, Vocabulário de Teoria das Estruturas, S.Paulo, 1967, pp 1-58

25. SPURR, H.V. - Wind Bracing, McGraw-Hill, 1930
26. GRINTER, L.E. - Theory of Modern Steel Structures, Macmillan Co vol.I, 1953, pp 296-334
27. RICARDONI, J. - Estruturas de Edifícios Elevados, publ. nº18, Instituto de Estática, Facultad de Ingeniería y Agrimensura, Montevideo, Dez., 1958, 46 pp
28. CESTELLI GUIDI, C. e GIUFFRÉ, A. - In Margine alle Norme per le Costruzioni in Zone Sismiche, Giornale del Genio Civile, Roma, vol.101, Out., 1963, pp 538-551
29. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, Continuity in Concrete Building Frames, Chicago, 3rd ed., pp 45-53
30. CHAPUIS, L. e LATIL, G. - Le Contreventement des Bâtiments Elevés a Murs Porteurs, La Technique des Travaux, vol.35, Mai-Juin 1959, pp 189-192
31. LEWICKI, B. - Bâtiments d'Habitation Prefabriqués en Elements de Grandes Dimension, Ed. Eyrolles, 1965, pp 143-228
32. LIN, T.Y. - Lateral Force Distribution in a Concrete Building Story, Jnl.A.C.I., vol.23, Dez., 1951, pp 281-296
33. STAMATO, M.C. - Determinação dos Esforços nas Barras Elásticas que vinculam um corpo Rígido, Escola de Engenharia de São Carlos Tese de Livre-Docência, São Carlos, 1965, pp 1-152
34. GOMES DOS SANTOS, S.M. - Ação do Vento em Edifícios Considerando a Resistência à Torção das Colunas, C.T.C. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 1970, pp 1-23
35. VICKERS, D.S. - Fuerzas Horizontales en Edificios, Estrutura, Rio de Janeiro, vol.9, 1961, pp 188-204, 255-264 e vol.11, 1962, pp 17-42
36. STAMATO, M.C. - Distribuição das Cargas do Vento entre os Painéis de Contraventamento, XI^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, São Paulo, 1966, pp 203-225
37. MEDWADOWSKI, S.J. - Lateral Force Distribution in a Random System of Shear Elements, Jnl.A.C.I., vol.66, nº1, Jan., 1969, pp 8-11
38. GREEN, N.B. - Bracing Walls for Multistory Buildings, Jnl.A.C.I. vol.24, nº3, Nov., 1952, pp 233-248
39. RICARDONI, J. - Nota sobre el Efecto de Torsion em Edifícios Elevados, publ.nº16, Instituto de Estática, Facultad de Ingeniería Agrimensura, Montevideo, Set., 1958, pp 1-13

40. CLOUGH, R.W.; KING, I.P. e WILSON, E.L. - Structural Analysis of Multistory Buildings, Proc.A.S.C.E., n^oST3, Jun., 1964, pp 19-34
41. CLOUGH, R.W. e KING, I.P. - Analysis of Three-Dimensional Building Frames, Int.Ass.Bridge Str.Engng., vol.24, 1964, pp 15-30
42. TRIGO, J.A.T. - Estruturas de Painéis sob a Ação de Solicitações Horizontais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC 37/53/514, Lisboa, Jun., 1968, 236 pp
43. WEBSTER, J.A. - The Static and Dynamic Analysis of Orthogonal Structures Composed of Shear Walls and Frames, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 377-399
44. FERRY BORGES, J. e RAVARA, A. - Estudo do Comportamento de Estruturas de Edifícios sob Ação de Forças Horizontais, 2^{as} Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Rio de Janeiro-São Paulo, Ago., 1967, pp 1-30
45. WINOKUR, A. e GLUCK, J. - The Influence of Different Parameters on the Distribution of Horizontal Forces in Asymmetric Multistory Buildings, Technion-Israel Institute of Technology, Jan., 1966, pp 1-37
46. WINOKUR, A. e GLUCK, J. - Lateral Loads in Asymmetric Multistory Structures, Proc.A.S.C.E., n^oST3, Mar., 1968, pp 645-656
47. STAMATO, M.C. - Linhas de Influência para Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados, XV^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol.I, Dez., 1971, pp 115-138
48. GLUCK, J. - Lateral Load Analysis of Multistory Structures Comprising Shear Walls with Sudden Changes in Stiffness, Jnl.A.C.I. vol.66, n^o99, Set., 1969, pp 729-736
49. GLUCK, J. - Lateral Load Analysis of Irregular Shear Wall Multistory Structures, Jnl.A.C.I., vol.67, n^o97, Jul., 1970, pp 548-553
50. COULL, A. e IRWIN, A.W. - Load Distribution in Multi-Storey Shear Wall Structures, 8th Congress Int.Ass.Bridge Str.Engng., New York, Set., 1968, pp 965-1004
51. COULL, A. e IRWIN, A.W. - Analysis of Load Distribution in Multi-Storey Shear Wall Structures, Structural Engineer, n^o8, vol.48, Ago., 1970, pp 301-306

52. WEAVER, W.JR. e NELSON, M.F. - Three-Dimensional Analysis of Tier Buildings, Proc.A.S.C.E., n^oST6, Dez., 1966, pp 385-404
53. STAMATO, M.C. e STAFFORD-SMITH, B. - An Approximate Method for the Three-Dimensional Analysis of Tall Buildings, Proc. Inst. Civ. Engrs., vol.43, Jul., 1969, pp 361-379
54. YAGUI, T. - Estruturas Constituídas de Paredes Delgadas com Diafragmas Transversais, XV^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol. I, Dez., 1971, pp 236-264
55. SORIANO, H.L. - Cálculo Automático do Efeito do Vento em Estruturas de Edifícios, Tese de Mestrado, COPPE, Univ.Fed.R.Janeiro Ago., 1971, 142 pp
56. HEIDEBRECHT, A.C. e SWIFT, R.D. - Analysis of Asymmetrical Coupled Shear Walls, Proc.A.S.C.E., vol.97, n^oST5, Mai., 1971, pp 1407-1422
57. "ACI COMMITTEE 442", Response of Buildings to Lateral Loads, Jnl.A.C.I., Fev., 1971, pp 81- 105
58. NAKA, T.; KATO, B. e NAKAO, M. - Column-Free Box-Type Framing with and without Core, 8th.Congress Int.Ass.Bridge and Struct. Engng., New York, Set., 1968, pp 609-621
59. COULL, A. e SUBEDI, N.K. - Framed-Tube Structures for High-Rise Buildings, Proc. A.S.C.E., vol.97, n^oST8, Ago., 1971, pp 2097-2105
60. MAZZEO, A. e FRIES, A. - Solucion Tubular para la Estructura de Acero de un Edificio de 37 Pisos, XV^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol.II, Dez., 1971, pp 1008-1052
61. KHAN, F.R. e SBAROUNIS, J.A. - Interaction of Shear Walls and Frames, Proc.A.S.C.E., n^oST3, Jun., 1964, pp 285-335
62. BARNARD, P.R. e SCHWALGHOFER, J. - The Interaction of Shear Walls Connected Solely Through Slabs, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 157-180
63. QADEER, A. - The Interaction of Floor Slabs and Shear Walls, Ph. D.Thesis, Univ. Southampton, Out., 1968, 133 pp
64. QADEER, A. e STAFFORD-SMITH, B. - The Bending Stiffness of Slabs Connecting Shear Walls, Jnl.A.C.I., vol.66, n^o6, Jun., 1969, pp 464-473

65. GOLDBERG, J.E. - Analysis of Multistorey Buildings Considering Shear Wall and Floor Deformations, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 349-373
66. WEBSTER, J.A. - Discussão da Ref. 65, pp 374-375
67. MAJID, K.I. e CROXTON, P.C.L. - Wind Analysis of Complete Building Structures by Influence Coefficients, Proc.Inst.Civ.Engrs. vol.47, Out., 1970, pp 169-184
68. DICKSON, M.G.T. e NILSON, A.H. - Analysis of Cellular Buildings for Lateral Loads, Jnl.A.C.I., vol.67, n°12, Dez., 1970, pp 963-966
69. ZIENKIEWICZ, O.C.; PAREKH, C.J. e TEPLY, B. - Three-Dimensional Analysis of Buildings Composed of Floor and Wall Panels, Proc. Inst.of Civ.Engrs., vol.49, Jul., 1971, pp 319-332
70. JENKINS, W.M. e HARRISON, T. - Analysis of Tall Buildings with Shear Walls under Bending and Torsion, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 413-444
71. HARRISON, T. - Discussion on "Torsion-Bending in Slab Structures" in "Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 546
72. CHOUDHURY, J.R. - Analysis of Plane and Spatial Systems of Interconnected Shear Walls, Ph.D.Thesis, Univ. Southampton, Out., 1968, 140 pp
73. TARANATH, B.S. - The Torsional Behaviour of Open Section Shear Wall Structures, Ph.D.Thesis, Univ. Southampton, Out., 1968, 185 pp
74. ARUP, O.N. - The Structure of High Buildings, Trans. Inst. Civ. Engrs. Ireland, vol.82, n°1, Dez., 1955, pp 23-65
75. TURNER, H.C. - Contemporary Design, Civil Engineering, Jan., 1957, pp 33-36
76. HERBERG, W. - Hochhäuser, Beton- und Stahlbetonbau, vol.57, n° 10, Out., 1962, pp 225-233
77. FRISCHMANN, W.W. e PRABHU, S.S. - Planning Concepts Using Shear Walls, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 49-81
78. BECKMANN, P. e DUNICAN, P. - The Use of Shear Walls in High Buildings, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 101-118

79. KHAN, F.R. - Current Trends in Concrete High-Rise Buildings, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 571-590
80. ROBERTSON, L.E. - On Tall Buildings, in "Symposium on Tall Buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 591-607
81. SCHMIDT, W. - High Rise Buildings of Reinforced Concrete-What Are the Limitations?, Jnl.A.C.I., vol.63, n°12, Dez., 1966, pp 1393-1400
82. DIAMANT, R.M.E. - Marina City, The Architect and Building News, vol.222/2, 11 Jul., 1962, pp 58-60
83. NERVI, P.L. - Centro Pirelli, in "Nuevas Estructuras", Ed.Gustavo Gili, Barcelona, 1963, pp 10-17
84. ROY, H.E.H. - Toronto City Hall and Civic Square, Jnl.A.C.I., vol.62, n°12, Dez., 1965, pp 1481-1502
85. PICARDI, E.A. - The Structural Description of the John Hancock Center, Jnl.Boston Society of Civil Engineers, vol.54, n°1, Jan., 1967, pp 1-24
86. FRISCHMANN, W.W.; BROWN, G.S. e PRABHU, S.S. - Features in the Design and Construction of Drapers Gardens Development, Structural Engineer, vol.45, n°2, Fev., 1967, pp 47-68
87. How Columns Will Be Designed for 110-Story Buildings, Engineering News - Record, 2 Abr., 1964, pp 48-49
88. Edifício Italia, O Dirigente Construtor, São Paulo, Nov., 1964, pp 12-25
89. Building High, Engineering, 13 Mai., 1966, pp 903-908
90. Um Banco em Quatro Pilares, Projeto e Construção, São Paulo, vol. 1, n°3, Fev., 1971, pp 12-19
91. Edifícios Suspensos, Projeto e Construção, São Paulo, vol.1, n°4, Mar., 1971, pp 12-19
92. Hotel de Niemeyer em Torre de vidro, Projeto e Construção, São Paulo, Jul., 1971, pp 10-17

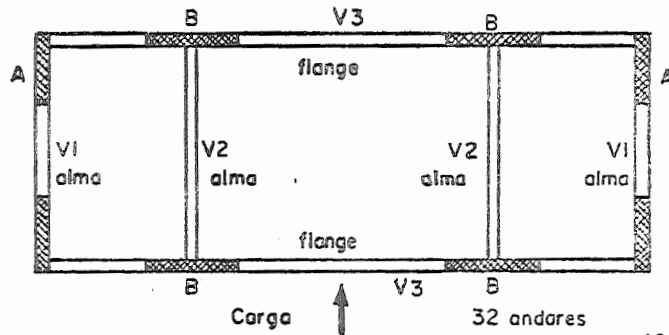


Fig. 1 - Exemplo analisado por Franco¹⁰

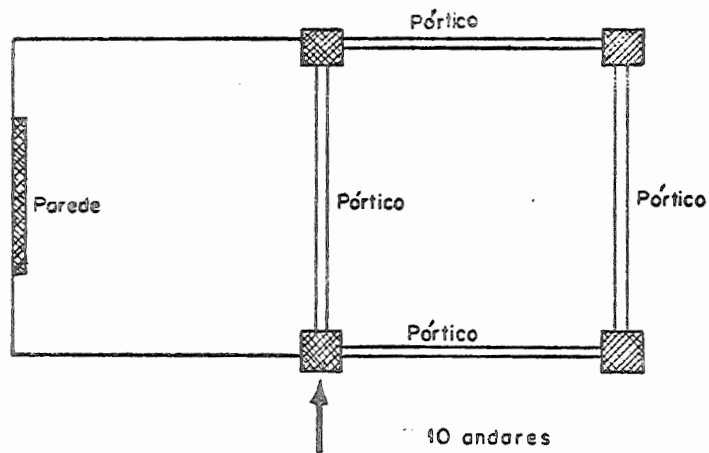
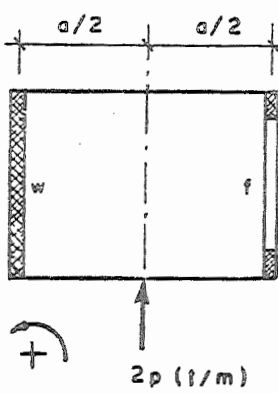
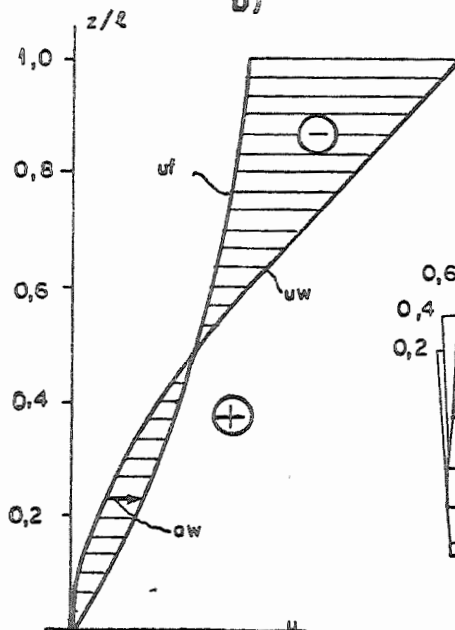


Fig. 2 - Modelo ensaiado por Stamato^{11, 47}

a) Planta



b)



c)

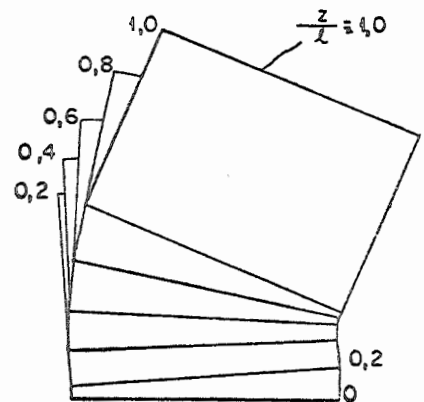


Fig. 3 - Pórtico e parede em paralelo¹²

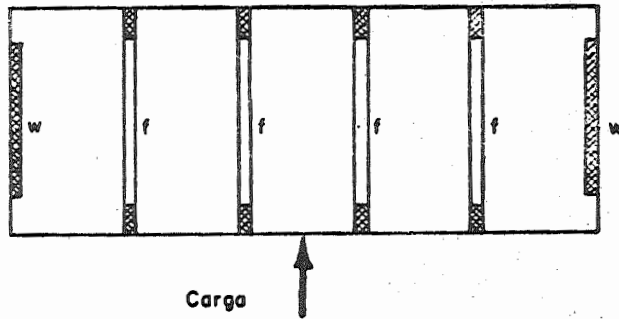


Fig. 4 - Associação simétrica em paralelo

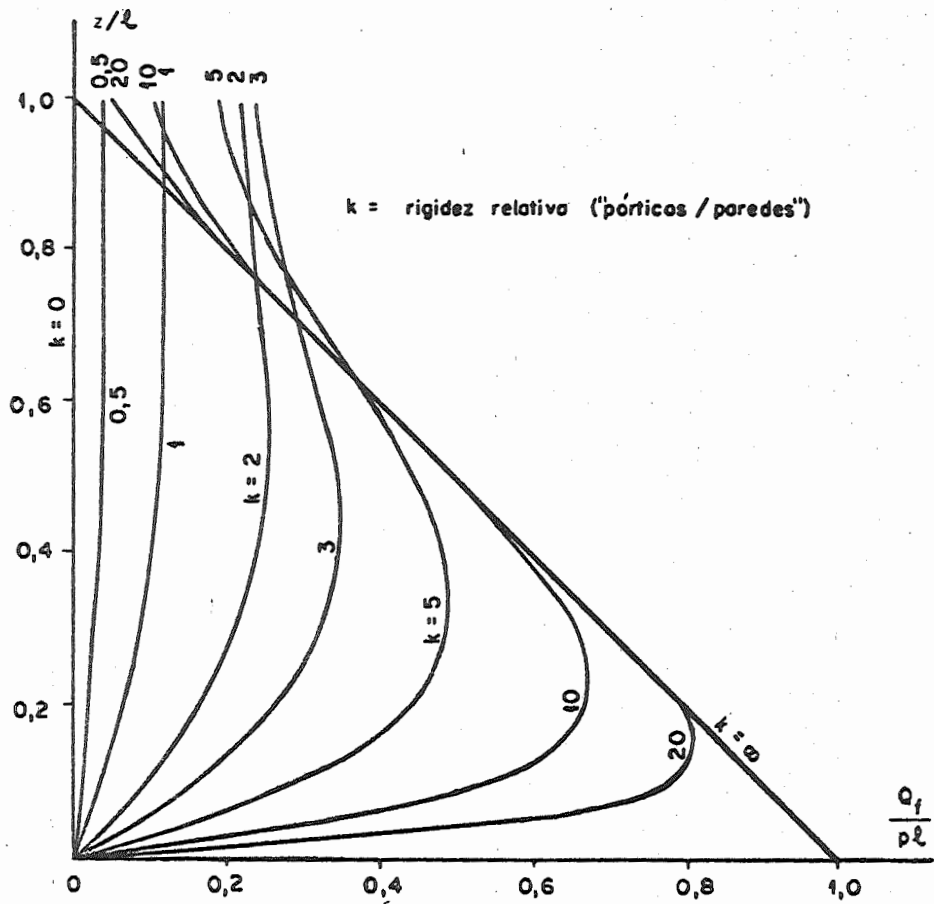
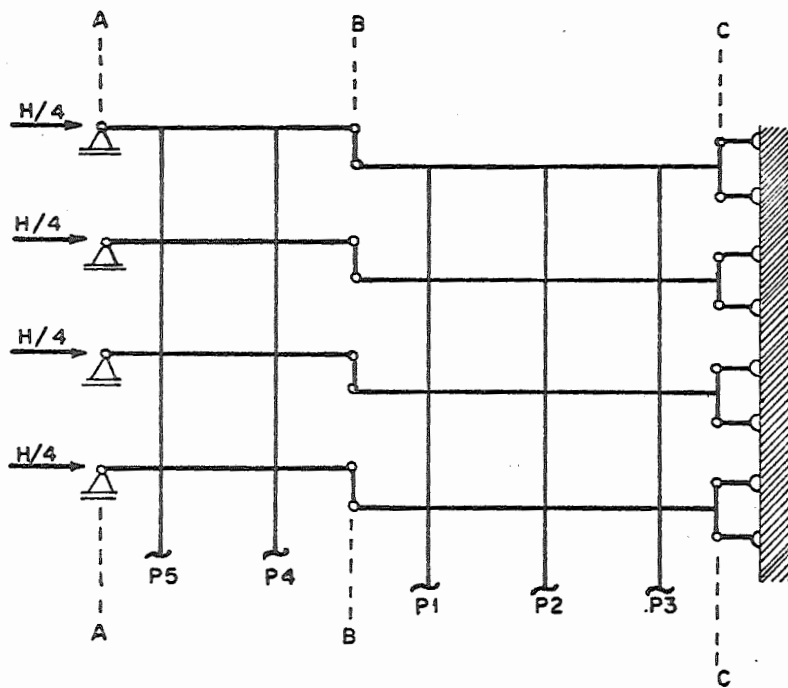
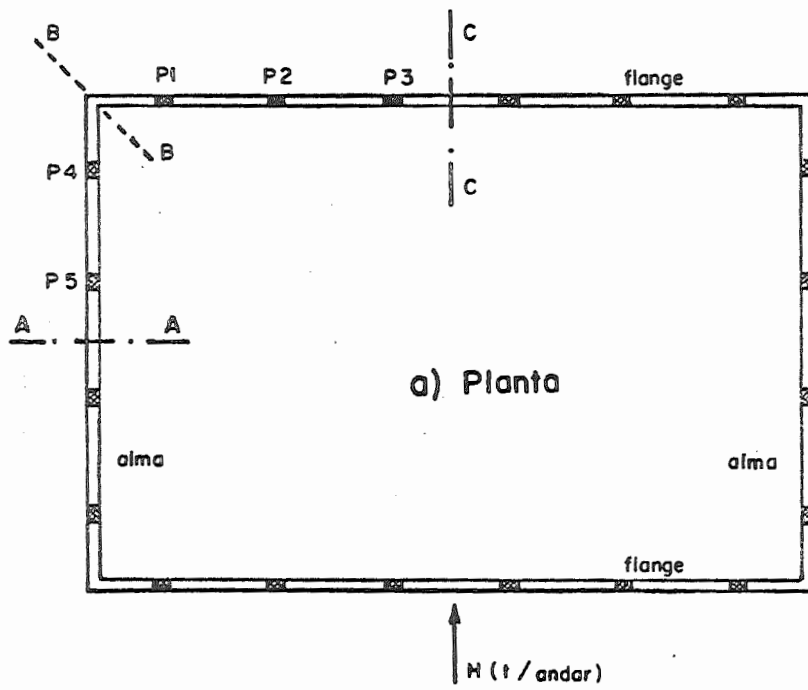


Fig. 5 - Força cortante global Q_f nos pórticos^{12,13}



b) Estrutura plana equivalente (1/4)

Fig. 6 - Comportamento simplificado do tubo

OUTROS TRABALHOS DO AUTOR

- 1- "Sistemas de Unidades", E.E.S.C., 1955, 36 pp. (esgotado)
- 2- "Introdução à Estática", E.E.S.C., 1955, 21 pp. (esgotado)
- 3- "Problemas de Estática", E.E.S.C., 1956, 68 pp. (esgotado)
- 4- "Estruturas de Madeira - 1.^a parte", E.E.S.C., 1957, 55 pp. (esgotado)
- 5- "Problemas de Ciências das Construções", E.E.S.C., 1958, 35 pp. (esgotado)
- 6- "Ligações com Parafusos: Solicitação Paralela às Fibras em Peças de Peroba Rosa", E.E.S.C., 1959, 15 pp. (esgotado)
- 7- "O Processo de Cross - 1.^a Parte", E.E.S.C., 1961, 78 pp. (3.^a edição)
- 8- "Cálculo Elástico de Estaqueamentos", Publ. nº70, E.E.S.C., 1962, 61 pp. (2.^a edição)
- 9- "Determinação dos Esforços nas Barras Elásticas que Vinculam um Corpo Rígido", E.E.S.C., 1964, Tese de docência livre, 165 pp. (esgotado)
- 10- "Distribuição das Cargas do Vento entre os Painéis de Contra-ventamento", XI Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, São Paulo, 1966, pp. 203-225. (Publ. nº131, E.E.S.C., 2.^a edição)
- 11- "Cargas do Vento nas Construções - Normas", em colaboração com LUCHESE, J.A., Publ. nº130, E.E.S.C., 1966, 50 pp. (2.^a edição)
- 12- "Ligações de Peças de Peroba Rosa com Parafusos de Aço", em colaboração com LUCHESE, J.A., II Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 1967, 42 pp. (Publ. nº147, E.E.S.C.)
- 13- "Análise Aproximada de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados", em colaboração com STAFFORD-SMITH, B., XIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Montevideo, 1969, 23 pp. (Publ. nº155, E.E.S.C.)
- 14- "An Approximate Method for the Three Dimensional Analysis of Tall Buildings" (versão em inglês do trabalho nº13), Proc.Inst. Civ. Engrs., Londres, vol.43, Jul/1969, pp 361-379
- 15- "Discussion - An Approximate Method for the Three Dimensional Analysis of Tall Buildings", Proc. Inst. Civ. Engrs., Londres, vol. 46, Jul/1970, pp. 351-354
- 16- "Deslocamentos em Estruturas Lineares", E.E.S.C., publ. nº162, 1970, 118 pp.
- 17- "Torção de Estruturas de Edifícios Elevados", publ. nº156, E.E.S.C., 1971, 76 pp.

- 18- "Associação Contínua de Painéis de Contraventamento", publ. nº 157, E.E.S.C., 1971, 72 pp.
- 19- "Ligações de Peças de Pinho do Paraná e de Eucalipto Citriodora com Parafusos de Aço", em colaboração com AGOSTINI, L.R.S. e CATTO, A.J., XV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Dez/1971, Vol.I, pp. 161-180 (Publ. nº160 E.E.S.C.)
- 20- "Linhas de Influência para Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados", XV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Dez/1971, Vol.I, pp. 115-138.
- 21- "Casos Simples de Interação de Paredes e Pórticos", XV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Dez/1971, Vol.I, pp. 97-113.
- 22- "Associação Contínua de Paredes e Pórticos Planos", XV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Dez/1971, Vol.I, pp. 139-159.
- 23- "Three - Dimensional Analysis of Tall Buildings", "State of - Art Report" apresentado à "ASCE - IABSE Joint Committee on Planning and Design of Tall Buildings", Lehigh University, Jan/1972, 18 pp.
- 24- "Estado Atual da Análise de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Altos", (versão ampliada, em português, do trabalho 23), E.E.S.C., Publ. nº163, Jan/1972, 27 pp.