

**EDIFÍCIOS COM PAREDES DE SECÇÃO ABERTA
CONTRAVENTADAS POR LINTÉIS,
SOB CARGA LATERAL**

ENG. JAIR ALVES BARBOSA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

ORIENTADOR

Prof. Dr. Eddie Mancini

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eddie Mancini

Prof. Dr. Paulo Seleguin

Prof. Dr. Roberto L. A. Barbato

SUPLENTES

Prof. Dr. Ilio Montanari

Prof. Dr. Lafael Petroni

À
Pedra
Sebastião
Magali

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eddie Mancini sob cuja orientação foi desenvolvido este trabalho, por sua colaboração capaz, sistemática e desprendida; especialmente por sua amizade que nos momentos de desânimo reergueu-me e nos momentos de impasse abriu caminhos.

À Srta. Maria José Gualtieri e Srta. Fátima Aparecida de Góes pela presteza e capricho com que executaram os trabalhos de datilografia; ao Sr. José Carlos Mergulhão pela excelente qualidade dos desenhos; e à Sra. Maria Alice Venturini pelo apoio linguístico.

À Universidade Federal de São Carlos que propiciou o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho estuda, pela técnica do meio contínuo e pelo tratamento discreto, a determinação dos esforços em *edifícios com paredes de secção aberta contraventadas por lintéis, sob carga lateral*.

Apresentam-se dois processos de análise que utilizam a técnica do meio contínuo: o primeiro analisa a estrutura, baseado na hipótese de que as paredes se comportam como as vigas de paredes delgadas, pela teoria de flexo-torção; o segundo subdivide a estrutura em painéis paredes, aos quais são aplicados as equações de equilíbrio e compatibilidade de deslocamentos, ficando o comportamento do modelo estrutural expresso através de uma equação ou de um sistema de equações diferenciais. Em ambos os processos os elementos horizontais que conectam as paredes de secção aberta, ao nível dos andares, lajes e lintéis, são supostos uniformemente distribuídos ao longo da altura.

O tratamento discreto analisa a estrutura pelo Processo dos Deslocamentos, através da utilização das técnicas matriciais, juntamente com a teoria de flexo-torção; esta última é necessária para levar em conta o empenamento da secção transversal. O comportamento da estrutura fica expresso por um sistema de equações lineares de grande porte.

Diversas estruturas são analisadas e a precisão de cada processo é avaliada através das comparações dos resultados obtidos.

ABSTRACT

This work is concerned with the analysis of the effect of lateral load in multistory structures with open-section shear walls constrained by horizontal beams. Continuous medium technique and discrete analysis are used for the analysis.

Two analysis methods are presented, based on continuous idealization: the first one analyzes the structure assuming walls to behave like thin-walled beams, according to Vlasov theory; the second one divides the structure in shear walls, to which are applied equilibrium and displacement - compatibility equations. The behaviour of the structural model is expressed by a system or a single differential equation. These methods assume horizontal connection elements continuously distributed along the height of the building.

Discrete analysis uses the Displacement Method through utilization of matrices techniques together with Vlasov theory. The last one is necessary to take into account the warping of the walls. This technique leads to a large system of linear equations.

Several structures are analyzed and the accuracy of each method is estimated by comparison of the results obtained.

ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO -----	I-1
II – TÉCNICA DO MEIO CONTÍNUO -----	II-1
II.1 – APLICAÇÃO DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO -----	II-2
II.1.1 - Paredes de secção aberta sem contraventamento -----	II-2
II.1.2 - Paredes de secção aberta contraventadas por lin <u>te</u> t <u>is</u> -----	II-8
II.1.3 - Paredes de secção aberta não uniformes com a al <u>tu</u> tura do edifício, com ou sem contraventamento -----	II-12
II.1.4 - Gráficos para projeto -----	II-17
II.1.5 - Exemplo 1 -----	II-27
II.1.6 - Exemplo 2 -----	II-42
II.2 – DIVISÃO DA ESTRUTURA EM PAINÉIS PAREDES -----	II-55
II.2.1 - Introdução -----	II-55
II.2.1.1 - Painel parede -----	II-55
II.2.1.2 - Hipóteses e considerações -----	II-57
II.2.2 - Edifício com uma parede de secção aberta, forma <u>da</u> por um único canal, contraventada por lin <u>te</u> t <u>is</u> ao nível dos andares -----	II-60
II.2.2.1 - Montagem do sistema de equações diferenciais -----	II-61
II.2.2.2 - Determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes -----	II-74
II.2.2.3 - Programas para o cálculo automático -----	II-79
II.2.3 - Edifício com uma parede de secção aberta, forma <u>da</u> por dois canais adjacentes, contraventada por lint <u>es</u> ao nível dos andares -----	II-105
II.2.3.1 - Montagem do sistema de equações diferenciais -----	II-106
II.2.3.2 - Determinação dos esforços e deslocamentos nas pa <u>re</u> des -----	II-120
II.2.3.3 - Programas para o cálculo automático -----	II-126

II.2.4	- Edifício com duas paredes de secção aberta iguais, contraventadas entre si por lintéis ao nível dos andares -----	II-142
II.2.4.1	- Montagem da equação diferencial -----	II-144
II.2.4.2	- Determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes -----	II-154
II.2.4.3	- Programas para o cálculo automático -----	II-156
 III – TRATAMENTO DISCRETO -----		III-1
 III.1 – FORMULAÇÃO DO PROCESSO -----		III-2
III.1.1	- Nomenclatura -----	III-2
III.1.2	- Obtenção das matrizes de rigidez das paredes de secção aberta -----	III-3
III.1.2.1	- Contribuição para a matriz de rigidez dos termos de torção -----	III-5
III.1.2.2	- Contribuição para a matriz de rigidez dos termos de flexão -----	III-13
III.1.2.3	- Matrizes de rigidez das paredes de secção aberta -	III-17
III.1.3	- Obtenção das matrizes de rigidez dos lintéis -----	III-21
III.1.4	- Montagem das matrizes de rigidez dos andares -----	III-29
III.1.5	- Montagem da matriz de rigidez da estrutura -----	III-36
III.1.6	- Programas para o cálculo automático -----	III-38
 III.2 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELOS VÁRIOS PROCESSOS DE ANÁLISE -----		III-83
III.2.1	- Edifício com uma parede de secção aberta constituída por um único canal, sujeito a momentos torçores -----	III-84
III.2.2	- Edifício com uma parede de secção aberta, formada por um único canal, contraventada por lintéis ao nível dos andares, sujeito a cargas horizontais -----	III-102

III.2.3	- Edifício com uma parede de secção aberta, formada por dois canais adjacentes iguais, sujeito a cargas horizontais -----	III-108
III.2.4	- Edifício com duas paredes de secção aberta iguais contraventadas entre si por lintéis, sujeito a momentos torçores -----	III-112
III.2.5	- Considerações finais -----	III-115
 APÊNDICE A – RESUMO DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO -----		A-1
A.1 – INTRODUÇÃO -----		A-1
A.2 – CENTRO DE TORÇÃO OU DE CISLHAMENTO -----		A-2
A.2.1	- Condições implícitas para o centro de torção -----	A-2
A.2.2	- Fórmulas para as coordenadas do centro de cisalhamento -----	A-4
A.3 – TORÇÃO UNIFORME OU TORÇÃO LIVRE OU TORÇÃO DE SAINT-VENANT -----		A-8
A.3.1	- Condições para a torção livre -----	A-8
A.3.2	- Deslocamento longitudinal -----	A-9
A.4 – TORÇÃO NÃO UNIFORME OU FLEXO-TORÇÃO -----		A-12
A.4.1	- Hipótese de cálculo -----	A-12
A.4.2	- Tensão normal de flexo-torção -----	A-12
A.4.3	- Tensão tangencial de flexo-torção -----	A-13
A.4.4	- Momento de flexo-torção -----	A-13
A.4.5	- Equação diferencial da flexo-torção -----	A-14
A.4.6	- Bimomento -----	A-15

A.5 – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES SETORIAIS DAS PAREDES DE SECÇÃO ABERTA -----	A-17
A.5.1 - Introdução -----	A-17
A.5.2 - Relação entre as áreas setoriais dos nós -----	A-18
A.5.3 - Cálculo das coordenadas do centro de cisalha- mento -----	A-18
A.5.4 - Cálculo das áreas setoriais para o pólo no centro de cisalhamento -----	A-21
A.5.5 - Momento de inércia setorial -----	A-22
A.5.6 - Sequência de passos para o cálculo das proprie- dades setoriais das paredes de secção aberta -----	A-22
APÊNDICE B – APLICAÇÃO DAS DIFERENÇAS FINITAS -----	B-1
B.1 – INTRODUÇÃO -----	B-1
B.2 – APLICAÇÃO DAS DIFERENÇAS FINITAS À SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS -----	B-6
BIBLIOGRAFIA -----	BI-1

I – INTRODUÇÃO

Muitos sistemas estruturais de edifícios altos dependem total ou parcialmente para sua resistência à carga lateral de *paredes de secção aberta*, internamente às quais normalmente localizam-se os elevadores, escadas e outras áreas coletivas.

Chamar-se-á aqui de *parede de secção aberta*, a qualquer combinação de paredes planas continuamente ligadas entre si para formar uma secção aberta. Na figura (I-1) apresentam-se exemplos de edifícios com esses elementos estruturais. Quando se faz a combinação de colunas verticais, de pequena rigidez lateral, com paredes de secção aberta para formarem uma estrutura semelhante à da figura (I-1.b), é corrente na análise do efeito das cargas laterais considerar-se apenas as paredes para resistirem aos esforços atuantes.

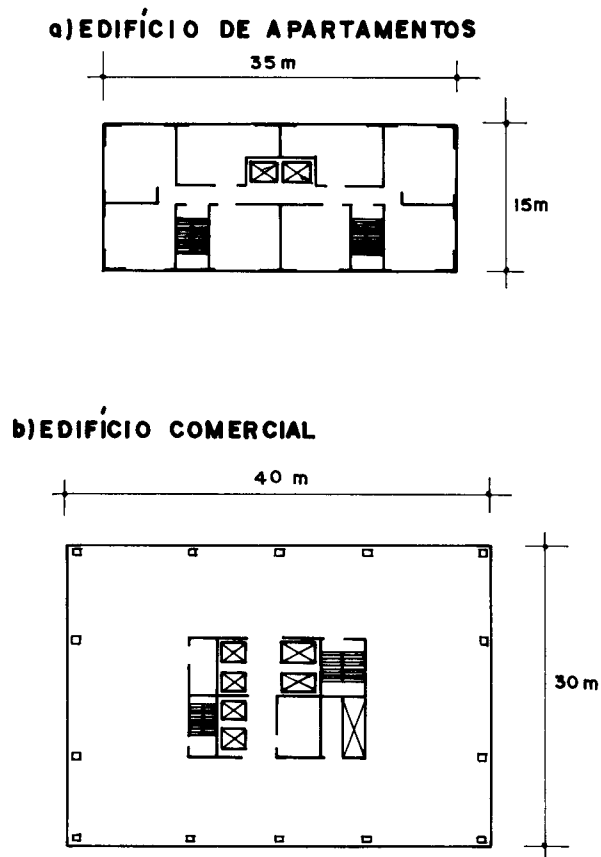
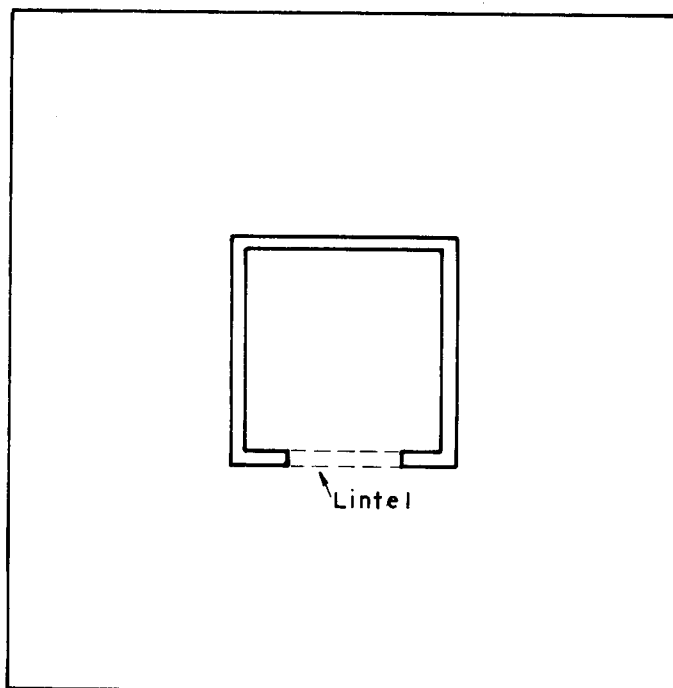


FIG. I 1- EDIFÍCIOS FORMADOS POR PAREDES DE SECÇÃO ABERTA

Freqüentemente essas paredes formam secções assimétricas, que, sob o efeito de cargas laterais, serão submetidas à flexão e torção. É importante calcular-se os efeitos de tal torção, levando-se em conta não somente o aparecimento das tensões cisalhantes devido à torção livre, mas também o sistema de tensões cisalhantes e normais devido ao comportamento das *paredes como vigas de secção delgada* sujeitas à flexo-torção. A rigidez à torção, bem como a magnitude das tensões axiais (tensões de valores consideráveis quando comparadas com as da flexão), podem ser modificadas quando existe ao nível dos andares um contraventamento por *lintéis*; estas modificações são provenientes da ação de flexão dos mesmos.

Na figura (I-2) mostra-se esquematicamente um edifício formado por uma única parede de secção aberta contraventada por lintéis ao nível dos andares. Estrutura com este formato normalmente é chamada de núcleo resistente do edifício.

a) PLANTA



b) ELEVACÃO(sem as lajes)

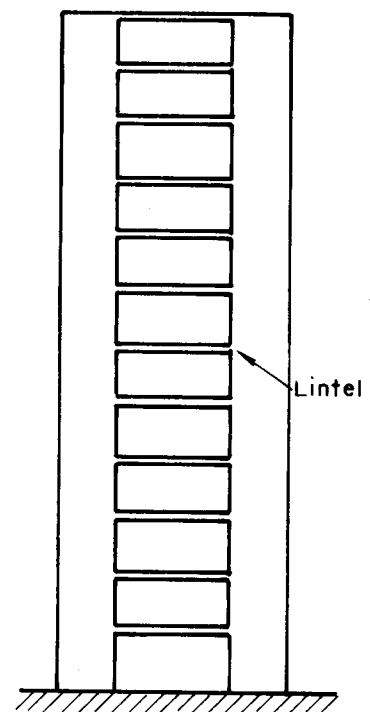


FIG.I-2- EDIFÍCIO FORMADO POR UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA CONTRAVENTADA POR LINTÉIS

A análise de tais estruturas pode ser feita através da *Técnica do Meio Contínuo (Tratamento Contínuo)* ou do *Tratamento Discreto* (utilização da *Análise Matricial*).

Na técnica do meio contínuo as propriedades dos elementos de conexões horizontais, no caso os lintéis e as lajes, são distribuídas uniformemente ao longo de toda a altura do edifício; os esforços transmitidos ficam continuamente distribuídos na vertical. O comportamento deste modelo estrutural é interpretado por uma equação diferencial ou por um sistema de equações diferenciais, que, resolvidas por integração direta ou por um processo numérico, como o das diferenças finitas, fornecem os deslocamentos e esforços em toda a estrutura. Este tipo de tratamento conduz muitas vezes a soluções simples, porém possui o inconveniente de não permitir variações da estrutura ao longo da altura e conduzir a soluções diferentes para cada arranjo em planta. Certos casos de variações da estrutura ao longo da altura podem ser resolvidos utilizando-se juntamente com a técnica do meio contínuo as *Matrizes de Transferência*.

No tratamento discreto, através do processo dos esforços ou dos deslocamentos, chega-se a um sistema de equações lineares de grande porte, cuja solução fornece os deslocamentos e esforços em toda a estrutura. Este tipo de análise é muito mais versátil que a anteriormente mencionada, permitindo tratar estruturas de geometria mais variada, quer em planta, quer em elevação. Neste caso os esforços transmitidos são concentrados ao nível das lajes.

Dentro da utilização da técnica do meio contínuo, vários trabalhos tratam de configurações especiais de paredes de secção aberta submetidas a carregamentos específicos. MICHAEL⁽¹⁾ analisa o efeito do carregamento de torção em uma estrutura formada por dois canais contraventados entre si por lintéis ao nível dos andares. Essa mesma estrutura é abordada por TSO e BISWAS⁽²⁾, que apresentam um processo de solução gráfica, e por COULL⁽³⁾, que trata do efeito de engastamento elástico nas fundações.

HEIDEBRECHT e SMITH⁽⁴⁾ mostram uma análise simples e gráfica, utilizando a teoria das vigas de secção delgada, para paredes de secção aberta contraventadas ou não por lintéis e submetidas a carregamento de torção. Para o caso de haver contraventamento, a estrutura é particularizada a uma parede de secção aberta com um único canal.

TSO e BISWAS⁽⁵⁾ analisam, pela técnica do meio contínuo, configurações gerais em planta, submetidas a carregamentos arbitrários.

Dentro da análise dessa estrutura pelo tratamento discreto podem-se citar os trabalhos de YAGUI⁽⁶⁾, HEIDEBRECHT e SWIFT⁽⁷⁾ e o de TARANATH e SMITH⁽⁸⁾. YAGUI⁽⁶⁾ substitui as paredes planas por pórticos planos formados por vigas horizontais engastadas aos meios dos vãos aos pilares; a estrutura tridimensional formada por grupos de paredes, vigas horizontais e lajes é analisada matricialmente através do processo dos deslocamentos, utilizando-se técnica desenvolvida por STAMATO⁽⁹⁾ (levam-se em conta as deformações por força cortante e os efeitos da força normal na rigidez à flexão e à torção). HEIDEBRECHT e SWIFT⁽⁷⁾, e TARANATH e SMITH⁽⁸⁾ em seus trabalhos consideram as paredes de secção aberta como membros lineares, tomando a deformação por empenamento destas como um grau de liberdade adicional a cada andar. A geração da matriz de rigidez destes elementos é obtida através da *Teoria das Vigas de Secção Delgada* desenvolvida por VLASOV⁽¹⁰⁾, ou "*Teoria de Flexo-Torção*", como é comumente conhecida.

Ao longo do trabalho, são apresentados três processos de análise de edifícios altos com paredes de secção aberta contraventadas por lintéis, sob carga lateral, dois utilizando a técnica do meio contínuo e um utilizando a análise matricial.

Na primeira parte do capítulo II, *Técnica do Meio Contínuo*, apresenta-se a análise desenvolvida por HEIDEBRECHT e SMITH⁽⁴⁾, baseada no comportamento das paredes de secção aberta como barras de secção delgada. Na parte final desenvolve-se um novo processo de análise, baseado no trabalho de MANCINI⁽¹¹⁾. Este processo consiste basicamente em dividir-se a estrutura em painéis paredes e aplicar aos mesmos as equações de equilíbrio e compatibilidade de deslocamentos. O comportamento deste modelo estrutural é interpretado, dependendo do tipo de carregamento e do formato em planta das paredes, por uma equação ou por um sistema de equações diferenciais. A solução no caso geral é obtida por diferenças finitas.

O terceiro capítulo, *Tratamento Discreto*, baseia-se no trabalho de HEIDEBRECHT e SWIFT⁽⁷⁾. Nesta análise considera-se cada parede de secção aberta como um membro linear com sete deslocamentos por andar, os seis já conhecidos do tratamento espacial, mais aquele devido ao empenamento. Para este deslocamento adicional é

utilizada a teoria de flexo-torção. Os lintéis, utilizados para o contraventamento, são tratados como membros lineares espaciais com as extremidades engastadas nas paredes. Por ser este um tratamento discreto, é possível tratar estruturas de geometria variada, quer em planta, quer em elevação, exigindo, no entanto, devido ao grande número de variáveis envolvidas, da utilização de computadores digitais, no que este trabalho apresenta sua contribuição pelo desenvolvimento de um conjunto eficiente de programas para análise completa dessas estruturas, em computadores de pequeno porte.

Ainda neste capítulo faz-se a comparação dos resultados obtidos para diversos arranjos em plantas de paredes de seção aberta, que avaliam a precisão dos processos apresentados.

Nos apêndices deste trabalho encontra-se um resumo da teoria de flexo-torção, utilizada tanto no tratamento discreto como no contínuo, e também a teoria das diferenças finitas aplicada à solução dos sistemas de equações diferenciais gerados pelo tratamento contínuo.

Para os processos que permitem uma abordagem manual simples, são desenvolvidos exemplos numéricos, e para os que necessitam da utilização de computadores digitais, apresentam-se as listagens dos programas desenvolvidos e respectivas explicações para uso. Os programas apresentados foram testados em um computador HP-2100A com 32 K palavras de 16 bits de memória, e todos eles escritos em FORTRAN IV. Devido às grandes proporções dos problemas comparados com a capacidade do sistema, foi necessária a segmentação dos programas e a utilização de memória auxiliar (disco magnético).

II – TÉCNICA DO MEIO CONTÍNUO

A técnica do meio contínuo consiste em substituir-se o sistema discreto de conexões horizontais ao nível dos andares, formado pelas lajes e lintéis, por um meio contínuo de rigidez equivalente, uniformemente distribuída ao longo de toda a altura do edifício. Com isso os esforços transmitidos pelo sistema discreto ficam distribuídos continuamente ao longo da altura. *As lajes serão consideradas equivalentes a diafragmas horizontais rígidos*, com rigidez infinita no seu plano mas sem nenhuma rigidez transversal. Com esse comportamento as lajes garantem um movimento de corpo rígido na horizontal de todos os elementos verticais, só transmitem esforços horizontais a estes elementos, e além disto em nada restringem os seus empenamentos. Os lintéis serão considerados como vigas engastadas em ambas as extremidades, com capacidade de resistir a momento fletor e à força cortante. É importante notar que nos lintéis não aparecerão esforços normais, devido ao comportamento das lajes como diafragmas.

Com as hipóteses anteriores a técnica do meio contínuo expressa o comportamento do modelo estrutural através de uma equação diferencial ou de um sistema de equações diferenciais, que, após serem resolvidas por integração direta ou por um processo numérico, fornecem com boa aproximação os deslocamentos e esforços em toda a estrutura.

O primeiro processo a ser desenvolvido utiliza a teoria de flexo-torção, baseado no trabalho de HEIDEBRECHT e SMITH⁽⁴⁾, para descrever o comportamento da estrutura. O segundo é baseado no trabalho de MANCINI⁽¹¹⁾ e não exige do leitor o conhecimento da teoria de flexo-torção, mas simplesmente os conhecimentos adquiridos pelo engenheiro estrutural no seu curso de formação.

II.1 – APLICAÇÃO DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO

O processo apresentado, baseado no trabalho de HEIDE BRECHT e SMITH⁽⁴⁾, é bastante simples e aplica-se às estruturas formadas por paredes de secção aberta, contraventadas ou não por lintéis e submetidas a carregamentos de momentos torçores. Devido à pequena espessura das paredes de secção aberta, elas terão o mesmo comportamento que as vigas de secção delgada, quando solicitadas à torção com empenamentos impedidos na base do edifício.

Quando há uniformidade das estruturas ao longo da altura e estas estão sujeitas a carregamentos de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo, a análise pode ser feita rapidamente através de gráficos.

Usando-se conjuntamente este processo com o das *matrizes de transferência*, pode-se estender esta análise às estruturas não uniformes com a altura.

As formulações e convenções utilizadas nesta análise são as apresentadas no *apêndice A* referente à teoria de flexo-torção.

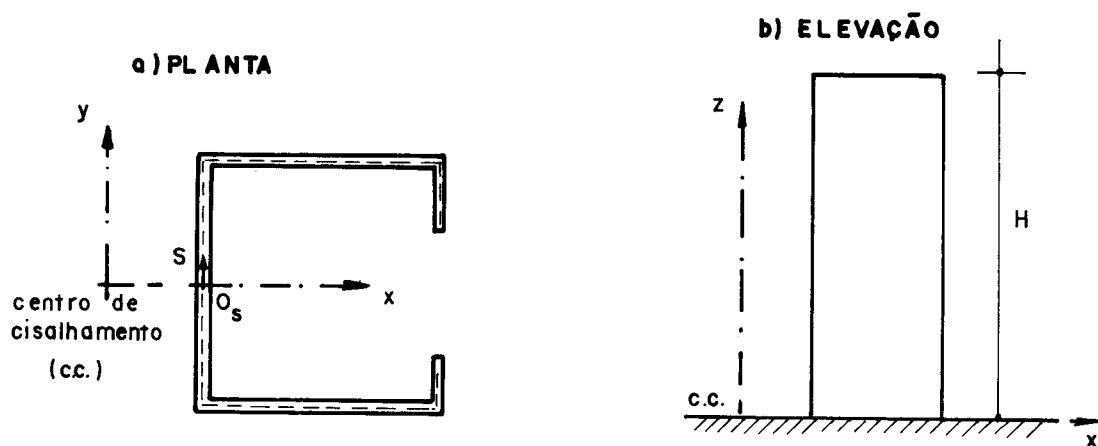
II.1.1 - Paredes de secção aberta sem contraventamento

A equação que governa o comportamento à torção de uma parede de secção aberta, incluindo as deformações por empenamento, é dada, de acordo com VLASOV⁽¹⁰⁾, em uma cota genérica z , por

$$M_t = M_\tau + M_{ft} \quad (\text{II.1-01})$$

onde M_t é o momento de torção total, M_τ é o momento de torção livre e M_{ft} é o momento de flexo-torção.

O sistema de eixos coordenados tem como origem o centro de cisalhamento da parede de secção aberta, e o eixo z é orientado da base do edifício para o topo (figura II.1-01). Na linha esqueleto da secção é adotada uma coordenada s de sentido arbitrário, com origem O_s convenientemente estabelecida de modo a facilitar as formulações da teoria de flexo-torção.



FIGII. 1-01- PAREDE DE SECÇÃO ABERTA SEM CONTRAVENTAMENTO

Sabe-se também que

$$M_t = GJ_t \phi_z' \quad (\text{II.1-02})$$

$$M_{ft} = -EJ_\omega \phi_z'' \quad (\text{II.1-03})$$

onde G é o módulo de elasticidade transversal, E é o módulo de elasticidade, J_t é o momento de inércia à torção da seção transversal, J_ω é o momento de inércia setorial da seção transversal e ϕ_z é a rotação em torno do eixo z .

Substituindo-se as equações (II.1-02) e (II.1-03) em (II.1-01), tem-se a equação diferencial na rotação da seção

$$M_t = GJ_t \phi_z' - EJ_\omega \phi_z'' \quad (\text{II.1-04})$$

Derivando-se uma vez a equação anterior, tem-se

$$\frac{dM_t}{dz} = m_z = GJ_t \phi_z'' - EJ_\omega \phi_z''' \quad (\text{II.1-05})$$

onde m_z é o momento torçor distribuído.

Para o caso de momento torçor uniformemente distribuído ao longo da altura e momento torçor concentrado no topo, a solução completa de (II.1-05) é

$$\phi_z = C_1 + C_2 z + C_3 \cosh \alpha z + C_4 \sinh \alpha z + \frac{m_o z^2}{2\alpha^2 EJ_\omega} \quad (\text{II.1-06})$$

onde C_1, C_2, C_3 e C_4 são constantes determinadas pelas condições de contorno, m_o é o momento torçor uniformemente distribuído e α é a relação definida como

$$\alpha = \sqrt{\frac{GJ_t}{EJ_\omega}} \quad (\text{II.1-07})$$

As constantes anteriores, para uma estrutura uniforme, engastada na base e sem bimomento aplicado no topo, são determinadas a partir das quatro condições de contorno, que são

$$\left. \begin{aligned} \phi'_o &= \phi_o = 0 \\ B_H &= 0 \\ M_{t(H)} &= -M_{tH} = GJ_t \phi'_H - EJ_\omega \phi''_H \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.1-08})$$

onde H é altura total do edifício, B_H é o bimomento no topo da estrutura, definido numa cota genérica z como $EJ_\omega \phi''_z$, e M_{tH} é o momento torçor concentrado no topo.

Com as condições de contorno definidas em (II.1-08) e com a equação (II.1-06), obtêm-se as seguintes expressões para as constantes

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{\alpha^4 EJ_\omega C_H} \left[m_o (\alpha H S_H + 1) + M_{tH} \alpha S_H \right] \\ C_2 &= - \frac{M_{tH} + m_o H}{\alpha^2 EJ_\omega} \\ C_3 &= \frac{1}{\alpha^4 EJ_\omega C_H} \left[- m_o (\alpha H S_H + 1) - M_{tH} \alpha S_H \right] \\ C_4 &= \frac{M_{tH} + m_o H}{\alpha^3 EJ_\omega} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.1-09})$$

onde C_H e S_H são respectivamente os valores de $\cosh \alpha z$ e $\sinh \alpha z$ quan

do z torna-se igual a H .

Substituindo-se as expressões (II.1-09) na equação (II.1-06), obtêm-se a rotação numa cota genérica z como

$$\begin{aligned} \phi_z = & - \frac{m_o H^4}{EJ_\omega (\alpha H)^4} \left\{ \frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} (\cosh \alpha z - 1) - \alpha H \sinh \alpha z + \right. \\ & \left. + (\alpha H)^2 \left[\frac{z}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H} \right)^2 \right] \right\} - \quad (II.1-10) \\ & - \frac{M_{tH} H^3}{EJ_\omega (\alpha H)^3} \left[\tanh \alpha H (\cosh \alpha z - 1) - \sinh \alpha z + \alpha z \right] \end{aligned}$$

Obtida a rotação em torno do eixo z , o problema fica resolvido.

Derivando-se a equação (II.1-10) quantas vezes forem neces- sárias, têm-se as expressões da derivada primeira, segunda e terceira da rotação numa cota genérica z , dadas por

$$\begin{aligned} \phi'_z = & - \frac{m_o H^3}{EJ_\omega (\alpha H)^3} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \sinh \alpha z - \alpha H \cosh \alpha z + \alpha H \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right] \\ & - \frac{M_{tH} H^2}{EJ_\omega (\alpha H)^2} \left[(\tanh \alpha H) \sinh \alpha z - \cosh \alpha z + 1 \right] \quad (II.1-11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi''_z = & - \frac{m_o H^2}{EJ_\omega (\alpha H)^2} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \cosh \alpha z - \alpha H \sinh \alpha z - 1 \right] \\ & - \frac{M_{tH} H}{EJ_\omega (\alpha H)} \left[(\tanh \alpha H) \cosh \alpha z - \sinh \alpha z \right] \quad (II.1-12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi'''_z = & - \frac{m_o H}{EJ_\omega (\alpha H)} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \sinh \alpha z - \alpha H \cosh \alpha z \right] \\ & - \frac{M_{tH}}{EJ_\omega} \left[(\tanh \alpha H) \sinh \alpha z - \cosh \alpha z \right] \quad (II.1-13) \end{aligned}$$

Da teoria de flexo-torção tem-se que

$$B_z = EJ_\omega \phi_z'' \quad (\text{II.1-14})$$

$$\sigma_{zs} = \frac{B_z \omega_s}{J_\omega} \quad (\text{II.1-15})$$

$$W_{zs} = \omega_s \phi_z' \quad (\text{II.1-16})$$

onde ω_s , σ_{zs} e W_{zs} são respectivamente a área setorial, a tensão longitudinal e o empenamento em um ponto da secção transversal, localizado a uma cota genérica z da altura do edifício e de coordenada setorial s . Como a estrutura é uniforme ao longo da altura, o diagrama de áreas setoriais é independente de z . As equações (II.1-11) e (II.1-12), combinadas com este diagrama, permitem determinar os valores de σ_{zs} e W_{zs} ao longo de toda a altura do edifício e em qualquer ponto da secção transversal.

É importante notar-se que as equações (II.1-10) a (II.1-13) podem ser colocadas em função dos parâmetros adimensionais αH e $\frac{z}{H}$, ao longo de toda a altura do edifício, como

$$\phi_z = - \frac{m_o H^4}{8EJ_\omega} \beta_{1u} - \frac{M_t H^3}{3EJ_\omega} \beta_{1c} \quad (\text{II.1-17})$$

$$\phi_z' = - \frac{m_o H^3}{6EJ_\omega} \beta_{2u} - \frac{M_t H^2}{2EJ_\omega} \beta_{2c} \quad (\text{II.1-18})$$

$$\phi_z'' = - \frac{m_o H^2}{2EJ_\omega} \beta_{3u} - \frac{M_t H}{EJ_\omega} \beta_{3c} \quad (\text{II.1-19})$$

$$\phi_z''' = \frac{m_o H}{EJ_\omega} \beta_{4u} + \frac{M_t}{EJ_\omega} \beta_{4c} \quad (\text{II.1-20})$$

onde β_{1u} , β_{2u} , β_{3u} , β_{4u} são funções dos adimensionais αH e $\frac{z}{H}$ para momento torçor uniformemente distribuído, e β_{1c} , β_{2c} , β_{3c} e β_{4c} para momento torçor concentrado no topo, dadas por

$$\begin{aligned}
 \beta_{1u} &= \frac{8}{(\alpha H)^4} \left\{ \frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \left(\cosh \alpha H \frac{z}{H} - 1 \right) - \alpha H \sinh \alpha H \frac{z}{H} + \right. \\
 &\quad \left. + (\alpha H)^2 \left[\frac{z}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H} \right)^2 \right] \right\} \\
 \beta_{2u} &= \frac{6}{(\alpha H)^3} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \sinh \alpha H \frac{z}{H} - \alpha H \cosh \alpha H \frac{z}{H} + \alpha H \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right] \\
 \beta_{3u} &= \frac{2}{(\alpha H)^2} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \cosh \alpha H \frac{z}{H} - \alpha H \sinh \alpha H \frac{z}{H} - 1 \right] \\
 \beta_{4u} &= - \frac{1}{(\alpha H)} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \sinh \alpha H \frac{z}{H} - \alpha H \cosh \alpha H \frac{z}{H} \right] \\
 \beta_{1c} &= \frac{3}{(\alpha H)^3} \left[\tanh \alpha H \left(\cosh \alpha H \frac{z}{H} - 1 \right) - \sinh \alpha H \frac{z}{H} + \alpha H \frac{z}{H} \right] \\
 \beta_{2c} &= \frac{2}{(\alpha H)^2} \left[\tanh \alpha H \left(\sinh \alpha H \frac{z}{H} \right) - \cosh \alpha H \frac{z}{H} + 1 \right] \\
 \beta_{3c} &= \frac{1}{(\alpha H)} \left[\tanh \alpha H \left(\cosh \alpha H \frac{z}{H} \right) - \sinh \alpha H \frac{z}{H} \right] \\
 \beta_{4c} &= - \left[\tanh \alpha H \left(\sinh \alpha H \frac{z}{H} \right) - \cosh \alpha H \frac{z}{H} \right]
 \end{aligned} \tag{II.1-21}$$

As expressões (II.1-21) podem ser lançadas em gráficos, permitindo com isso a fácil determinação de todos os valores relevantes na análise desses elementos estruturais, para carregamentos de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo.

Deve-se lembrar que as convenções de sinais utilizadas nessa análise são feitas para um observador colocado na origem do eixo z e olhando no seu sentido positivo. Assim são positivos os momentos torçores quando solicitam um parafuso direito, as rotações anti-horárias, os empenamentos no sentido do eixo z , as tensões longitudinais de tração e as áreas setoriais determinadas por raios vetores que giram no sentido horário (Vide *apêndice A*).

II.1.2 - Paredes de secção aberta contraventadas por lintéis

A rigidez à torção das paredes de secção aberta sem contraventamento é modificada quando se introduz ao nível dos andares um contraventamento por lintéis; esta modificação é devida à ação de flexão dos mesmos. Com o aumento de rigidez da estrutura, os empenamentos da secção transversal diminuem e conseqüentemente haverá uma diminuição das tensões axiais.

Para esta análise com contraventamento a estrutura será particularizada a uma parede de secção aberta composta por um único canal, como mostra a figura (II.1-02).

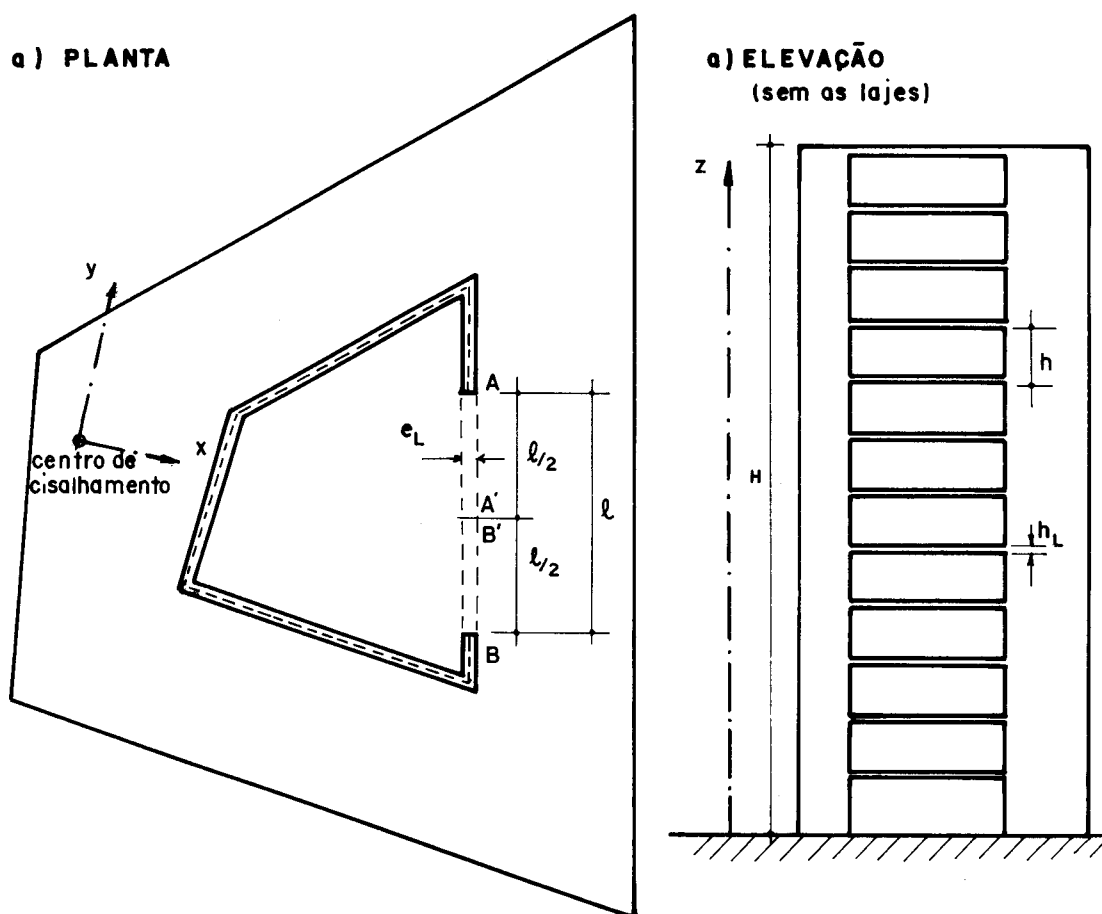


FIG. II.1-02 - EDIFÍCIO FORMADO POR UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA CONTRAVENTADA POR LINTÉIS

O efeito do lintel de contraventamento é calculado com as hipóteses de que o mesmo é engastado nas paredes e que o ponto de momento nulo coincide com o ponto médio do seu vão. Fazendo-se um cor

te nesse ponto, aparecem como incógnitas forças cortantes, que, por serem de mesmo valor e de sentidos opostos, não possuem resultante e nem produzem momento em torno dos eixos x ou y , mas produzem um bimomento cujo efeito é restringir o empenamento da secção transversal. A configuração de deslocamento da estrutura cortada com um momento torçor positivo aplicado é a seguinte:

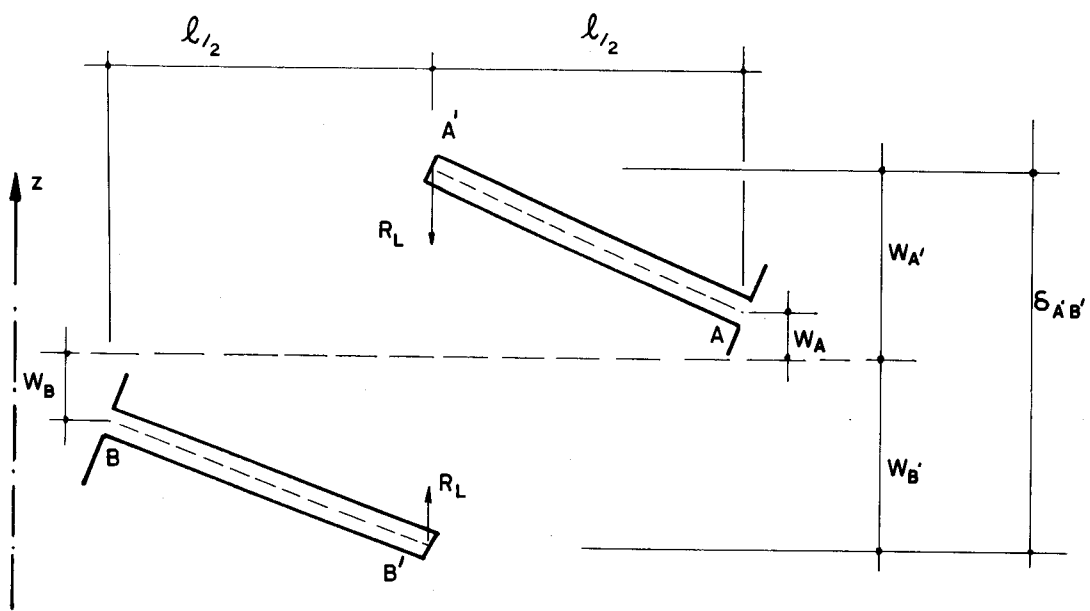


FIG. II 1-03 - DESLOCAMENTO DO LINTEL

Os deslocamentos verticais do ponto médio do lintel A' e B' , no andar j de cota z_j , são dados de acordo com a equação (II.1-16) como

$$W_{A'} = \omega_{A'} \phi'_{z_j} \quad (\text{II.1-22})$$

$$W_{B'} = \omega_{B'} \phi'_{z_j} \quad (\text{II.1-23})$$

A partir das equações (II.1-22) e (II.1-23) o deslocamento relativo dos pontos A' e B' pode ser determinado por

$$\delta_{A'B'} = W_{A'} - W_{B'} = (\omega_{A'} - \omega_{B'}) \phi'_{z_j}$$

ou

$$\delta_{A'B'} = -(\omega_{B'} - \omega_{A'}) \phi'_{z_j} \quad (\text{II.1-24})$$

Para este tipo de parede, tem-se que a diferença entre

as áreas setoriais de B' e A' é igual ao dobro da área interna à linha esqueleto da secção transversal, denominada A_e . Com isto vem

$$\delta_{A'B'} = - 2A_e \phi'_{zj} \quad (\text{II.1-25})$$

Como na estrutura real os pontos A' e B' coincidem, o seu deslocamento relativo deve ser reduzido a zero pelas forças constantes R_L , consideradas positivas no sentido indicado, e obtidas por

$$R_L = - \frac{24EJ_L}{l^3} A_e \phi'_{zj} \quad (\text{II.1-26})$$

onde l é o comprimento do lintel e J_L o momento de inércia da sua secção transversal. Considerando-se um lintel de espessura e_L (normalmente a mesma espessura da parede à qual é engastado) e altura h_L , o momento de inércia J_L é

$$J_L = \frac{e_L h_L^3}{12} \quad (\text{II.1-27})$$

De acordo com a teoria de flexo-torção, o bimomento produzido por uma força concentrada na direção longitudinal, positiva se de tração (concordante com z), aplicada à secção transversal, é o produto desta pela área setorial do ponto de aplicação.

Logo o bimomento produzido pelas forças R_L é dado por

$$B_L = R_L (\omega_B - \omega_A) \quad (\text{II.1-28})$$

Substituindo-se a equação (II.1-26) em (II.1-28) e lembrando-se que a diferença das áreas setoriais dos pontos B' e A' é igual ao dobro de A_e , obtém-se

$$B_L = - K^* \phi'_{zj} \quad (\text{II.1-29})$$

onde

$$K^* = \frac{48EJ_L}{l^3} A_e^2 \quad (\text{II.1-30})$$

O efeito do lintel pode ser incluído na análise, considerando-se a relação entre a secção abaixo e acima do mesmo. Essa relação pode ser escrita matricialmente como

$$\begin{Bmatrix} \phi_{zj}^+ \\ \phi_{zj}'^+ \\ B_{zj}^+ \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & K^* & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{zj}^- \\ \phi_{zj}'^- \\ B_{zj}^- \end{Bmatrix} \quad (\text{II.1-31})$$

onde o sinal mais (+) indica valores acima do lintel, e o menos (-), valores abaixo do mesmo.

Como a análise aqui desenvolvida baseia-se na técnica do meio contínuo, os membros discretos serão substituídos por um meio contínuo equivalente. Chamando-se de r_z à intensidade da força cortante uniformemente distribuída no meio contínuo equivalente, temos que o bimoto produzido pelo lintel, num elemento de parede de secção aberta de altura dz , é

$$dB_L = r_z dz (\omega_B, - \omega_A,') \quad (\text{II.1-32})$$

Da teoria de flexo-torção sabe-se que a derivada do bimoto é igual a menos o momento de flexo-torção. Portanto, da equação (II.1-32), o momento de flexo-torção proveniente da ação do lintel, denominado M_{ftr} , é dado por

$$M_{ftr} = - r_z (\omega_B, - \omega_A,') \quad (\text{II.1-33})$$

Adicionando-se o efeito produzido pelo lintel na equação (II.1-04), chega-se a

$$M_t = GJ_t \phi_z' - EJ_\omega \phi_z''' - r_z (\omega_B, - \omega_A,') \quad (\text{II.1-34})$$

onde J_t e J_ω são respectivamente o momento de inércia à torção e o momento de inércia setorial da parede de secção aberta, desprezando-se a contribuição do lintel.

Derivando-se uma vez a equação (II.1-34), tem-se

$$m_z = GJ_t \phi_z'' - EJ_\omega \phi_z'''' - \frac{dr}{dz} (\omega_B, - \omega_A,') \quad (\text{II.1-35})$$

onde m_z é o momento torçor distribuído.

Considerando-se que o lintel está espaçado uniformemente de h ao longo da altura do edifício, a força cortante do meio contínuo equivalente é obtida de (II.1-26) por

$$r_z = - \frac{24EJ_L}{h^3} A_e \phi'_z \quad (\text{II.1-36})$$

Rearranjando-se a equação (II.1-36) em função do valor definido em (II.1-30), chega-se a

$$r_z = - \frac{K^*}{2A_e h} \phi'_z \quad (\text{II.1-37})$$

Substituindo-se em (II.1-35) a derivada de (II.1-37) e lembrando-se que a diferença das áreas setoriais de B' e A' é o dobro de A_e , tem-se

$$m_z = (GJ_t + \frac{K^*}{h}) \phi''_z - EJ_\omega \phi'''_z \quad (\text{II.1-38})$$

A equação (II.1-38) é idêntica à (II.1-05), bastando apenas definir-se α da seguinte maneira:

$$\alpha = \sqrt{\frac{GJ_t + \frac{K^*}{h}}{EJ_\omega}} \quad (\text{II.1-39})$$

Devido à semelhança da equação diferencial que governa o comportamento à torção das *paredes de secção aberta com contraventamento* e das *paredes de secção aberta sem contraventamento*, todas as expressões e considerações relacionadas no item II.1.1 permanecem válidas.

II.1.3 - Paredes de secção aberta não uniformes com a altura do edifício, com ou sem contraventamento

Considerar-se-ão como *paredes de secção aberta não uniformes* as paredes formadas ao longo da altura por um número finito de segmentos de paredes de secção aberta uniformes, com mudança em alguns andares das suas secções transversais.

É conveniente para este tipo de análise aplicar-se o *processo da matriz de transferência*. Inicialmente obtêm-se as relações entre os *vetores de estado*, aqui definidos como os valores de ϕ_z , ϕ'_z e B_z , nas extremidades de cada segmento uniforme, e, usando-se as condições de compatibilidade das junções, calcula-se a matriz de transferên

cia ao longo de toda a altura do edifício.

A equação diferencial que governa o comportamento de um segmento de parede de secção aberta uniforme é a mesma que (II.1-05) ou (II.1-38), respectivamente para parede de secção aberta sem contraventamento e com contraventamento. Como já foi dito, estas equações diferem apenas na definição do parâmetro α .

As condições de contorno são dadas para um segmento de parede de secção aberta uniforme genérico i , de altura H_i , por

$$\left. \begin{aligned} \phi_0^i \\ \phi_0'^i \\ EJ_\omega \phi_0''^i = B_0^i \\ GJ_t \phi_0'^i - EJ_\omega \phi_0'''^i = M_{t_0}^i \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.1-40)}$$

onde ϕ_0^i , $\phi_0'^i$, B_0^i e $M_{t_0}^i$ são respectivamente os valores na base do segmento da rotação em torno do eixo z , sua primeira derivada, bimomento e momento torçor. A matriz de transferência relaciona o vetor de estado $\{Z_z^i\}$ na altura z , onde z é definido no intervalo fechado de 0 a H_i , com o vetor de estado na base do segmento $\{Z_0^i\}$ da seguinte maneira:

$$\{Z_z^i\} = \begin{bmatrix} A_z^i \end{bmatrix} \{Z_0^i\} + \{D_z^i\} \quad \text{(II.1-41)}$$

onde

$$\{Z_z^i\} = \begin{bmatrix} \phi_z^i \\ \phi_z'^i \\ B_z^i \end{bmatrix} \quad \text{(II.1-42)}$$

$$\{Z_0^i\} = \begin{bmatrix} \phi_0^i \\ \phi_0'^i \\ B_0^i \end{bmatrix} \quad \text{(II.1-43)}$$

e as matrizes $\begin{bmatrix} A_z^i \end{bmatrix}$ e $\{D_z^i\}$ são determinadas como se descreve a seguir. A solução da equação diferencial do problema para carre

gamento de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo é dada pela equação (II.1-06), cujas constantes, determinadas pelas condições de contorno (II.1-40), são

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 &= \phi_0^i - \frac{B_0^i}{\alpha_i^2 E^i J_\omega^i} + \frac{m_0^i}{\alpha_i^4 E^i J_\omega^i} \\
 C_2 &= \frac{M_{t_0}^i}{\alpha_i^2 E^i J_\omega^i} \\
 C_3 &= \frac{B_0^i}{\alpha_i^2 E^i J_\omega^i} - \frac{m_0^i}{\alpha_i^4 E^i J_\omega^i} \\
 C_4 &= \frac{\phi_0^i}{\alpha_i} - \frac{M_{t_0}^i}{\alpha_i^3 E^i J_\omega^i}
 \end{aligned} \right\} \quad (II.1-44)$$

onde m_0^i é o momento torçor uniformemente distribuído e α_i é definido, respectivamente para paredes de secção aberta sem contraventamento e com contraventamento, como

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{G^i J_t^i}{E^i J_\omega^i}} \quad (II.1-45a)$$

ou

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{G^i J_t^i + \frac{K_i^*}{h_i}}{E^i J_\omega^i}} \quad (II.1-45b)$$

onde J_t^i e J_ω^i são os valores do momento de inércia à torção e do momento de inércia setorial da parede de secção aberta (desprezando-se a contribuição do lintel), h_i é o espaçamento dos lintéis e K_i^* é o valor dado por (II.1-30). O índice i nesses valores indica o segmento uniforme i .

Utilizando-se (II.1-14), (II.1-41) e (II.1-44), chega-se ao seguinte resultado para as matrizes $[A_z^i]$ e $\{D_z^i\}$:

$$\left[A_z^i \right] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sinh \alpha_i z}{\alpha_i} & \frac{\cosh \alpha_i z - 1}{\alpha_i^2 E^i J_w^i} \\ 0 & \cosh \alpha_i z & \frac{\sinh \alpha_i z}{\alpha_i E^i J_w^i} \\ 0 & E^i J_w^i \alpha_i \sinh \alpha_i z & \cosh \alpha_i z \end{bmatrix} \quad (II.1-46)$$

$$\left\{ D_z^i \right\} = \frac{M_{t0}^i H_i}{\alpha_i H_i} \left\{ \begin{array}{l} \frac{H_i^2}{E^i J_w^i \alpha_i H_i} \left(\frac{z}{H_i} - \frac{\sinh \alpha_i z}{\alpha_i H_i} \right) \\ \frac{H_i}{E^i J_w^i \alpha_i H_i} (1 - \cosh \alpha_i z) \\ - \sinh \alpha_i z \end{array} \right\} - \quad (II.1-47)$$

$$- \frac{m_0^i H_i^2}{(\alpha_i H_i)^2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{H_i^2}{E^i J_w^i} \left[\frac{(\cosh \alpha_i z - 1)}{(\alpha_i H_i)^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H_i} \right)^2 \right] \\ \frac{H_i}{E^i J_w^i} \left[\frac{\sinh \alpha_i z}{\alpha_i H_i} - \frac{z}{H_i} \right] \\ \cosh \alpha_i z - 1 \end{array} \right\}$$

Como os valores de m_0^i e M_{t0}^i podem ser determinados por uma análise estática para qualquer segmento uniforme i da estrutura, as matrizes $\left[A_z^i \right]$ e $\left\{ D_z^i \right\}$ podem ser escritas para qualquer cota z dentro deste segmento.

As condições de compatibilidade requerem que o vetor de estado nas extremidades de um segmento genérico seja igual aos dos seus adjacentes. Aplicando-se recursivamente esta relação, calcula-se o vetor de estado na extremidade de um segmento i em função do vetor correspondente à base do primeiro segmento como

$$\{Z_{H_i}^i\} = \left[\overline{A_{H_i}^i} \right] \{Z_O^1\} + \{ \overline{D_{H_i}^i} \} \quad (\text{II.1-48})$$

onde $\{Z_{H_i}^i\}$ e $\{Z_O^1\}$ são respectivamente os vetores de estado no topo do i -ésimo segmento e na base do primeiro; as outras matrizes são definidas por:

$$\left. \begin{aligned} \left[\overline{A_{H_i}^i} \right] &= \left[A_{H_i}^i \right] \left[\overline{A_{H_{i-1}}^{i-1}} \right] \\ \left[\overline{A_{H_1}^1} \right] &= \left[A_{H_1}^1 \right] \\ \{ \overline{D_{H_i}^i} \} &= \left[A_{H_i}^i \right] \{ \overline{D_{H_{i-1}}^{i-1}} \} + \{ D_{H_i}^i \} \\ \{ \overline{D_{H_1}^1} \} &= \{ D_{H_1}^1 \} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.1-49})$$

onde $\left[\overline{A_{H_i}^i} \right]$ e $\left[\overline{A_{H_1}^1} \right]$ são os valores dados por (II.1-46) para o topo do i -ésimo e do primeiro segmento, e $\{ \overline{D_{H_i}^i} \}$ e $\{ \overline{D_{H_1}^1} \}$ os valores dados por (II.1-47) para o topo dos mesmos.

Para uma estrutura de segmentos uniformes, engastada na base e livre no topo, as condições de contorno são

$$\left. \begin{aligned} \phi_O^1 &= 0 \\ \phi_O'^1 &= 0 \\ B_{H_n}^n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.1-50})$$

Usando-se a equação (II.1-50) juntamente com (II.1-48), determina-se o valor do bimomento na base como

$$B_O^1 = - \frac{\overline{D_{H_n}^n} (3)}{\overline{A_{H_n}^n} (3,3)} \quad (\text{II.1-51})$$

onde $\overline{D_{H_n}^n} (3)$ é o terceiro elemento de $\{ \overline{D_{H_n}^n} \}$ e $\overline{A_{H_n}^n} (3,3)$ é o elemen

to localizado na terceira linha e na terceira coluna da matriz $\begin{bmatrix} \overline{A}^n \\ H_n \end{bmatrix}$.

Conhecendo-se o vetor de estado na base do primeiro segmento, a equação (II.1-48) pode ser aplicada da base para o topo, para determinar-se o vetor de estado nas extremidades de todos os segmentos da estrutura. Com estes valores e com a equação (II.1-41), calcula-se o vetor de estado ao longo de toda a altura do edifício, o que permite uma análise completa da estrutura.

Deve-se notar que uma estrutura com carregamento de momento torçor uniformemente distribuído por trechos ao longo da altura do edifício pode ser analisada por este processo, seja ela de geometria uniforme ou não com a altura.

II.1.4 - Gráficos para projetos

Para o caso de estruturas formadas por paredes de seção aberta, submetidas a carregamento de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo, as expressões (II.1-21) são facilmente representáveis em gráficos em função dos fatores αH e $\frac{z}{H}$, ao longo de toda a altura do edifício. O uso destes elementos, juntamente com as equações de (II.1-17) à (II.1-20), permite um cálculo rápido da rotação em torno do eixo z e de suas derivadas até ordem três. Estes gráficos podem ser usados tanto para paredes de seção totalmente aberta como para estruturas cuja seção aberta é parcialmente fechada por lintéis, desde que neste último caso seja feita a representação contínua dos lintéis e que a estrutura em planta seja como a mostrada na figura (II.1-02). Os gráficos das expressões (II.1-21) são apresentados nas figuras de (II.1-04) a (II.1-11).

Com o cálculo da primeira derivada da rotação, através de gráficos, e com a equação (II.1-16), tem-se o valor do empenamento em qualquer ponto da seção transversal ao longo de toda a altura do edifício. No caso de haver contraventamento com lintéis, a primeira derivada combinada com a equação (II.1-26) fornece a força cortante nos mesmos, e conseqüentemente o momento fletor nas suas extremidades.

O valor médio do bimomento ao nível dos andares é obtido a partir da determinação gráfica da segunda derivada da rotação juntamente com a equação (II.1-14). Utilizando-se a equação (II.1-15) com

o valor do bimomento médio, determina-se a tensão longitudinal média em qualquer ponto da secção transversal. Com a equação (II.1-29) calcula-se o bimomento produzido pelo lintel num andar genérico, que com o bimomento médio, permite o cálculo do mesmo abaixo e acima do lintel como

$$B^+ = B^M - \frac{B_L}{2} \quad (\text{II.1-52})$$

$$B^- = B^M + \frac{B_L}{2} \quad (\text{II.1-53})$$

onde B^+ e B^- são respectivamente os valores do bimomento em secções abaixo e acima do lintel, B^M é o bimomento médio e B_L é o bimomento produzido pelo lintel.

As expressões anteriores são válidas para os lintéis localizados ao nível do primeiro ao penúltimo andar. Para o lintel do topo do edifício tem-se

$$B^- = B_L \quad (\text{II.1-54})$$

É importante notar, nos exemplos resolvidos a seguir, que o fator αH é um parâmetro significativo na magnitude das tensões e deslocamentos longitudinais, e que os lintéis introduzidos para contraventamento aumentam consideravelmente esse fator.

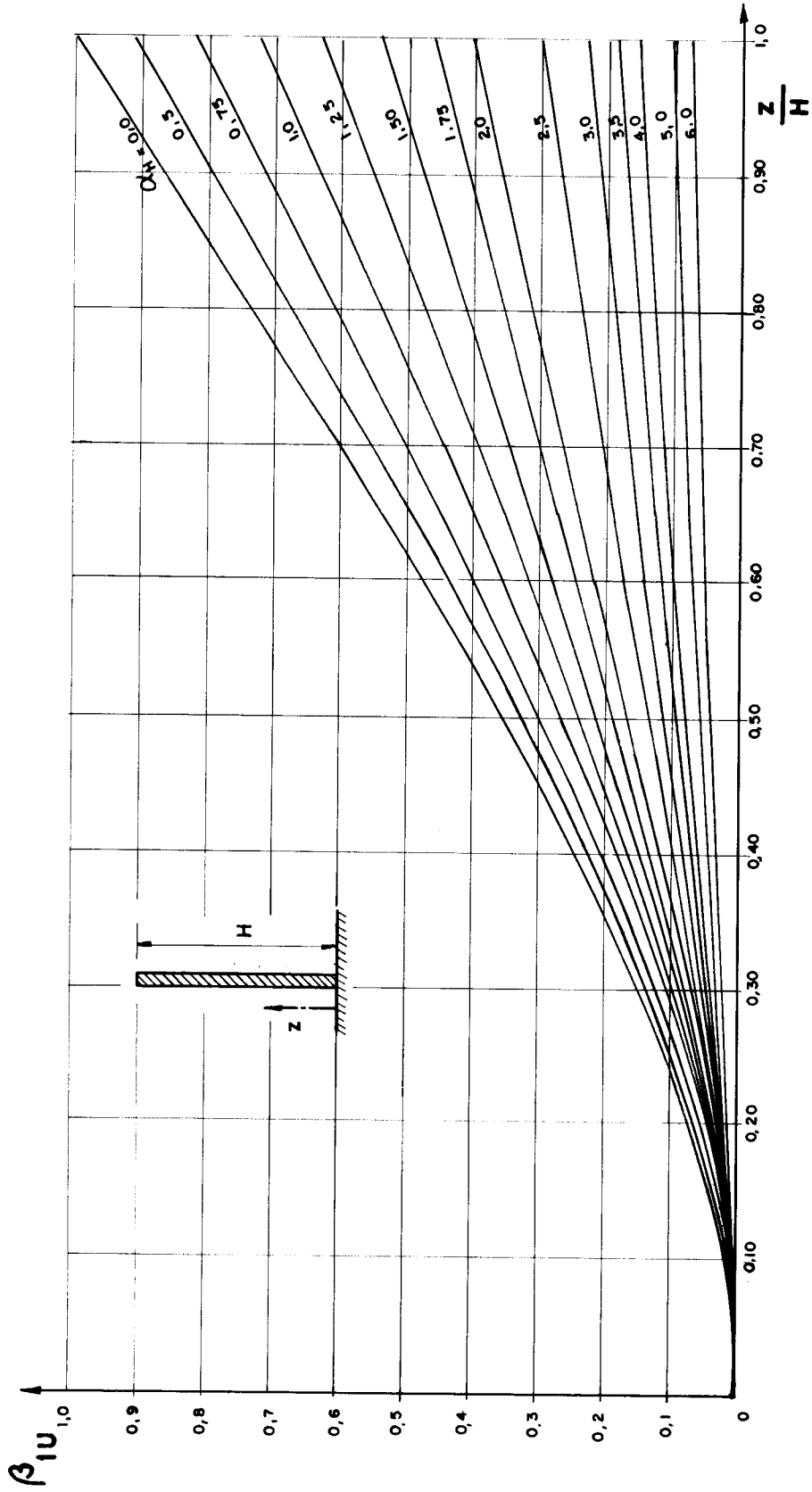


FIG. II. 1-04 - GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO.

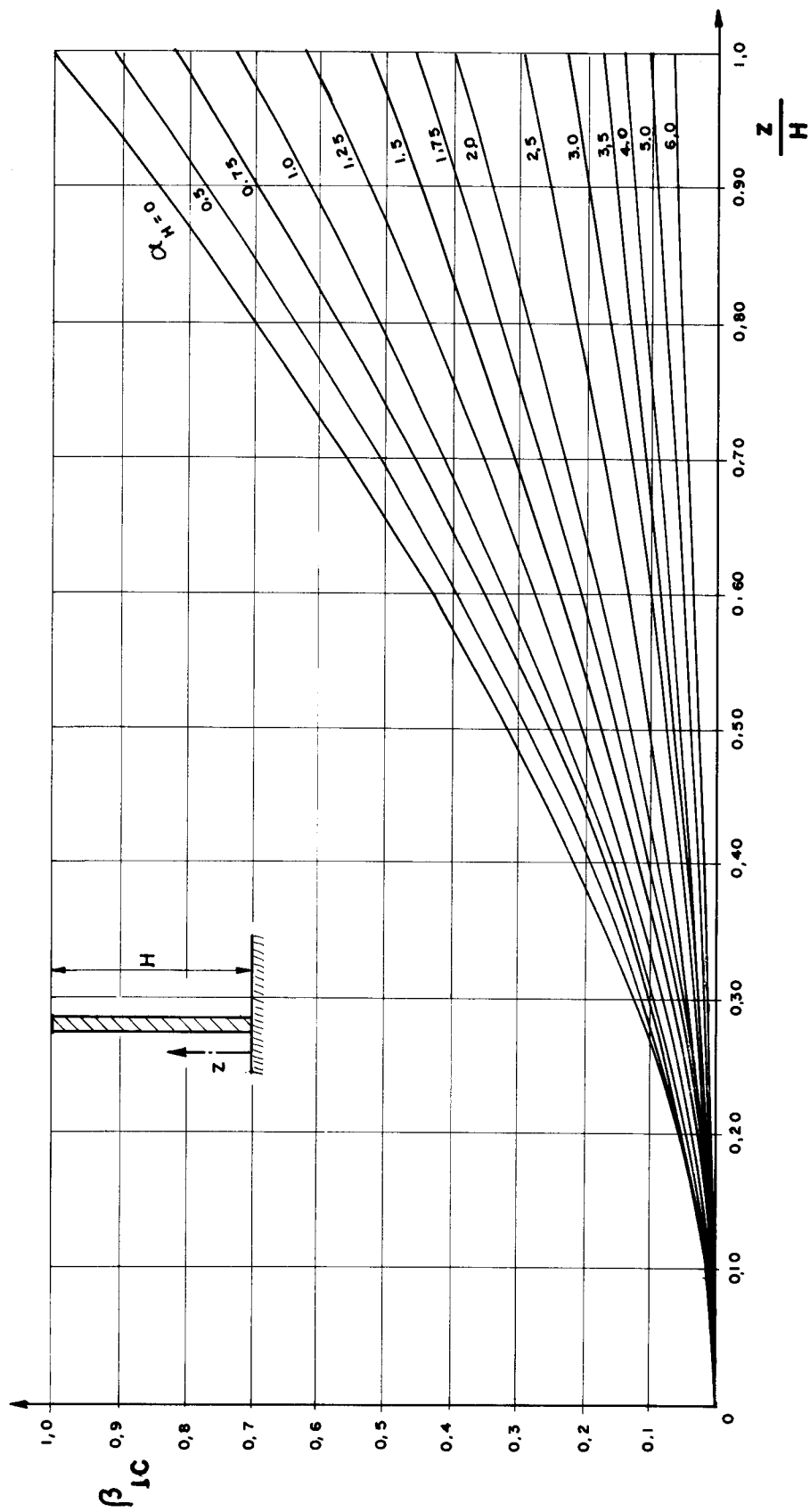


FIG. II. 1-05 - GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR CONCENTRADO NO TOPO

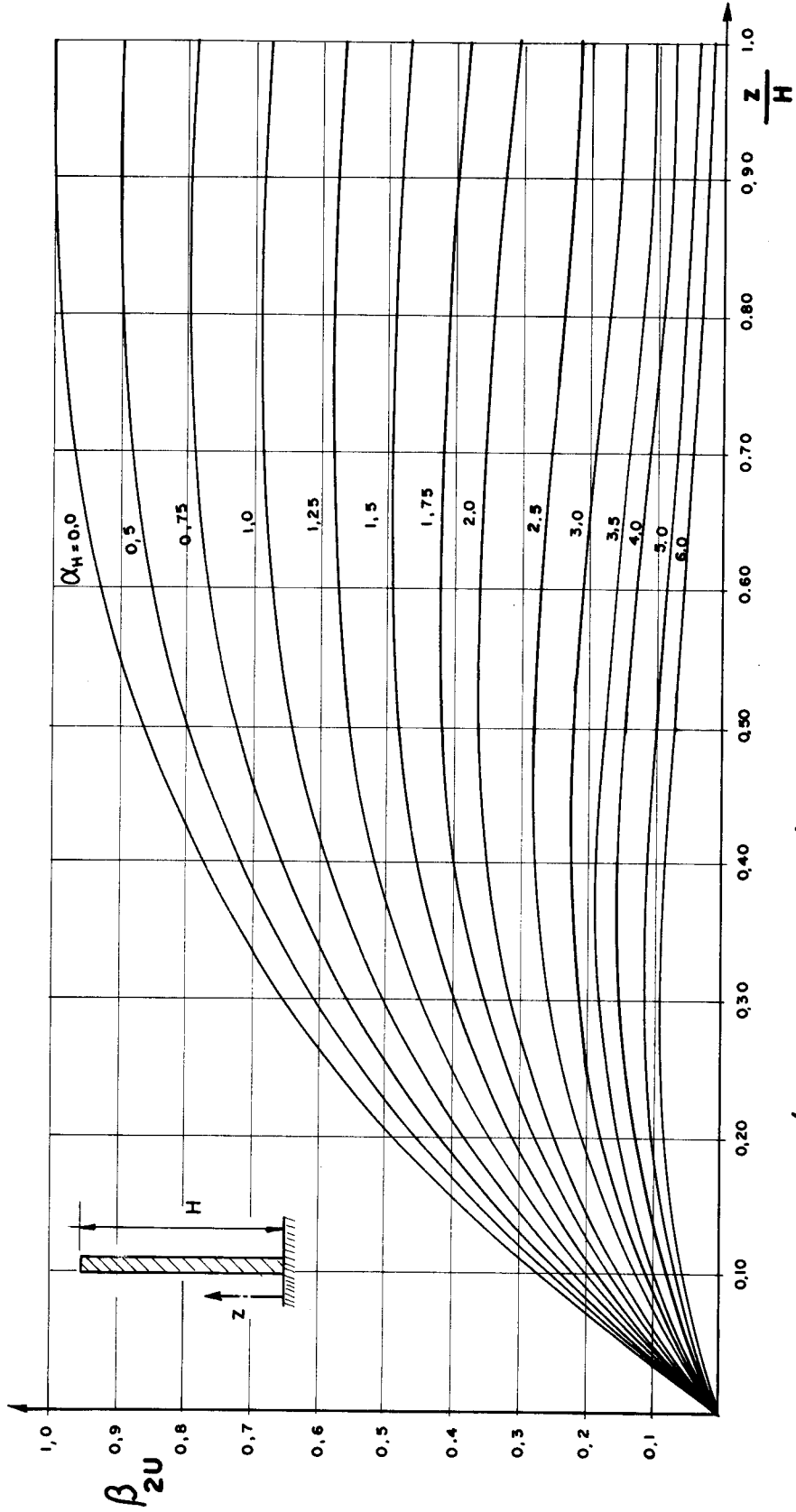


FIG. II. 1-06 - GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA PRIMEIRA DERIVADA DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO.

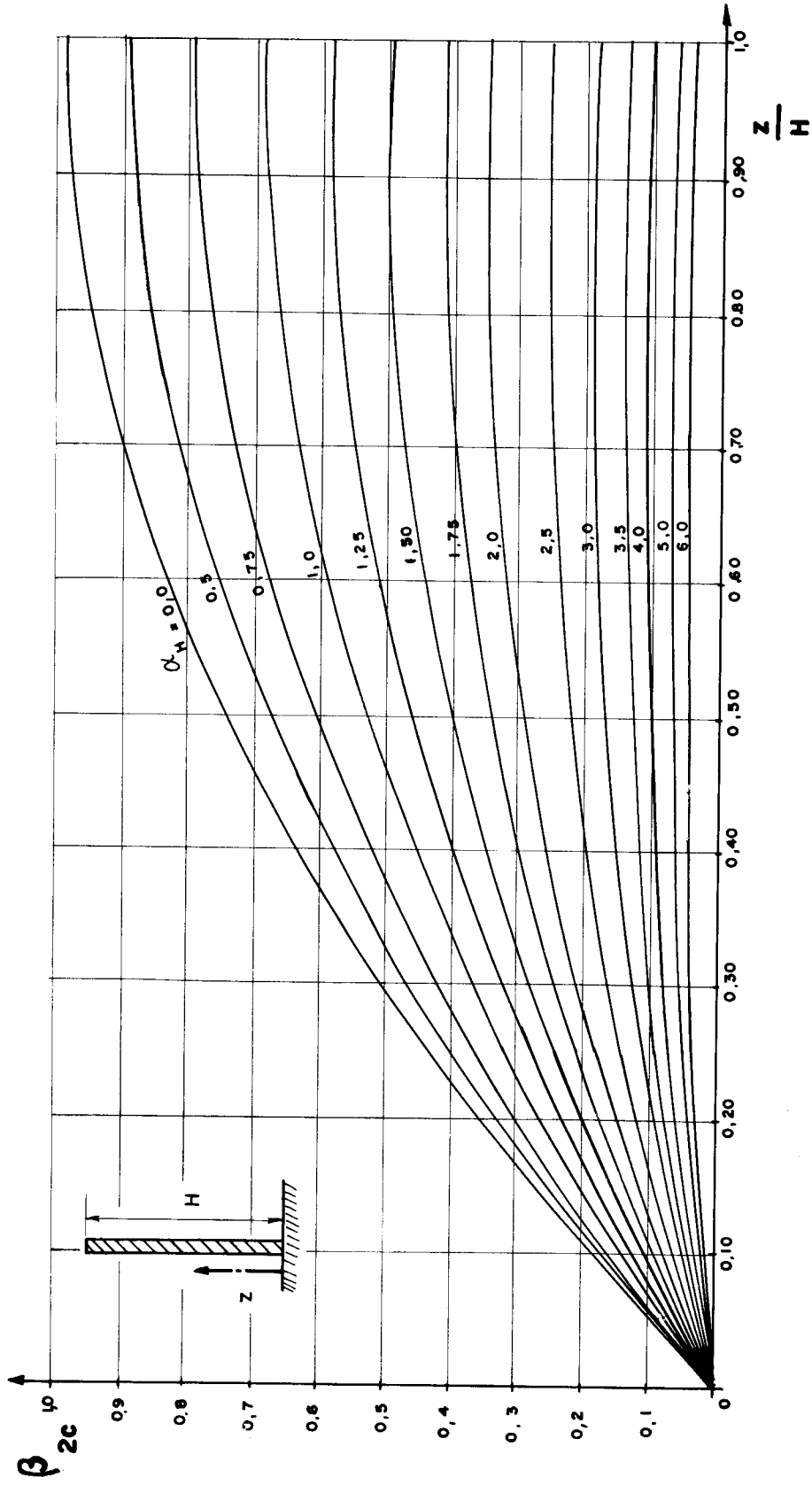


FIG.II 1-07 - GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA PRIMEIRA DERIVADA DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR CONCENTRADO NO TOPO

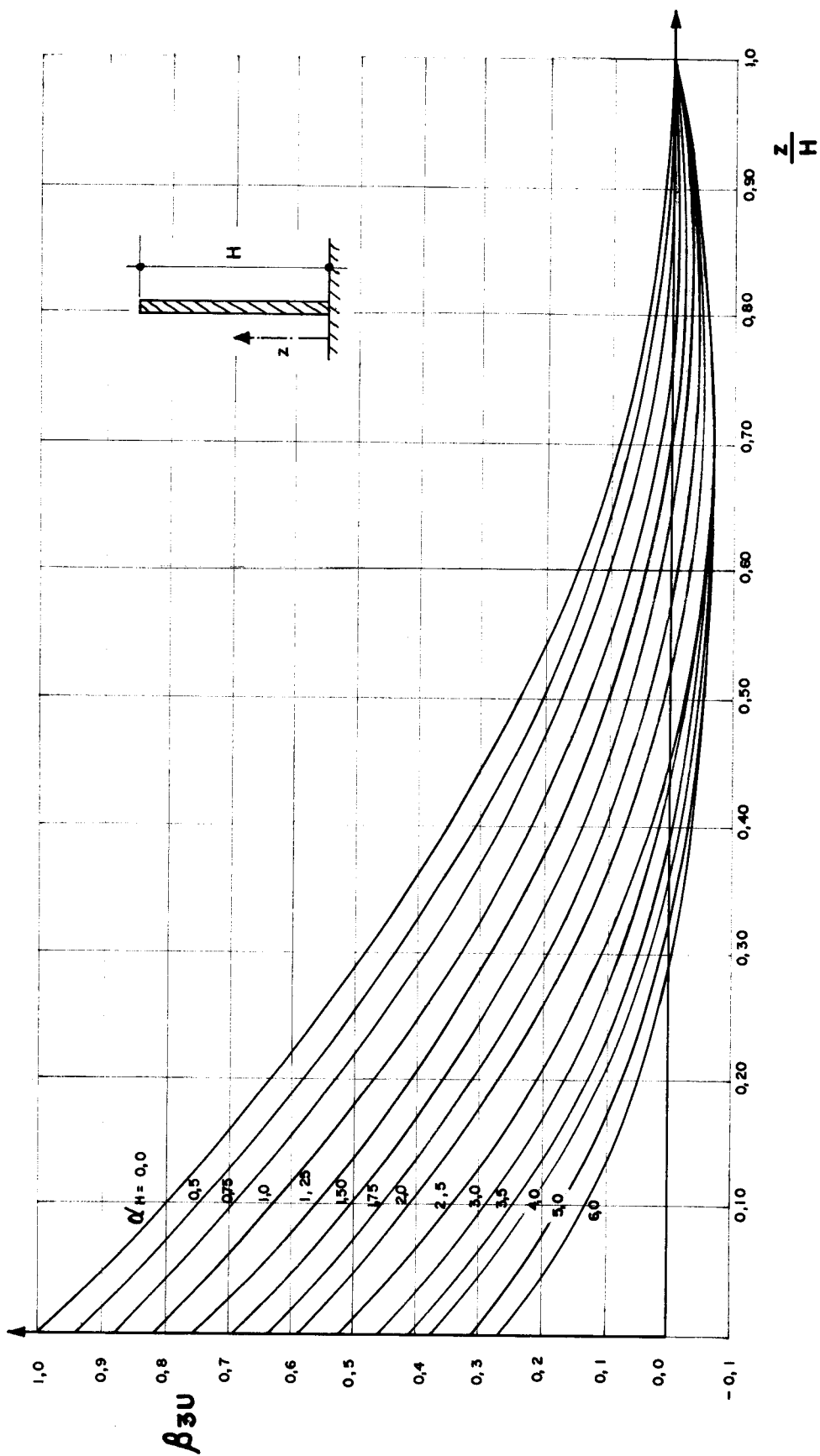


FIG. II.1-08 - GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA SEGUNDA DERIVADA DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO.

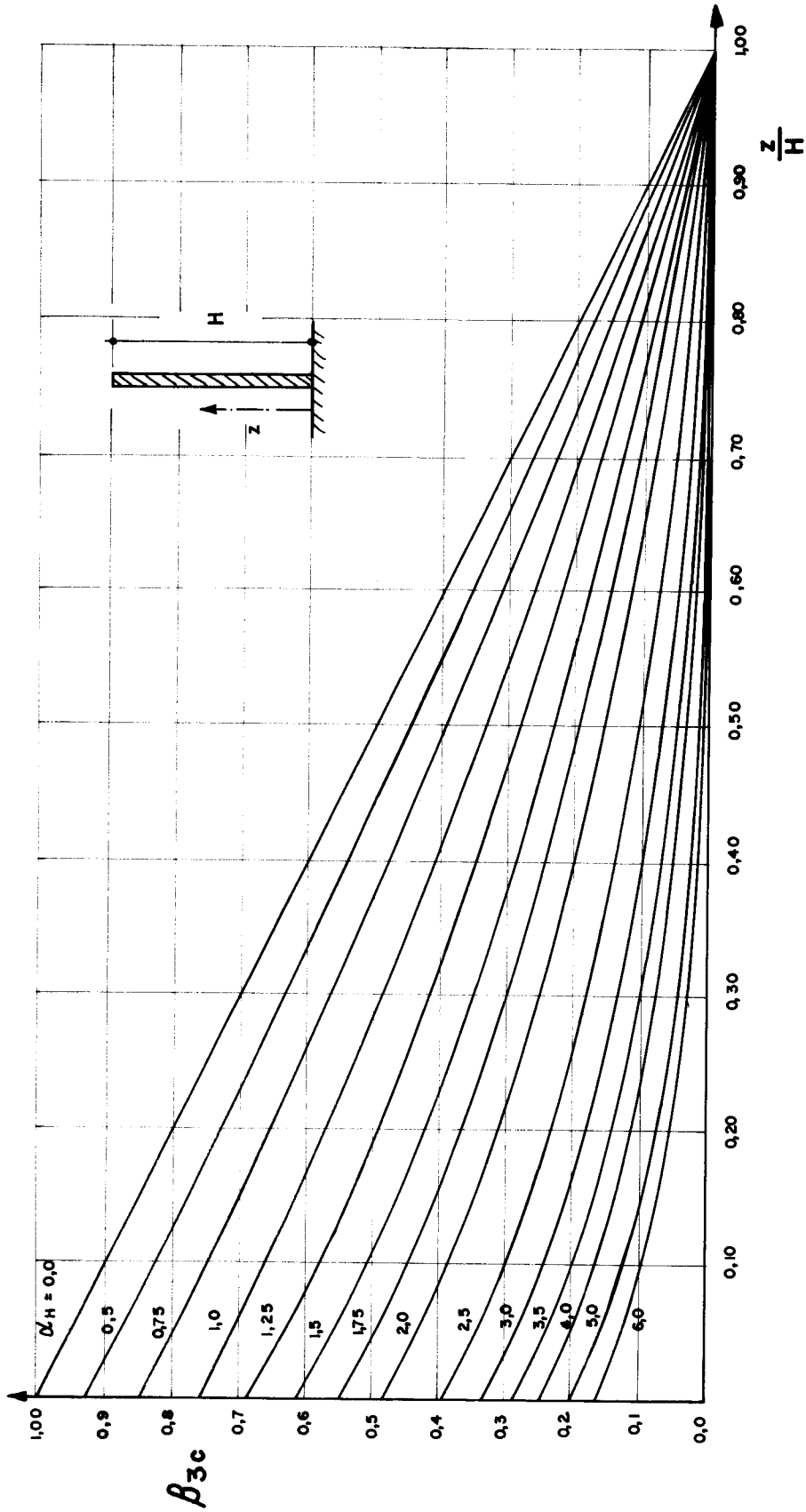


FIG. II.1-09 — GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA SEGUNDA DERIVADA DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR CONCENTRADO NO TOPO

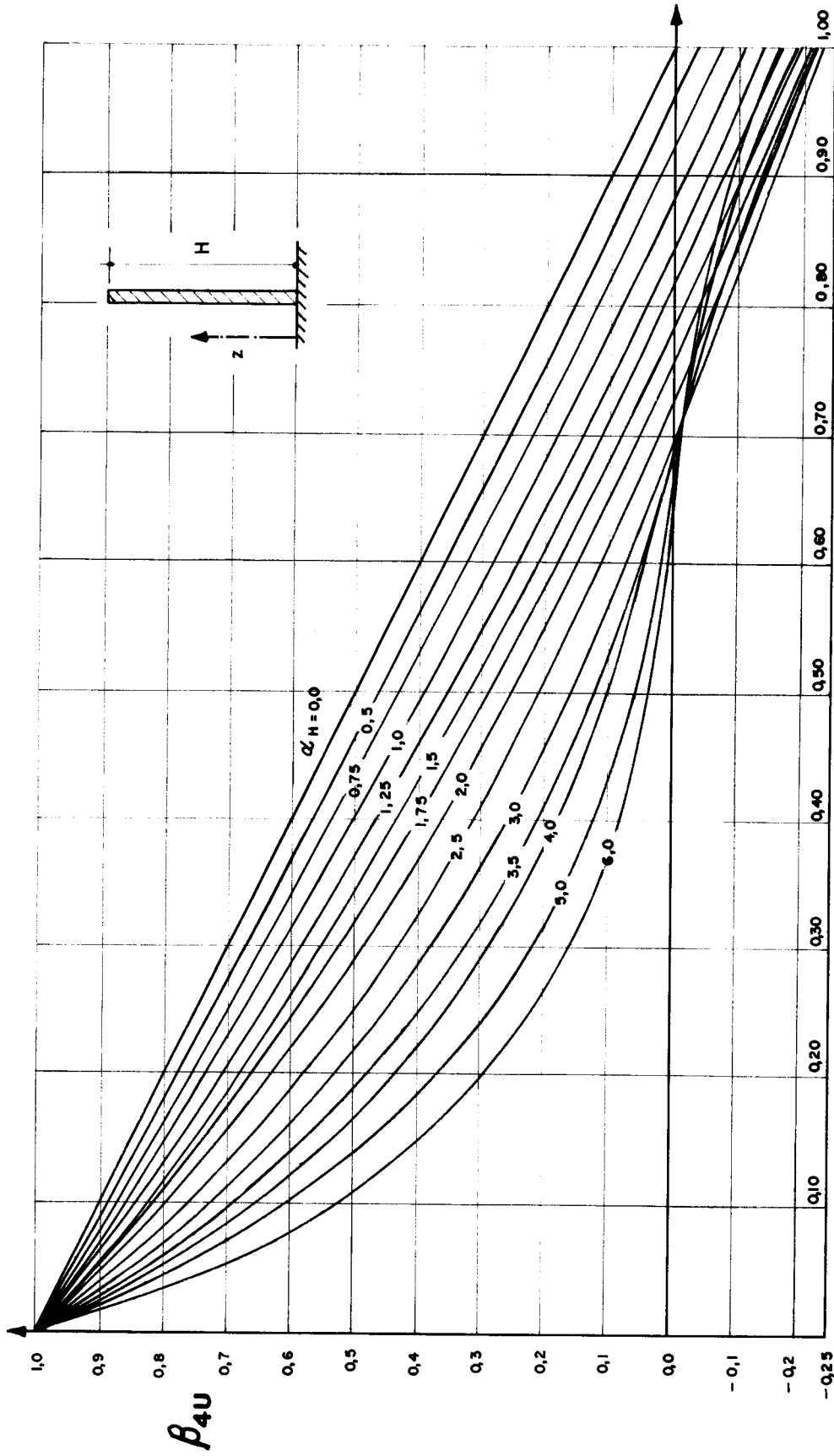


FIG. II.1-10—GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA TERCEIRA DERIVADA DA
 ROTACION DEVIDA A MOMENTO TORÇOR UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO

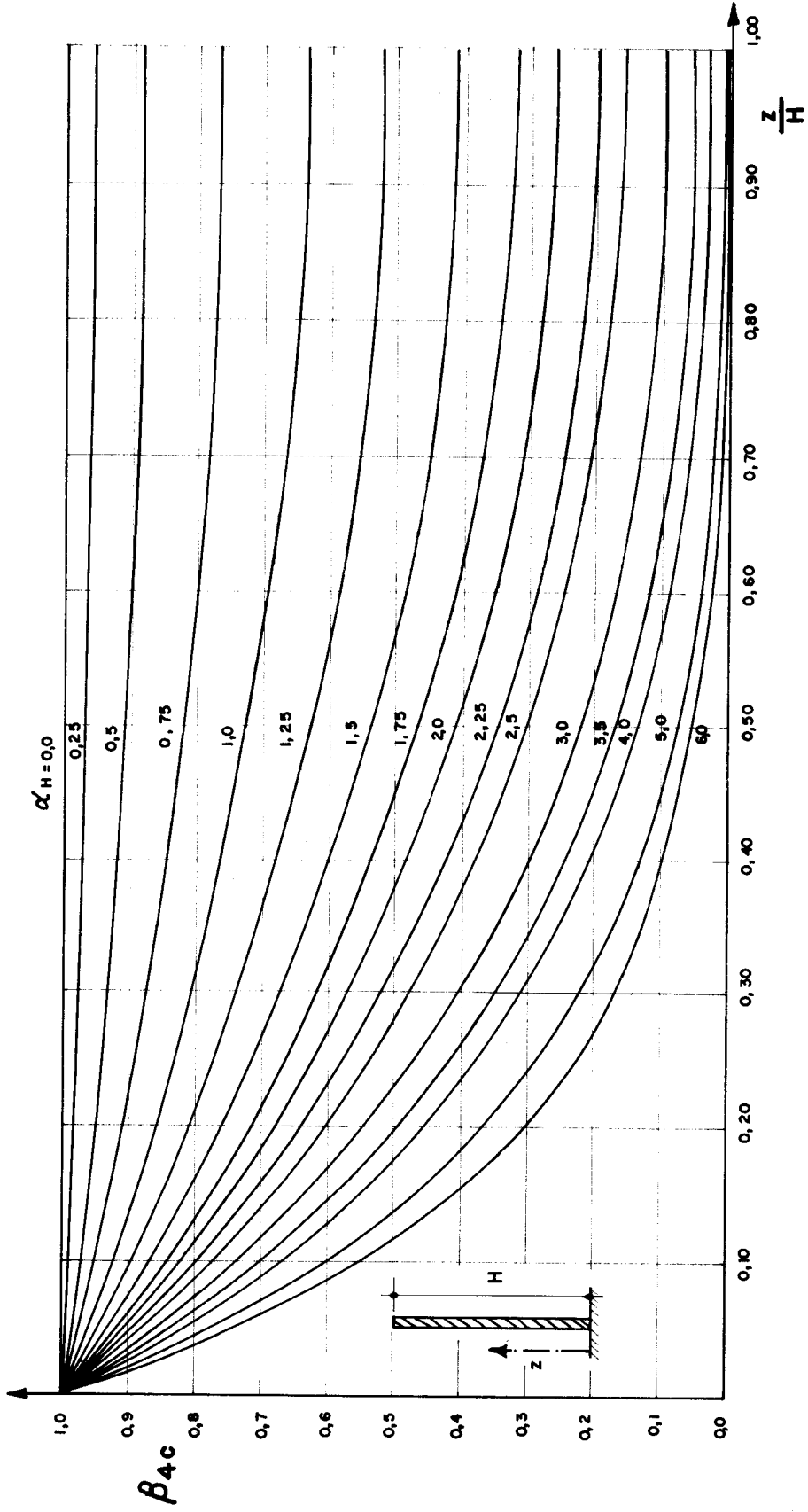


FIG. II.1-II-GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA TERCEIRA DERIVADA DA ROTAÇÃO DEVIDA A MOMENTO TORÇOR CONCENTRADO NO TOPO

II.1.5 - Exemplo 1

A figura (II.1-12) mostra uma estrutura de quinze andares de 12,5 ft de pé direito, composta por uma única *parede de secção aberta uniforme* ao longo de toda a altura do edifício.

Serão apresentadas duas análises dessa estrutura: a primeira com a parede de secção aberta sem contraventamento e a segunda com contraventamento, ao nível dos andares, por lintéis de mesma espessura que as paredes e com 1,5 ft de altura.

Os carregamentos externos atuantes serão um momento torçor uniformemente distribuído de $24922,50 \text{ lb ft/ft}$ e um momento torçor concentrado no topo de $155765,0 \text{ lb ft}$, ambos positivos. Para o módulo de elasticidade tomar-se-á o valor de $5,76 \times 10^8 \text{ lb/ft}^2$ e, para o coeficiente de Poisson, o valor de $0,15$.

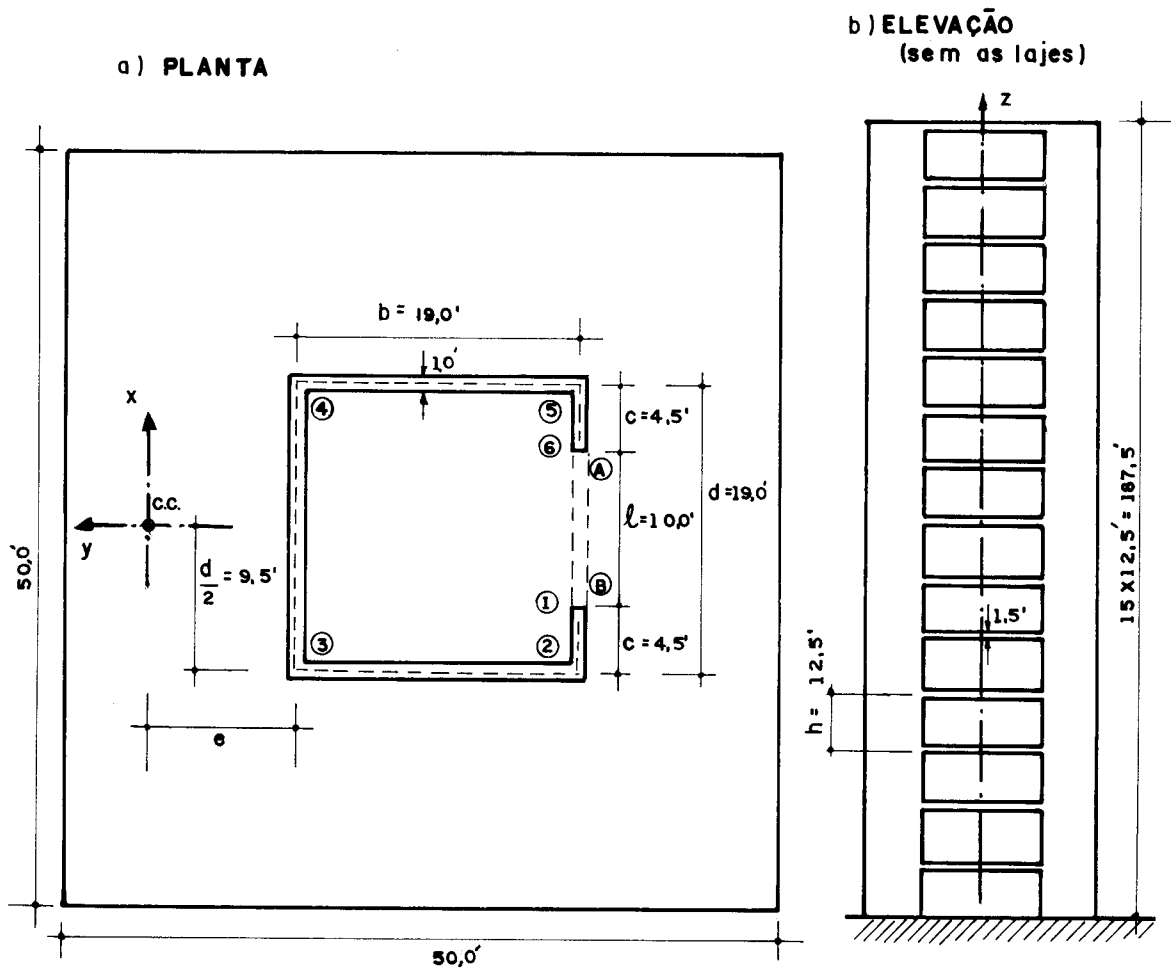


FIG.1-12-EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA UNIFORME

As unidades inglesas foram aqui utilizadas para permitir a comparação dos resultados com os do artigo tomado como base no desenvolvimento deste item.

Os números dentro das circunferências na figura (II.1-12) indicam os nós para os quais serão determinados as tensões e deslocamentos longitudinais.

Passa-se a seguir à determinação do *centro de cisalhamento*, *diagrama de áreas setoriais*, *momento de inércia setorial* e *momento de inércia à torção* da parede de secção aberta, desprezando-se a contribuição dos lintéis usados no contraventamento. Para a estrutura da figura (II.1-12) o centro de cisalhamento e o momento de inércia setorial são determinados analiticamente por

$$e = \frac{1}{J_y} \frac{b}{4} \left[btd^2 + \frac{2td^3}{3} - \frac{tl^2}{3} (3d - l) \right] \quad (\text{II.1-55})$$

$$J_\omega = 2t \left\{ \frac{d^3 e^2}{24} + \frac{d^2 e^3}{12} + \frac{d^2 (b-e)^3}{12} + \frac{c}{6} \left[\frac{d}{2} (b-e) \left[\frac{3d}{2} (b-e) + c(b+e) \right] + \left[\frac{d}{2} (b-e) + c(b+e) \right] \left[\frac{3d}{2} (b-e) + 2c(b+e) \right] \right\} \quad (\text{II.1-56})$$

onde J_y é o momento de inércia com relação ao eixo y .

Quando a parede de secção aberta for de geometria mais complicada, como por exemplo a da figura (II.1-02), a determinação manual dos valores setoriais fica trabalhosa, sendo normalmente, neste caso, utilizados programas computacionais, como se mostra no capítulo III.

a) Centro de cisalhamento

$$J_y = \frac{1,0 \times (19,0)^3}{12} + 2 \times 1,0 \times 19,0 \times (9,5)^2 + 2 \times 1,0 \times 4,5 \times (7,25)^2 + \frac{2 \times 1,0 \times (4,5)^3}{12} = 4489,33 \text{ ft}^4$$

Da equação (II.1-55)

$$e = \frac{1}{4489,33} \times \frac{19,0}{1,0} \left[19,0 \times 1,0 \times (19,0)^2 + \frac{2,0 \times 1,0 \times (19,0)^3}{2,0} - \right]$$

b) Momento de inércia setorial

Da equação (II.1-56)

$$\begin{aligned}
 J_{\omega} &= 2 \times 1,0 \left\{ \frac{(19,0)^3 \times (10,438)^2}{24} + \frac{(19,0)^2 \times (10,438)^3}{12} + \right. \\
 &+ \frac{(19,0)^2 \times (19,0-10,438)^3}{12} + \frac{4,5}{6} \times \left\{ \frac{19,0}{2} \times (19,0-10,438) \times \right. \\
 &\times \left[\frac{3 \times 19,0}{2} \times (19,0-10,438) + 4,5 \times (19,0+10,438) \right] + \\
 &+ \left[\frac{19,0}{2} \times (19,0-10,438) + 4,5 \times (19,0+10,438) \right] \times \\
 &\times \left. \left. \left[\frac{3 \times 19,0}{2} \times (19,0-10,438) + 2 \times 4,5 \times (19,0+10,438) \right] \right\} \right\} = \\
 &= 3,776288 \times 10^5 \text{ ft}^6
 \end{aligned}$$

c) Momento de inércia à torção

O momento de inércia à torção para secções compostas por retângulos estreitos de largura x_i e altura y_i é dado por

$$J_t = \frac{1}{3} \sum x_i^3 y_i$$

No caso presente tem-se

$$J_t = \frac{1}{3} \left[3 \times 19,0 \times (1,0)^3 + 2 \times 4,5 \times (1,0)^3 \right] = 22,0 \text{ ft}^4$$

d) Diagrama de áreas setoriais

Conhecendo-se o valor de e e a origem da ordenada s , que, nesse caso, devido à simetria, está na linha esqueleto sobre o eixo y , o *diagrama de áreas setoriais* é facilmente determinado. Deve-se lembrar que a área setorial num ponto da secção transversal é positiva se, para um observador colocado na origem do eixo z e olhando no sentido positivo, o raio vetor traçado do centro de cisalhamento girar no sentido horário, partindo da origem de s para o ponto.

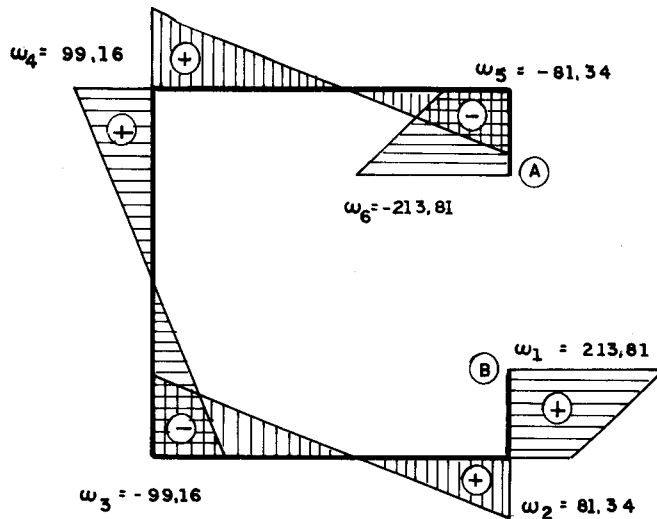


FIG-II-1-13-DIAGRAMA DE ÁREAS SETORIAIS (ft²)

Para esta secção tem-se que

$$\omega_4 = -\omega_3 = \frac{de}{2}$$

$$\omega_2 = -\omega_5 = \frac{d}{2} (b-e)$$

$$\omega_1 = -\omega_6 = \left[\frac{d}{2} (b-e) + c(b+e) \right]$$

Os valores de β_{1u} , β_{1c} , β_{2u} , β_{2c} , β_{3u} , β_{3c} , β_{4u} e β_{4c} que porventura apareçam ao longo do desenvolvimento do exemplo serão obtidos respectivamente da figura (II.1-04) a (II.1-11).

II.1.5.1 - Parede de secção aberta sem contraventamento

Da equação (II.1-07) tem-se

$$\alpha = \sqrt{\frac{5,76 \times 10^8}{2,3} \times 22,0 \times \frac{1}{5,76 \times 10^8 \times 3,776288 \times 10^5}} = 5,033 \times 10^{-3} \text{ft}^{-1}$$

Logo o fator αH , para H igual a $12,5 \times 15,0$, será

$$\alpha H = 5,033 \times 10^{-3} \times 12,5 \times 15 = 0,944.$$

a) Momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft

a.1) Determinação da rotação em torno do eixo z e do bímomento ao \vec{n}_i vel de todos os andares

Substituindo-se os valores de m_o , H , E e J_w nas equações (II.1-17) e na equação (II.1-14) combinada com (II.1-19), têm-se

$$\phi_z = - 1,7702 \times 10^{-2} \beta_{1u} \text{ rad}$$

$$B_z = - 4,3932 \times 10^8 \beta_{3u} \text{ lb ft}^2$$

Tabela II.1.01 - Rotações e bímomentos

Andar	β_{1u}	Rotação ($10^{-2} \times \text{rad}$)	β_{3u}	Bímomento ($10^8 \times \text{lb ft}^2$)
base	0,000	0,000	0,834	-3,664
1	0,008	-0,014	0,700	-3,075
2	0,026	-0,046	0,590	-2,592
3	0,056	-0,100	0,487	-2,139
4	0,097	-0,172	0,389	-1,709
5	0,140	-0,248	0,310	-1,362
6	0,193	-0,342	0,237	-1,041
7	0,251	-0,444	0,171	-0,751
8	0,303	-0,536	0,122	-0,536
9	0,367	-0,650	0,082	-0,360
10	0,430	-0,761	0,039	-0,171
11	0,490	-0,867	0,014	-0,062
12	0,556	-0,984	-0,002	0,009
13	0,622	-1,101	-0,010	0,044
14	0,680	-1,204	-0,009	0,040
15	0,745	-1,319	0,000	0,000

O sinal negativo no valor das rotações indica que as mes mas serão no sentido horário para o observador já mencionado.

a.2) *Determinação das tensões e deslocamentos longitudinais*

Combinando-se a equação (II.1-16) com (II.1-18) e substituindo-se os valores de m_0 , E , H e J_w , têm-se os deslocamentos longitudinais dados por

$$W_{zs} = - 1,2588 \times 10^{-4} \omega_s \beta_{2u} \text{ ft}$$

As tensões longitudinais são calculadas substituindo-se os valores dos bimomentos da tabela (II.1-01) na equação (II.1-15), juntamente com os valores das áreas setoriais.

Devido à simetria da estrutura, calcular-se-ão os valores apenas para os nós 1, 2 e 3.

Tabela II.1-02 - *Deslocamentos e tensões longitudinais*

Andar	β_{2u}	Deslocamentos ($10^{-2} \times \text{ft}$)			Tensões (lb/ft^2)		
		nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
base	0,000	0,000	0,000	0,000	-207452	-78921	96211
1	0,150	-0,404	-0,154	0,187	-174103	-66234	80745
2	0,285	-0,767	-0,300	0,356	-146756	-55830	68062
3	0,391	-1,052	-0,400	0,488	-121108	-46073	56167
4	0,475	-1,278	-0,486	0,593	-96762	-36811	44876
5	0,550	-1,480	-0,563	0,687	-77115	-29337	35764
6	0,604	-1,626	-0,618	0,754	-58940	-22422	27335
7	0,640	-1,723	-0,655	0,800	-42520	-16176	19720
8	0,673	-1,811	-0,689	0,840	-30347	-11545	14075
9	0,693	-1,865	-0,710	0,865	-20382	-7754	9453
10	0,704	-1,895	-0,721	0,879	-9681	-3683	4490
11	0,710	-1,911	-0,727	0,886	-3510	-1335	1628
12	0,711	-1,914	-0,728	0,888	509	194	-236
13	0,710	-1,911	-0,727	0,886	2491	948	-1155
14	0,707	-1,903	-0,724	0,883	2264	862	-1050
15	0,706	-1,900	-0,723	0,881	0000	0000	0000

Deve-se lembrar que os deslocamentos longitudinais positivos são os concordantes com o sentido do eixo z e tensões positivas são as de tração.

b) Momento torçor concentrado no topo de 155765,0 lb ft

A determinação a seguir é análoga à já feita para o caso a.

b.1) Determinação da rotação em torno do eixo z e do bimomento ao nível de todos os andares

$$\phi_z = -1,5735 \times 10^{-3} \beta_{1c} \text{ rad}$$

$$B_z = -2,9206 \times 10^7 \beta_{3c} \text{ lb ft}^2$$

Tabela II.1-03 - Rotações e bimomentos

Andar	β_{1c}	Rotação ($10^{-3} \times \text{rad}$)	β_{3c}	Bimomento ($10^7 \times \text{lb ft}^2$)
base	0,000	0,000	0,781	-2,281
1	0,005	-0,008	0,715	-2,088
2	0,019	-0,030	0,650	-1,898
3	0,043	-0,068	0,594	-1,735
4	0,073	-0,115	0,535	-1,563
5	0,113	-0,178	0,480	-1,402
6	0,157	-0,247	0,428	-1,250
7	0,205	-0,323	0,375	-1,095
8	0,265	-0,417	0,325	-0,949
9	0,323	-0,508	0,277	-0,809
10	0,385	-0,606	0,230	-0,672
11	0,455	-0,716	0,180	-0,526
12	0,522	-0,818	0,136	-0,397
13	0,590	-0,928	0,090	-0,263
14	0,665	-1,046	0,045	-0,131
15	0,738	-1,161	0,000	0,000

b.2) Determinação das tensões e deslocamentos longitudinais

$$W_{zs} = -1,2588 \times 10^{-5} \omega_s \beta_{2c} \text{ ft}$$

Tabela II.1-04 - Deslocamentos e tensões longitudinais

Andar	β_{2c}	Deslocamentos ($10^{-3} \times \text{ft}$)			Tensões (lb/ft^2)		
		nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
base	0,000	0,000	0,000	0,000	-12914	-4913	5989
1	0,095	-0,256	-0,097	0,119	-11822	-4497	5482
2	0,190	-0,511	-0,195	0,237	-10746	-4088	4983
3	0,274	-0,738	-0,281	0,342	-9823	-3737	4555
4	0,345	-0,929	-0,353	0,431	-8849	-3366	4104
5	0,415	-1,117	-0,425	0,518	-7937	-3019	3681
6	0,478	-1,287	-0,489	0,597	-7077	-2692	3282
7	0,530	-1,426	-0,543	0,662	-6200	-2359	2875
8	0,575	-1,548	-0,589	0,718	-5373	-2044	2492
9	0,618	-1,663	-0,633	0,771	-4580	-1743	2124
10	0,650	-1,749	-0,666	0,811	-3805	-1447	1765
11	0,680	-1,830	-0,696	0,850	-2978	-1133	1381
12	0,700	-1,884	-0,717	0,874	-2248	-855	1042
13	0,715	-1,924	-0,732	0,893	-1489	-566	691
14	0,725	-1,951	-0,742	0,905	-742	-282	344
15	0,728	-1,959	-0,745	0,909	000	000	000

II.1.5.2 - Parede de secção aberta parcialmente fechada por lintéis

Determinação do valor de K^* da equação (II.1-30)

$$J_L = \frac{1,0 \times (1,5)^3}{12} = 0,2813 \text{ ft}^4$$

$$A_e = 19,0 \times 19,0 = 361,0 \text{ ft}^2$$

logo

$$K^* = \frac{48 \times 5,76 \times 10^8 \times 0,2813}{(10,0)^3} \times (361,0)^2 = 1,013 \times 10^{12} \text{ lb ft}^3$$

Da equação (II.1-39) têm-se

$$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{5,76 \times 10^8}{2,3} \times 22,0 + \frac{1,013 \times 10^{12}}{12,5}}{5,76 \times 10^8 \times 3,776288 \times 10^5}} = 1,995 \times 10^{-2} \text{ ft}^{-1}$$

$$\alpha H = 1,995 \times 10^{-2} \times 12,5 \times 15 = 3,741.$$

a) Momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft

a.1) Determinação da rotação em torno do eixo z e do bimomento médio ao nível de todos os andares

$$\phi_z = -1,7702 \times 10^{-2} \beta_{1u} \text{ rad}$$

$$B_z^M = -4,3932 \times 10^8 \beta_{3u} \text{ lb ft}^2$$

Tabela II.1-05 - Rotações e bimomentos médios

Andar	β_{1u}	Rotação ($10^{-2} \times \text{rad}$)	β_{2u}	Bimomento ($10^8 \times \text{lb ft}^2$)
base	0,000	0,000	0,398	-1,748
1	0,003	-0,005	0,280	-1,230
2	0,012	-0,021	0,185	-0,813
3	0,023	-0,041	0,118	-0,518
4	0,036	-0,064	0,065	-0,286
5	0,051	-0,090	0,020	-0,088
6	0,067	-0,119	-0,009	0,040
7	0,081	-0,143	-0,031	0,136
8	0,096	-0,167	-0,047	0,207
9	0,110	-0,195	-0,057	0,250
10	0,122	-0,216	-0,061	0,268
11	0,134	-0,237	-0,060	0,264
12	0,145	-0,257	-0,054	0,237
13	0,154	-0,273	-0,043	0,190
14	0,163	-0,289	-0,023	0,101
15	0,172	-0,305	0,000	0,000

Note-se que o contraventamento introduzido na estrutura reduz a rotação máxima a 23% do valor obtido sem contraventamento e o bimomento máximo, a 48%; este último implica diretamente na redução da tensão longitudinal na mesma porcentagem. Fica portanto mostrado numericamente que o contraventamento por lintéis modifica a rigidez à torção e a magnitude das tensões axiais.

a.2) Determinação dos deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias ao nível de todos os andares

$$W_{zs} = -1,2588 \times 10^{-4} \omega_s \beta_{2u} ft$$

Tabela II.1-06 - Deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias

Andar	β_{2u}	Deslocamentos ($10^{-2} \times ft$)			Tensões (lb/ft^2)		
		nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
base	0,000	0,000	0,000	0,000	-98970	-37651	45900
1	0,065	-0,175	-0,067	0,081	-69641	-26494	32298
2	0,115	-0,310	-0,118	0,144	-46031	-17512	21348
3	0,144	-0,388	-0,147	0,180	-29329	-11158	13602
4	0,161	-0,433	-0,165	0,201	-16193	-6160	7510
5	0,170	-0,458	-0,174	0,212	-4982	-1895	2311
6	0,171	-0,460	-0,175	0,213	2265	862	-1050
7	0,167	-0,450	-0,171	0,209	7700	2929	-3571
8	0,160	-0,431	-0,164	0,200	11720	4459	-5436
9	0,149	-0,401	-0,153	0,186	14155	5385	-6565
10	0,137	-0,369	-0,140	0,171	15174	5773	-7037
11	0,124	-0,334	-0,127	0,155	14947	5686	-6932
12	0,114	-0,307	-0,117	0,142	13419	5105	-6223
13	0,104	-0,280	-0,107	0,130	10758	4093	-4989
14	0,096	-0,258	-0,098	0,120	5719	2176	-2652
15	0,094	-0,253	-0,096	0,117	0000	0000	0000

a.3) *Determinação dos bimotoentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos*

Substituindo-se a equação (II.1-18) em (II.1-26), têm-se as forças cortantes nos lintéis dadas por

$$R_L = + 1,7668 \times 10^5 \beta_{2u} \text{ lb}$$

Os bimotoentos abaixo e acima dos lintéis são obtidos respectivamente das equações (II.1-53) e (II.1-54), e (II.1-52) como

$$B^+ = B^M - \frac{B_L}{2} \text{ lb ft}^2$$

$$B^- = B^M + \frac{B_L}{2} \text{ lb ft}^2$$

$$B^- = B_L \text{ lb ft}^2 \text{ (topo da estrutura)}$$

onde B^M são os bimotoentos médios da tabela (II.1-05) e B_L os bimotoentos produzidos pelos lintéis, obtidos por uma combinação das equações (II.1-29), (II.1-30) e (II.1-18) como

$$B_L = + 1,2752 \times 10^8 \beta_{2u} \text{ lb ft}^2$$

Tabela II.1-07 - *Bimotoentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos*

Andar	β_{2u}	Força cortante (lb)	Bimotoentos ($10^8 \times \text{lb ft}^2$)	
			abaixo	acima
1	0,065	11484	-1,189	-1,271
2	0,115	20318	-0,740	-0,886
3	0,144	25441	-0,426	-0,610
4	0,161	28445	-0,183	-0,389
5	0,170	30035	-0,020	-0,196
6	0,171	30212	0,149	-0,069
7	0,167	29505	0,243	0,030
8	0,160	28268	0,309	0,105
9	0,149	26325	0,345	0,155
10	0,137	24205	0,355	0,181
11	0,124	21908	0,343	0,185
12	0,114	20141	0,310	0,164
13	0,104	18374	0,256	0,124
14	0,096	16961	0,162	0,040
15	0,094	16607	0,120	-

a.4) Determinação das tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Tabela II.1-08 - Tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Andar	Tensões abaixo (lb/ft ²)			Tensões acima (lb/ft ²)		
	nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
1	-67320	-25611	31221	-71963	-27377	33375
2	-41898	-15939	19431	-50165	-19084	23265
3	-24120	-9176	11186	-34538	-13139	16018
4	-10361	-3942	4805	-22025	-8379	10215
5	-1132	-431	525	-11097	-4222	5147
6	8436	3209	-3913	-3907	-1486	1812
7	13758	5234	-6381	1699	646	-788
8	17495	6656	-8114	5945	2262	-2757
9	19534	7431	-9059	8776	3339	-4070
10	20100	7647	-9322	10248	3899	-4753
11	19420	7388	-9007	10475	3985	-4858
12	17552	6677	-8140	9286	3533	-4306
13	14494	5514	-6722	7021	2671	-3256
14	9172	3489	-4254	2265	862	-1050
15	6794	2584	-3152	—	—	—

b) Momento torção concentrado no topo de 155765,0 lb ft

b.1) Determinação da rotação em torno do eixo z e do bimomento médio ao nível de todos os andares

$$\phi_z = -1,5735 \times 10^{-3} \beta_{1e} \text{ rad}$$

$$B_z^M = -2,9206 \times 10^7 \beta_{3e} \text{ lb ft}^2$$

Tabela II.1-09 - Rotações e bimentos médios

Andar	β_{1c}	Rotação ($10^{-3} \times \text{rad}$)	β_{3c}	Bimomento ($10^7 \times \text{lb ft}^2$)
base	0,000	0,000	0,267	-0,780
1	0,002	-0,003	0,210	-0,613
2	0,006	-0,009	0,160	-0,467
3	0,013	-0,020	0,126	-0,368
4	0,020	-0,032	0,100	-0,292
5	0,031	-0,049	0,075	-0,219
6	0,041	-0,065	0,060	-0,175
7	0,052	-0,082	0,046	-0,134
8	0,065	-0,102	0,035	-0,102
9	0,077	-0,121	0,026	-0,076
10	0,089	-0,140	0,019	-0,055
11	0,103	-0,162	0,014	-0,041
12	0,117	-0,184	0,010	-0,029
13	0,130	-0,205	0,007	-0,020
14	0,143	-0,225	0,003	-0,009
15	0,157	-0,247	0,000	0,000

Deve-se observar a redução da rotação máxima a 21% e o bimomento máximo a 34% dos respectivos valores máximos obtidos para a análise sem contraventamento.

b.2) Determinação dos deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias ao nível de todos os andares

$$W_{zs} = -1,2588 \times 10^{-5} \omega_s \beta_{2c} \text{ ft}$$

Tabela II.1-10 - Deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias

Andar	β_{2c}	Deslocamentos ($10^{-3} \times ft$)			Tensões (lb/ft^2)		
		nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
Base	0,000	0,000	0,000	0,000	-4416	-1680	2048
1	0,030	-0,081	-0,031	0,037	-3471	-1320	1610
2	0,057	-0,153	-0,058	0,071	-2644	-1006	1226
3	0,075	-0,202	-0,077	0,094	-2084	-793	966
4	0,089	-0,240	-0,091	0,111	-1653	-629	767
5	0,101	-0,272	-0,103	0,126	-1240	-472	575
6	0,111	-0,299	-0,114	0,139	-991	-377	460
7	0,117	-0,315	-0,120	0,146	-759	-289	352
8	0,123	-0,331	-0,126	0,154	-578	-220	268
9	0,127	-0,342	-0,130	0,159	-430	-164	200
10	0,130	-0,350	-0,133	0,162	-311	-118	144
11	0,132	-0,355	-0,135	0,165	-232	-88	108
12	0,134	-0,361	-0,137	0,167	-164	-62	76
13	0,135	-0,363	-0,138	0,169	-113	-43	53
14	0,136	-0,366	-0,139	0,170	-51	-19	24
15	0,136	-0,366	-0,139	0,170	000	00	00

b.3) Determinação dos bimomentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos

$$R_L = 1,7668 \times 10^4 \times \beta_{2c} \quad lb$$

$$B^+ = B^M - \frac{B_L}{2} \quad lb \text{ ft}^2$$

$$B^- = B^M + \frac{B_L}{2} \quad lb \text{ ft}^2$$

$$B^- = B_L \quad lb \text{ ft}^2 \text{ (topo da estrutura)}$$

onde R_L são as forças cortantes nos lintéis, B^- e B^+ são respectivamente

te os bimotoentos abaixo e acima dos mesmos, B^M são os bimotoentos médios da tabela (II.1-09) e B_L os bimotoentos produzidos pelos lintéis, dados por

$$B_L = 1,2752 \times 10^7 \times \beta_{2c} \quad \text{lb ft}^2$$

Tabela II.1-11 - Bimotoentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos

Andar	β_{2c}	Força cortante (lb)	Bimotoentos ($10^7 \times \text{lb ft}^2$)	
			abaixo	acima
1	0,030	530	-0,594	-0,632
2	0,057	1007	-0,431	-0,503
3	0,075	1325	-0,320	-0,416
4	0,089	1572	-0,235	-0,349
5	0,101	1784	-0,155	-0,283
6	0,111	1961	-0,104	-0,246
7	0,117	2067	-0,059	-0,209
8	0,123	2173	-0,024	-0,180
9	0,127	2243	0,005	-0,157
10	0,130	2296	0,028	-0,138
11	0,132	2332	0,043	-0,125
12	0,134	2367	0,056	-0,114
13	0,135	2385	0,066	-0,106
14	0,136	2402	0,078	-0,096
15	0,136	2402	0,173	—

b.4) Determinação das tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Tabela II.1-12 - Tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Andar	Tensões abaixo (lb/ft ²)			Tensões acima (lb/ft ²)		
	nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
1	-3363	-1279	1560	-3578	-1361	1660
2	-2440	-928	1132	-2848	-1083	1321
3	-1812	-689	840	-2355	-896	1092
4	-1331	-506	617	-1976	-752	916
5	-878	-334	407	-1602	-610	743
6	-589	-224	273	-1393	-530	646
7	-334	-127	155	-1183	-450	549
8	-136	-52	63	-1019	-388	473
9	28	11	-13	-889	-338	412
10	159	60	-74	-781	-297	362
11	243	93	-113	-708	-269	328
12	317	121	-147	-645	-246	299
13	374	142	-173	-600	-228	278
14	442	168	-205	-544	-207	252
15	986	374	-456	-	-	-

A comparação feita no capítulo III entre os resultados obtidos nos itens (II.1.5.1) e (II.1.5.2) com os dos outros processos de análise mostra a boa aproximação entre eles.

II.1.6 - Exemplo 2

A figura (II.1-14) mostra a planta e a elevação de uma estrutura de quinze andares de 12,5 ft de pé direito, composta por uma única parede de secção aberta não uniforme ao longo da altura.

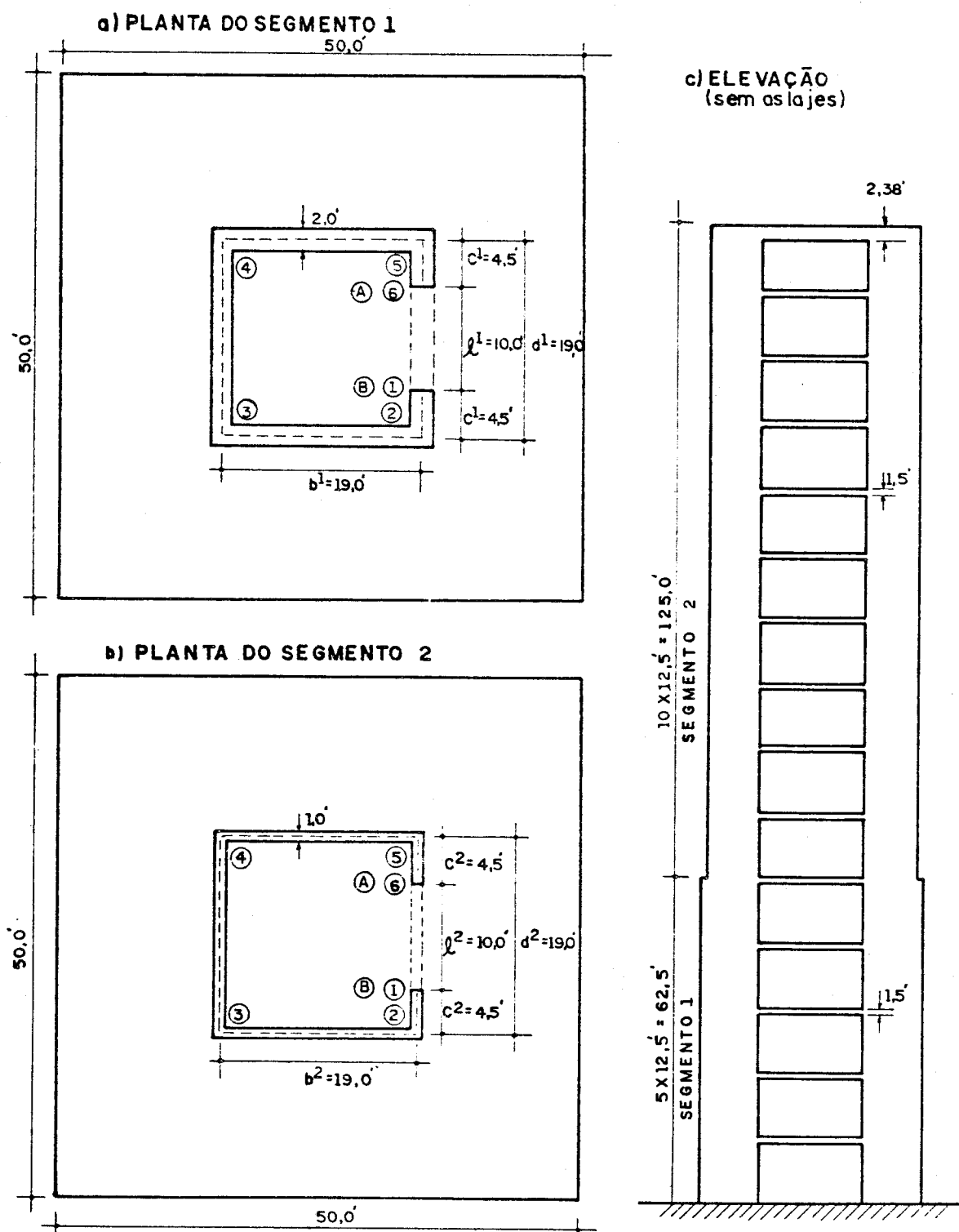


FIG. II.1-14-EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA NÃO UNIFORME

Há três segmentos uniformes a considerar-se na análise:

a) andares de 1 a 5, formados por uma parede de secção aberta contraventada ao nível dos andares, com espessura das paredes de 2,0 ft;

b) andares de 6 a 15, formados por uma parede de secção aberta contraventada ao nível dos andares, com espessura das paredes de 1,0 ft;

c) segmento de comprimento zero que incorpora a rigidez adicional do lintel do topo da estrutura.

Os lintéis usados no contraventamento possuem a mesma espessura das paredes às quais suas extremidades estão engastadas e 1,5 ft de altura, com exceção do lintel do topo que possui 2,38 ft de altura.

O carregamento externo a ser analisado é um momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft. Para o módulo de elasticidade tomar-se-á o valor de $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e para o coeficiente de Poisson 0,15.

Como o centro de cisalhamento tem a mesma localização que a do exemplo 1, o diagrama de áreas setoriais é aquele apresentado na figura (II.1-13).

II.1.6.1 - Determinação do bimomento na base da estrutura

a) Segmento 1

a.1) Parâmetros do segmento

Da equação (II.1-56)

$$J_{\omega}^{(1)} = 7,552576 \times 10^5 \text{ ft}^6$$

O momento de inércia à torção é:

$$J_t^{(1)} = \frac{1}{3} \left[3 \times 19,0 \times (2,0)^3 + 2 \times 4,5 \times (2,0)^3 \right] = 176,0 \text{ ft}^4$$

Determinação do valor de K_1^* da equação (II.1-30)

$$J_L = \frac{2 \times (1,5)^3}{12} = 0,5625 \text{ ft}^4$$

$$A_e = 19,0 \times 19,0 = 361,0 \text{ ft}^2$$

logo

$$K_1^* = \frac{48 \times 5,76 \times 10^8 \times 0,5625}{(10,0)^3} \times (361,0)^2 = 2,027 \times 10^{12} \text{ lb ft}^3$$

Da equação (II.1-45b) tem-se

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\frac{5,76 \times 10^8}{2,3} \times 176 + \frac{2,027 \times 10^{12}}{12,5}}{5,76 \times 10^8 \times 7,552576 \times 10^5}} = 2,177 \times 10^{-2} \text{ ft}^{-1}$$

$$\alpha_1 H_1 = 2,177 \times 10^{-2} \times 62,5 = 1,361$$

a.2) Matrizes $\left[A_z^1 \right]$ e $\left\{ D_z^1 \right\}$

$$m_o^{(1)} = 24922,50 \text{ lb ft/ft}$$

$$M_{t_o}^{(1)} = -24922,50 \times (62,5 + 125,0) = -4,672969 \times 10^6 \text{ lb ft}$$

Da equação (II.1-46) tem-se

$$\left[A_z^1 \right] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sinh(2,177 \times 10^{-2} xz)}{2,177 \times 10^{-2}} & \frac{\cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) - 1,0}{2,061743 \times 10^{11}} \\ 0 & \cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) & \frac{\sinh(2,177 \times 10^{-2} xz)}{9,470568 \times 10^{12}} \\ 0 & 9,470568 \times 10^{12} \times \sinh(2,177 \times 10^{-2} xz) & \cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) \end{bmatrix}$$

Da equação (II.1-47)

$$\left\{ D_z^1 \right\} = - \left\{ \begin{array}{l} 1,415791 \times 10^{-3} \times \left[\frac{z}{62,5} - \frac{\sinh(2,177 \times 10^{-2} xz)}{1,361} \right] \\ 2,265265 \times 10^{-5} \times \left[1,0 - \cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) \right] \\ - 2,145926 \times 10^8 \times \sinh(2,177 \times 10^{-2} xz) \end{array} \right\} -$$

$$- \left\{ \begin{array}{l} 4,719303 \times 10^{-4} \times \left[\frac{\cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) - 1,0}{1,852321} - 1,28 \times 10^{-4} xz^2 \right] \\ 7,550884 \times 10^{-6} \times \left[\frac{\sinh(2,177 \times 10^{-2} xz)}{1,361} - \frac{z}{62,5} \right] \\ 5,255758 \times 10^7 \times \left[\cosh(2,177 \times 10^{-2} xz) - 1,0 \right] \end{array} \right\}$$

a.3) Matrizes $\left[\overline{A}_{H_1}^1 \right]$ e $\left[\overline{D}_{H_1}^1 \right]$

Como é mostrado nas equações (II.1-49), para obterem-se essas matrizes basta fazer em $\left[A_z^1 \right]$ e $\left\{ D_z^1 \right\}$ o valor de z igual a H_1 .

$$\left[\overline{A}_{H_1}^1 \right] = \begin{bmatrix} 1 & 83,65018 & 5,226475 \times 10^{-12} \\ 0 & 2,077565 & 1,922867 \times 10^{-13} \\ 0 & 1,724651 \times 10^{13} & 2,077565 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \overline{D}_{H_1}^1 \right\} = \begin{bmatrix} 4,400112 \times 10^{-4} \\ 2,185724 \times 10^{-5} \\ 3,341527 \times 10^8 \end{bmatrix}$$

b) Segmento 2

b.1) Parâmetros do segmento

A planta desse segmento é a mesma do exemplo 1, logo

$$J_{\omega}^{(2)} = 3,776288 \times 10^8 \quad ft^6$$

$$J_t^{(2)} = 22,0 \quad ft^4$$

$$\alpha_2 = 1,995 \times 10^{-2} \quad ft^{-1}$$

$$\alpha_2 H_2 = 2,494.$$

b.2) Matrizes $\left[A_z^2 \right]$ e $\left\{ D_z^2 \right\}$

$$m_o^2 = 24922,50 \quad lb. ft/ft$$

$$M_{t_o}^{(2)} = -24922,50 \times (125,0) = -3,115313 \times 10^6 \quad lb \quad ft$$

$$\left[A_z^2 \right] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sinh(1,995 \times 10^{-2} xz)}{1,995 \times 10^{-2}} & \frac{\cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) - 1,0}{8,657119 \times 10^{10}} \\ 0 & \cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) & \frac{\sinh(1,995 \times 10^{-2} xz)}{4,339408 \times 10^{12}} \\ 0 & 4,339408 \times 10^{12} \times \sinh(1,995 \times 10^{-2} xz) & \cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) \end{bmatrix}$$

$$\left\{ D_z^2 \right\} = - \left\{ \begin{array}{l} 4,497294 \times 10^{-3} \times \left[\frac{z}{125} - \frac{\sinh(1,995 \times 10^{-2} xz)}{2,494} \right] \\ 3,597835 \times 10^{-5} \times \left[1,0 - \cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) \right] \\ - 1,561404 \times 10^8 \times \sinh(1,995 \times 10^{-2} xz) \end{array} \right\} -$$

$$- \left\{ \begin{array}{l} 4,497294 \times 10^{-3} \times \left[\frac{\cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) - 1,0}{6,22} - 3,2 \times 10^{-5} xz^2 \right] \\ 3,597835 \times 10^{-5} \times \left[\frac{\sinh(1,995 \times 10^{-2} xz)}{2,494} - \frac{z}{125,0} \right] \\ 6,260640 \times 10^7 \times \left[\cosh(1,995 \times 10^{-2} xz) - 1,0 \right] \end{array} \right\}$$

b.3) Matrizes $\left[A_{H_2}^2 \right]$ e $\left\{ D_{H_2}^2 \right\}$

Inicialmente far-se-á o cálculo de $\left[A_z^2 \right]$ e $\left\{ D_z^2 \right\}$ para z igual a H_2 .

$$\left[A_{H_2}^2 \right] = \begin{bmatrix} 1 & 3,013532 \times 10^2 & 5,884862 \times 10^{-11} \\ 0 & 6,094595 & 1,385441 \times 10^{-12} \\ 0 & 2,608850 \times 10^{13} & 6,094595 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ D_{H_2}^2 \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 4,908871 \times 10^{-3} \\ 1,325447 \times 10^{-4} \\ 6,197611 \times 10^8 \end{array} \right\}$$

Substituindo-se os valores de $[A_{H_2}^2]$, $[A_{H_1}^1]$, $\{D_{H_2}^2\}$ e $\{D_{H_1}^1\}$ em (II.1-49), obtêm-se

$$[A_{H_2}^2] = \begin{bmatrix} 1 & 1,724664 \times 10^3 & 1,854345 \times 10^{-10} \\ 0 & 3,655594 \times 10^1 & 4,050253 \times 10^{-12} \\ 0 & 1,593110 \times 10^{14} & 1,767839 \times 10^1 \end{bmatrix}$$

$$\{D_{H_2}^2\} = \begin{bmatrix} 3,160006 \times 10^{-2} \\ 7,287046 \times 10^{-4} \\ 3,226509 \times 10^9 \end{bmatrix}$$

c) Segmento 3

A rigidez adicional do lintel do topo a considerar-se nesse segmento será três vezes a do lintel do segmento 2.

c.1) Parâmetros do segmento

Determinação do valor de K_3^* da equação (II.1-30)

$$J_L = \frac{3 \times (1,5)^3}{12} = 0,844 \text{ ft}^4$$

$$A_e = 19,0 \times 19,0 = 361,0 \text{ ft}^2$$

logo

$$K_3^* = \frac{48 \times 5,76 \times 10^8 \times 0,844}{(10,0)^3} = 3,040128 \times 10^{12} \text{ lb ft}^3$$

c.2) Matrizes $[A_z^3]$ e $\{D_z^3\}$

Da equação (II.1-31) tem-se

$$\left[A_z^3 \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3,040128 \times 10^{12} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ D_z^3 \right\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

c.4) Matrizes $\left[\overline{A}_{H_3}^3 \right]$ e $\left\{ \overline{D}_{H_3}^3 \right\}$

Da equação (II.1-49) tem-se

$$\left[\overline{A}_{H_3}^3 \right] = \begin{bmatrix} 1 & 1,724664 \times 10^3 & 1,854345 \times 10^{-10} \\ 0 & 3,655594 \times 10^1 & 4,050253 \times 10^{-12} \\ 0 & 2,704457 \times 10^{14} & 2,999168 \times 10^1 \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \overline{D}_{H_3}^3 \right\} = \begin{Bmatrix} 3,160006 \times 10^{-2} \\ 7,287046 \times 10^{-4} \\ 5,441864 \times 10^9 \end{Bmatrix}$$

Deve-se notar que este segmento tem comprimento zero, isto é, H_3 é nulo.

d) Bímomento na base

Substituindo-se os valores obtidos para $\left[\overline{A}_{H_3}^3 \right]$ e $\left\{ \overline{D}_{H_3}^3 \right\}$ na equação (II.1-51), obtém-se

$$B_o^1 = - \frac{5,441864 \times 10^9}{2,999168 \times 10^1} = - 1,814458 \times 10^8 \times lb \text{ ft}^2$$

II.1.6.2 - Deslocamentos e esforços na estrutura

a) Determinação da rotação em torno do eixo z, sua primeira derivada e bimomento médio ao nível de todos os andares

Esses valores são obtidos aplicando-se para cada segmento a partir da base do edifício, a equação (II.1-41). Deve-se lembrar que o vetor de estado no topo de um segmento é o mesmo para a base do seguinte.

Tabela II.1-13 - Rotações, derivadas primeiras e bimotoes médios

Andar	Rotação (10^{-2} x rad)	Derivada primeira (10^{-5} x rad/ft)	Bimomento (10^8 x lb ft ²)
base	0,000	0,000	-1,814
1	-0,003	-0,445	-1,310
2	-0,011	-0,776	-0,943
3	-0,022	-0,998	-0,685
4	-0,035	-1,169	-0,518
5	-0,051	-1,304	-0,428
6	-0,068	-1,484	-0,210
7	-0,087	-1,555	-0,045
8	-0,107	-1,543	0,079
9	-0,126	-1,471	0,169
10	-0,143	-1,355	0,230
11	-0,160	-1,212	0,266
12	-0,174	-1,054	0,280
13	-0,186	-0,895	0,272
14	-0,196	-0,746	0,242
15	-0,205	-0,622	0,189
15	-0,205	-0,622	0,000

b) Determinação dos deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias ao nível de todos os andares

Tabela II.1-14 - Deslocamentos longitudinais e tensões longitudinais médias

Andar	Deslocamentos (10^{-2} x ft)			Tensões (lb/ft ²)		
	nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
base	0,000	0,000	0,000	-51354	-19536	23817
1	-0,095	-0,036	0,044	-37086	-14108	17199
2	-0,166	-0,063	0,077	-26696	-10156	12381
3	-0,213	-0,081	0,099	-19392	-7377	8994
4	-0,250	-0,095	0,116	-14664	-5579	6801
5	-0,279	-0,106	0,129	-12116	-4609	5619
6	-0,317	-0,121	0,147	-11890	-4523	5514
7	-0,332	-0,126	0,154	-2548	-969	1182
8	-0,330	-0,126	0,153	4473	1702	-2074
9	-0,315	-0,120	0,146	9569	3640	-4438
10	-0,290	-0,110	0,134	13022	4954	-6039
11	-0,259	-0,099	0,120	15061	5730	-6985
12	-0,225	-0,086	0,105	15853	6031	-7352
13	-0,191	-0,073	0,089	15400	5859	-7142
14	-0,160	-0,061	0,074	13702	5213	-6355
15	-0,133	-0,051	0,062	10701	4071	-4963

Observa-se que a variação da estrutura ao longo da altura reduz a rotação máxima a 67% e a tensão máxima a 52% dos respectivos valores máximos obtidos para a análise sem variação, mas com contraventamento.

c) *Determinação dos bímomentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos*

Com os valores das derivadas primeiras da rotação da tabela (II.1-13) e com a expressão (II.1-26), determinam-se as forças cortantes nos lintéis. Também com estes valores, juntamente com (II.1-29), calculam-se os bímomentos produzidos pelos lintéis, que, combinados com (II.1-52), (II.1-53) e (II.1-54), fornecem os bímomentos abaixo e acima dos mesmos.

Tabela II.1-15 - Bímomentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos

Andar	Força cortante	Bímomentos ($10^8 \times lb \text{ ft}^2$)	
	(lb)	abaixo	acima
1	12492	-1,265	-1,355
2	21783	-0,864	-1,022
3	28015	-0,584	-0,786
4	32815	-0,400	-0,636
5	36605	-0,296	-0,560
6	20828	-0,135	-0,285
7	21825	0,034	-0,124
8	21657	0,157	0,001
9	20647	0,244	0,094
10	19018	0,299	0,161
11	17011	0,327	0,205
12	14794	0,333	0,227
13	12562	0,317	0,227
14	10471	0,280	0,204
15	34921	0,252	-

d) Determinação das tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Tabela II.1-16 - Tensões longitudinais abaixo e acima dos lintéis

Andar	Tensões abaixo (lb/ft ²)			Tensões acima (lb/ft ²)		
	nó 1	nó 2	nó 3	nó 1	nó 2	nó 3
1	-35812	-13624	16609	-38359	-14593	17790
2	-24459	-9305	11344	-28932	-11007	13418
3	-16533	-6290	7668	-22251	-8465	10320
4	-11324	-4308	5252	-18005	-6850	8350
5	-8380	-3188	3886	-31707	-12062	14705
6	-7644	-2908	3545	-16136	-6139	7484
7	1925	732	-893	-7021	-2671	3256
8	8889	3382	-4123	57	22	-26
9	13815	5256	-6407	5322	2025	-2468
10	16929	6440	-7851	9116	3468	-4228
11	18514	7043	-8587	11607	4416	-5383
12	18854	7173	-8744	12853	4890	-5961
13	17948	6828	-8324	12853	4890	-5961
14	15853	6031	-7352	11550	4394	-5357
15	14268	5428	-6617	-	-	-

II.2 – DIVISÃO DA ESTRUTURA EM PAINÉIS PAREDES

II.2.1 - Introdução

Apresenta-se a seguir um processo de análise desenvolvido a partir do trabalho de MANCINI⁽¹¹⁾, que consiste basicamente em dividir-se as *paredes de secção aberta* em *painéis paredes*, aos quais aplicam-se as equações de equilíbrio e de compatibilidade de deslocamentos. O comportamento da estrutura é expresso por uma equação diferencial ou por um sistema de equações diferenciais, como será visto no desenvolver deste item.

O empenamento das paredes é levado em conta sem a necessidade de utilização da teoria de flexo-torção, o que acarreta bastante simplicidade no desenvolvimento.

Como já foi mencionado, arranjos diferentes em planta das paredes conduzem a soluções também diferentes, embora semelhantes. Em vista disto, desenvolvem-se neste item três arranjos que permitem a familiarização com o processo e a possibilidade de equacionamento de outros.

Após o desenvolvimento de cada arranjo apresentam-se as listagens do conjunto de programas desenvolvidos para o cálculo automático, além da descrição dos dados de entrada, exemplo resolvido para mostrar a impressão dos resultados e uma pequena descrição das funções de cada um. Não será apresentado diagrama de blocos devido à sua simplicidade, alcançada pela utilização, sempre que possível, da mesma nomenclatura do texto.

Faz-se inicialmente o tratamento analítico do painel parede e as hipóteses e considerações mais importantes.

II.2.1.1 - Painel parede

Denominar-se-á *painel parede*, ou simplesmente *parede*, ao painel plano, sem rigidez transversal, deformável por momento fletor e extremamente rígido à deformação por força cortante, de secção transversal uniforme ao longo da altura e perfeitamente engastado na base. Os esforços e deslocamentos relativos às paredes levarão o índice w .

O carregamento externo é constituído por uma carga distribuída q_w e uma carga concentrada no topo F_w .

Fazendo-se o equilíbrio do elemento de altura dz , com a notação e a convenção de sentidos positivos para esforços e deslocamentos da figura (II.2-01), tem-se

$$\frac{dM_w}{dz} = - Q_w \quad (\text{II.2-001})$$

$$\frac{dQ_w}{dz} = - q_w \quad (\text{II.2-002})$$

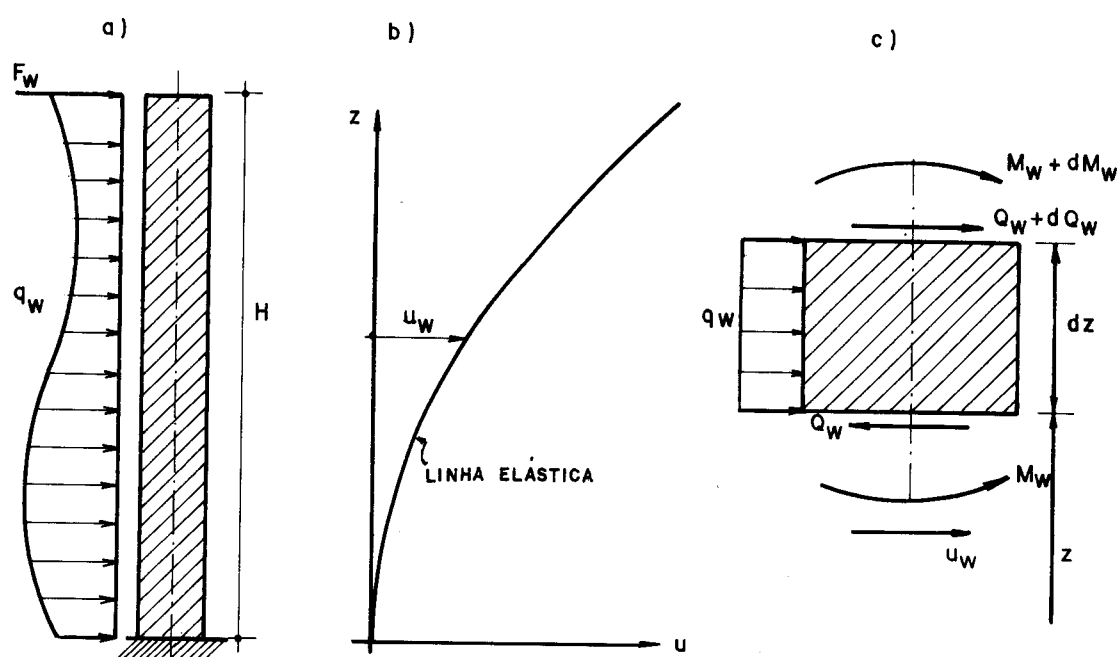


FIG. II.2-01- PAINEL PAREDE

A equação da elástica, desprezando-se a deformação por força cortante, é dada por

$$u_w'' = \frac{d^2 u_w}{dz^2} = \frac{M_w}{j_w} \quad (\text{II.2-003})$$

onde j_w é o produto de rigidez à flexão da parede, $E_w J_w$.

Combinando-se a equação (II.2-003) com (II.2-001), tem-se

a expressão para a força cortante no painel, também chamada de equação característica do painel, como

$$Q_w = -j_w u_w''' \quad (\text{II.2-004})$$

A equação (II.2-004), juntamente com as condições de contorno, permite a determinação de todos os esforços e deslocamentos no painel, para um carregamento qualquer.

II.2.1.2 - Hipóteses e considerações

Hipóteses de cálculo, além da já mencionada para as lajes:

a) os painéis paredes que se interceptam transmitem nas intersecções apenas forças verticais distribuídas, uma vez que não possuem qualquer rigidez transversal. Em outras palavras, as intersecções serão consideradas como articulações;

b) os lintéis são engastados nas paredes, com pontos de momento nulo nos centros dos seus vãos.

Tratando-se de uma análise espacial, usa-se, para definir a estrutura, um sistema de referência global $Oxyz$, com origem na base do edifício e com o eixo z vertical e orientado da base para o topo.

O carregamento horizontal, atuante em um plano vertical π , terá sua direção e sentido determinados pelas componentes a e b , do versor definido neste plano, respectivamente em relação aos eixos x e y . A posição do carregamento é dada pelo momento c deste versor em relação ao eixo z , cujo sentido positivo é o anti-horário conforme figura (II.2-02-a). Logo, o carregamento fica completamente determinado pelo valor da carga e das componentes a , b e c .

O deslocamento de um painel parede i será referido a um versor de componentes a_i e b_i , conforme figura (II.2-02-b), com a direção do painel, e de sentido arbitrário. O momento c_i , deste versor, em relação ao eixo z , positivo no sentido anti-horário, define a posição do painel. Para cada painel define-se ainda um sistema de referência local, constituído pelo seu versor e um eixo vertical, em relação ao qual serão referidos os esforços e deslocamentos. Portanto, uma pare

de i fica definida na estrutura por sua espessura, pelo seu comprimento e pelas componentes a_i , b_i e c_i .

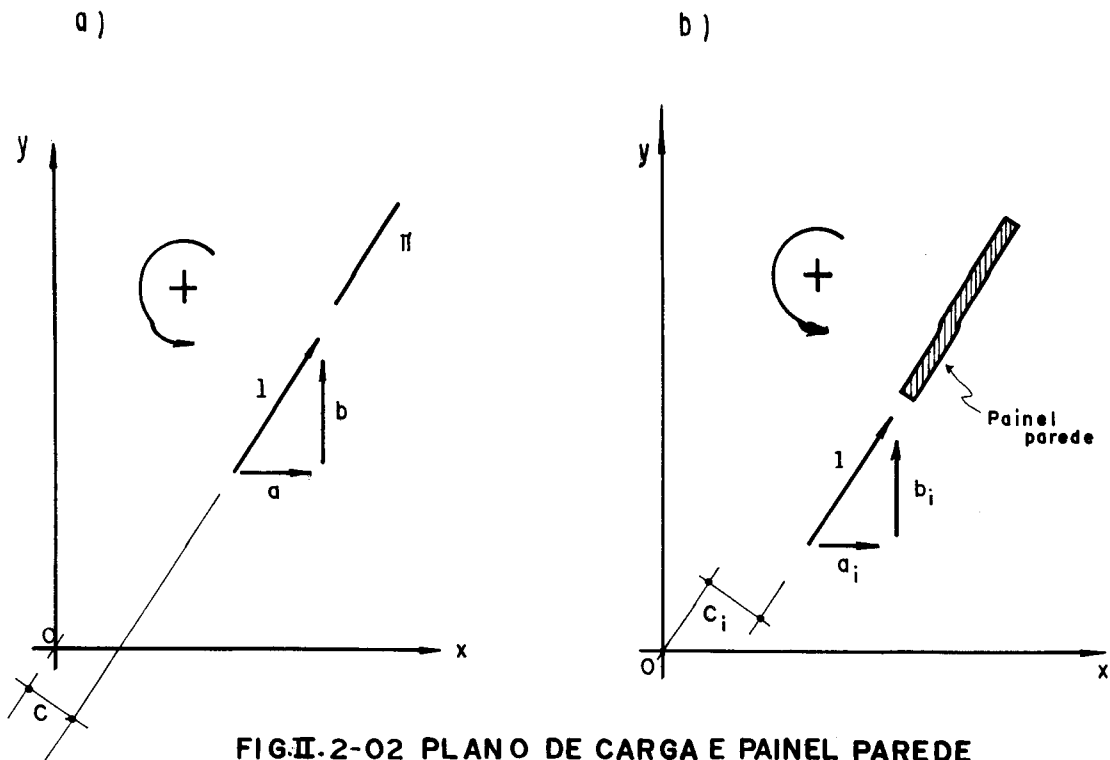


FIG. II.2-02 PLANO DE CARGA E PAINEL PAREDE

Da hipótese da laje comportar-se como um diafragma com rigidez infinita no seu plano e nula fora deste, a única incógnita do problema é o seu deslocamento horizontal, referido ao sistema global e definido pelas seguintes funções de z :

u - deslocamento do ponto \bar{O}_z segundo o eixo x ,

v - deslocamento do ponto \bar{O}_z segundo o eixo y ,

ϕ - rotação do diafragma em torno de \bar{O}_z , positiva no sentido anti-horário, para um observador olhando do topo para a base do edifício

onde \bar{O}_z é o ponto de intersecção do eixo z com um diafragma genérico.

Com os deslocamentos dos diafragmas e lembrando-se que estes efetuam um movimento de corpo rígido no seu plano, o deslocamento u_i de um painel genérico em uma cota z é uma função linear de u , v e ϕ dada por

$$u_i = a_i u + b_i v + c_i \phi \quad (\text{II.2-005})$$

As condições de contorno para uma estrutura perfeitamente engastada na base, sem momentos fletores aplicados no topo e tal que o conjunto de painéis paredes é não degenerado, são

$$\left. \begin{aligned} u_0 &= v_0 = \phi_0 = 0 \\ u'_0 &= v'_0 = \phi'_0 = 0 \\ u''_H &= v''_H = \phi''_H = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-006})$$

onde o subscrito zero indica a base da estrutura e H , a sua altura total.

II.2.2 - Edifício com uma parede de secção aberta, formada por um único canal, contraventada por lintéis ao nível dos andares

A figura (II.2-03) mostra a estrutura a ser analisada.

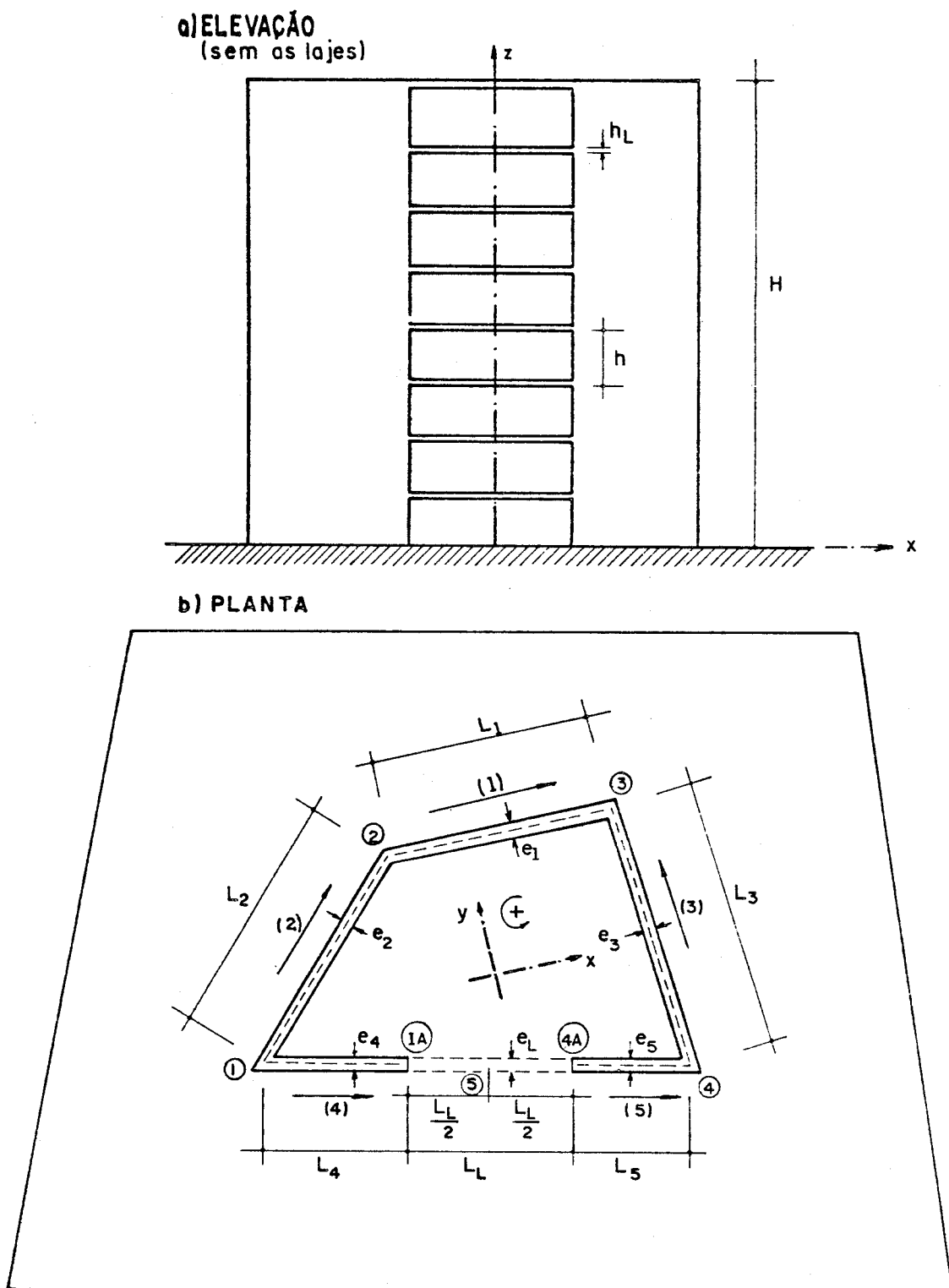


FIG.II.2-03 - EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA FORMADA POR UM ÚNICO CANAL

Os carregamentos horizontais atuantes em relação ao sistema global de referência serão definidos pelo valor da carga e pelas componentes a , b e c conforme a figura (II.2-02-a).

Na figura (II.2-03) os números dentro das circunferências indicam os pontos onde serão determinados os valores dos deslocamentos verticais e as cargas verticais distribuídas; as setas numeradas indicam os números das paredes e os sentidos dos vetores definidos nos seus planos; L_i e e_i o comprimento e a espessura de uma parede genérica i ; e L_L e e_L o comprimento e a espessura do lintel.

II.2.2.1 - Montagem do sistema de equações diferenciais

Inicialmente escrever-se-ão as equações de equilíbrio à rotação e à translação vertical para elementos genéricos de todas as paredes, cujos resultados serão utilizados para a montagem do sistema de equações diferenciais.

A parede (1) interage com as paredes (2) e (3), recebendo forças verticais distribuídas q_2 e q_3 respectivamente nas intersecções 2 e 3 conforme figura (II.2-04-a). Note-se na figura (II.2-04-b) a correspondência entre a convenção para esforços positivos e o sentido do positivo do deslocamento horizontal u_1 do painel no seu plano.

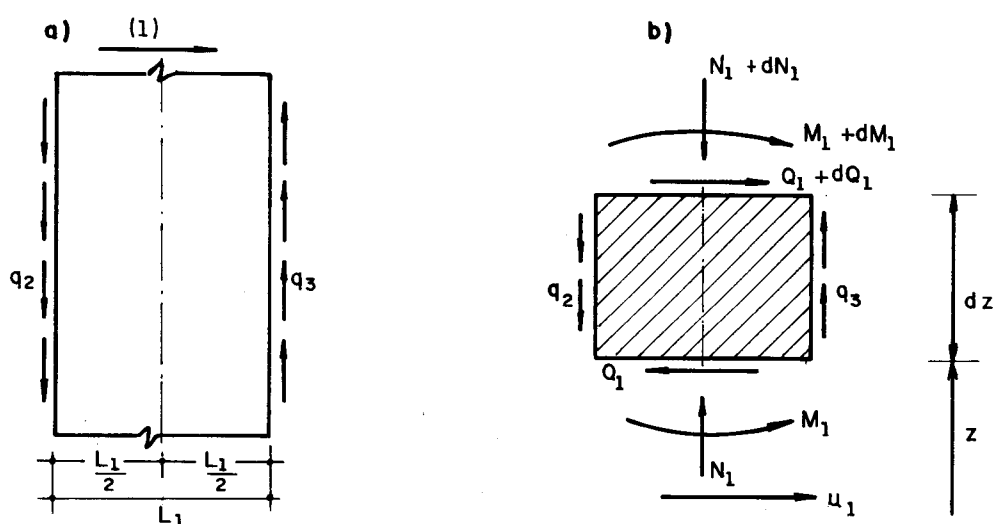


FIG. II.2-04- CARREGAMENTO DA PAREDE (1)

II-62

Fazendo-se o equilíbrio do elemento genérico, tem-se

$$\frac{dM_1}{dz} = -Q_1 + (q_2 + q_3) \frac{L_1}{2} \quad (\text{II.2-007})$$

$$\frac{dN_1}{dz} = q_3 - q_2 \quad (\text{II.2-008})$$

Chamando-se o deslocamento vertical no eixo da parede (1) de δ_1 , positivo no sentido do topo do edifício para a base, e a área da sua secção transversal de A_1 , a deformação vertical correspondente ϵ_1 é dada

$$\epsilon_1 = \delta_1' = \frac{N_1}{EA_1} \quad (\text{II.2-009})$$

onde E é o módulo de elasticidade.

Derivando-se a equação (II.2-009) e substituindo-se em (II.2-008), resulta

$$EA_1 \delta_1'' = q_3 - q_2 \quad (\text{II.2-010})$$

A equação (II.2-007), combinada com a equação da elástica (II.2-003), permite obter a força cortante na parede como

$$Q_1 = -j_1 u_1''' + (q_2 + q_3) \frac{L_1}{2} \quad (\text{II.2-011})$$

onde j_1 é o produto de rigidez à flexão da parede (1) dado por EJ_1 .

Na figura (II.2-05) mostram-se os carregamentos das paredes (2) e (3), cujas equações são obtidas com o mesmo raciocínio feito para a parede (1).

As equações de equilíbrio dos elementos genéricos das paredes (2) e (3), com a mesma convenção da figura (II.2-04-b), são

$$\frac{dM_2}{dz} = -Q_2 + (q_1 + q_2) \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-012})$$

$$\frac{dN_2}{dz} = q_2 - q_1 \quad (\text{II.2-013})$$

$$\frac{dM_3}{dz} = -Q_3 + (q_4 - q_3) \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-014})$$

$$\frac{dN_3}{dz} = -q_3 - q_4 \quad (\text{II.2-015})$$

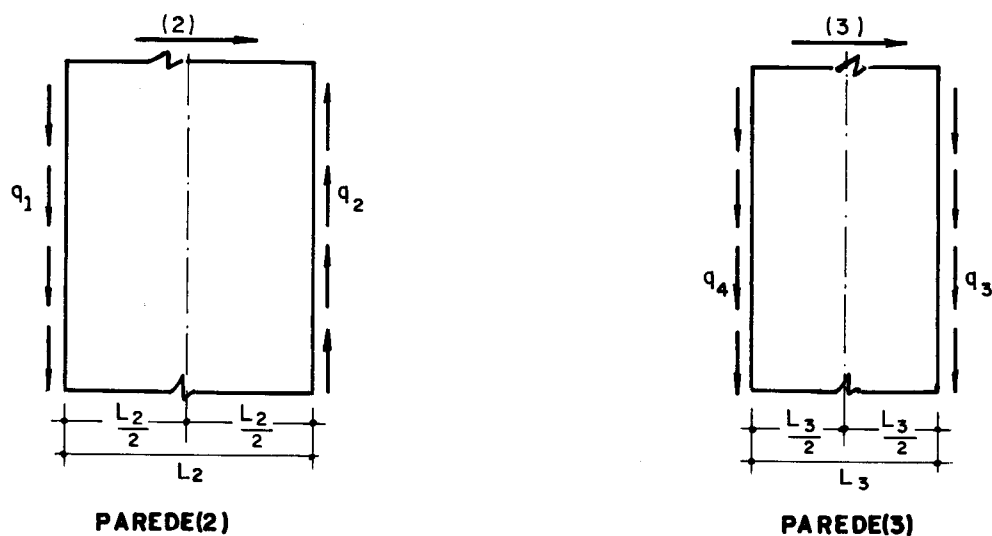


FIG. II.2-05 CARREGAMENTOS DAS PAREDES (2) E (3)

Combinando-se as equações (II.2-012) e (II.2-014) com as equações das respectivas elásticas, têm-se as forças cortantes nas paredes

$$Q_2 = -j_2 u_2''' + (q_1 + q_2) \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-016})$$

$$Q_3 = -j_3 u_3''' + (q_4 - q_3) \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-017})$$

onde j_2 e j_3 são os produtos de rigidez à flexão das paredes (2) e (3), respectivamente, e u_2 e u_3 , os deslocamentos horizontais nos seus planos.

As equações que relacionam os deslocamentos verticais δ_2 e δ_3 , nos eixos das paredes (2) e (3) com os esforços verticais nas intersecções, obtidas por um procedimento análogo ao da parede (1), são

$$EA_2 \delta_2'' = q_2 - q_1 \quad (\text{II.2-018})$$

$$EA_3 \delta_3'' = -q_3 - q_4 \quad (\text{II.2-019})$$

onde A_2 e A_3 são respectivamente as áreas das secções transversais das paredes (2) e (3).

As paredes (4) e (5) recebem, além das forças verticais das intersecções, os esforços cortantes dos lintéis uniformemente distribuídos na altura h (h é o espaçamento dos lintéis), aplicados no ponto de inflexão, conforme a figura (II.2-06).

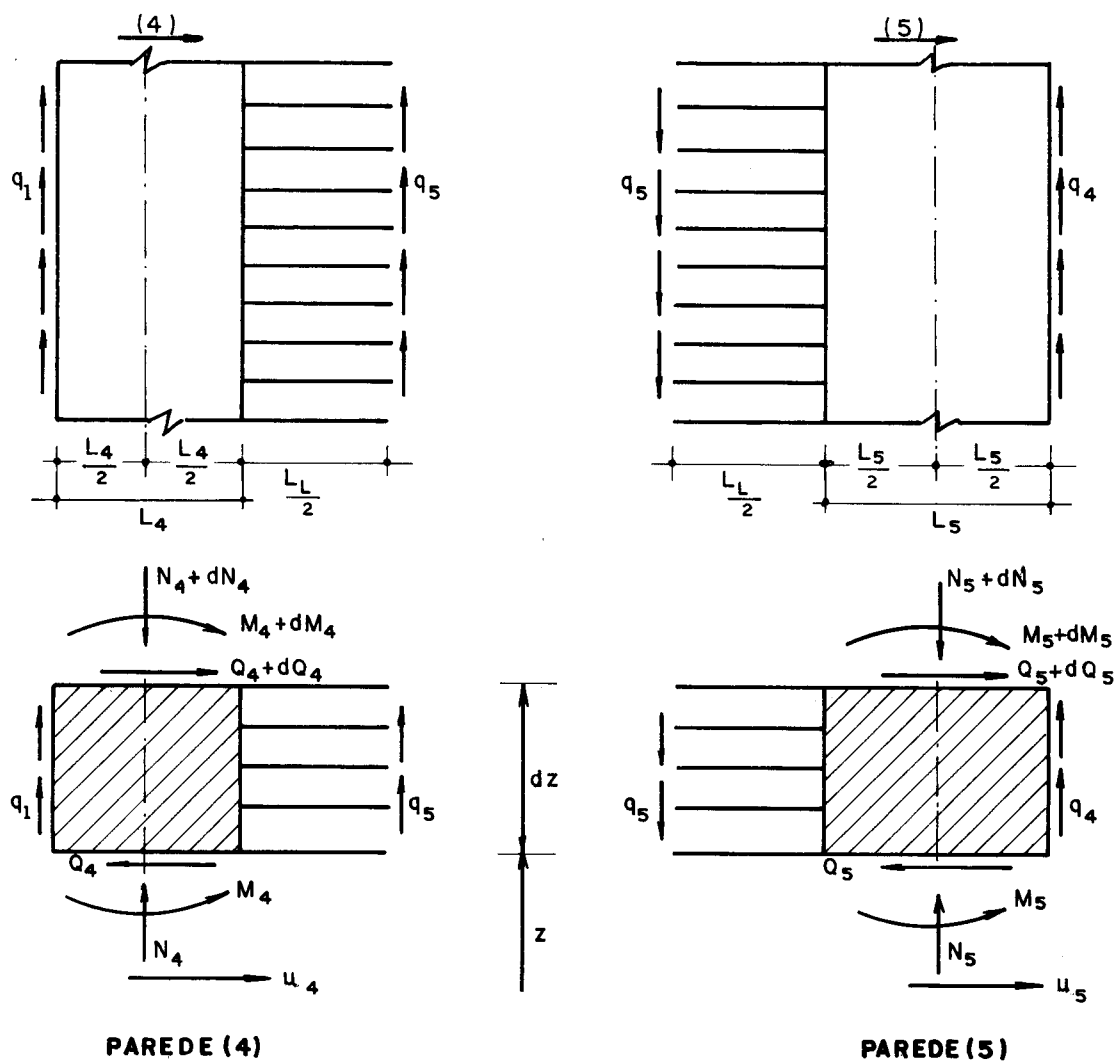


FIG. II. 2 - 06-CARREGAMENTOS DAS PAREDES (4) E (5)

Fazendo-se o equilíbrio dos elementos genéricos das paredes (4) e (5), chega-se a

$$\frac{dM_4}{dz} = -Q_4 - q_1 \frac{L_4}{2} + q_5 \left(\frac{L_4 + L_L}{2} \right) \quad (II.2-020)$$

$$\frac{dN_4}{dz} = q_1 + q_5 \quad (II.2-021)$$

$$\frac{dM_5}{dz} = -Q_5 + q_4 \frac{L_5}{2} + q_5 \left(\frac{L_L + L_5}{2} \right) \quad (\text{II.2-022})$$

$$\frac{dN_5}{dz} = q_4 - q_5 \quad (\text{II.2-023})$$

Com as equações das respectivas elásticas e com (II.2-020) e (II.2-022), obtém-se

$$Q_4 = -j_4 u_4''' - q_1 \frac{L_4}{2} + q_5 \left(\frac{L_4 + L_L}{2} \right) \quad (\text{II.2-024})$$

$$Q_5 = -j_5 u_5''' + q_4 \frac{L_5}{2} + q_5 \left(\frac{L_L + L_5}{2} \right) \quad (\text{II.2-025})$$

onde j_4 e j_5 são os produtos de rigidez à flexão, respectivamente das paredes (4) e (5), e u_4 e u_5 , os deslocamentos horizontais nos seus planos.

As relações entre os deslocamentos verticais δ_4 e δ_5 com os esforços verticais distribuídos são

$$E A_4 \delta_4'' = q_1 + q_5 \quad (\text{II.2-026})$$

$$E A_5 \delta_5'' = q_4 - q_5 \quad (\text{II.2-027})$$

onde A_4 e A_5 são as áreas das secções transversais das paredes (4) e (5).

A determinação das equações de compatibilidade dos deslocamentos verticais dos pontos de intersecções serão obtidas considerando-se as paredes deformáveis à flexão e à força normal. Para uma parede genérica i , os deslocamentos são os apresentados na figura (II.2-07). Deve-se notar a concordância entre o sentido positivo do deslocamento horizontal u_i e o do giro u_i' .

O ponto 1 considerado como pertencente à parede (2) terá, de acordo com a figura (II.2-07), o seguinte deslocamento vertical (positivo no sentido do topo para a base do edifício):

$$V_1 = \delta_2 - u_2' \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-028})$$

Este mesmo ponto pertencente à parede (4) terá o seu deslocamento dado por

$$V_1 = \delta_4 - u_4' \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-029})$$

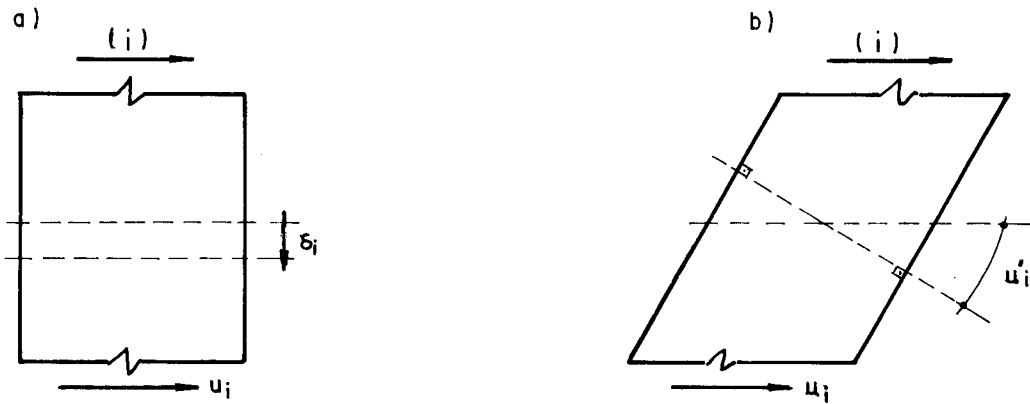


FIG. II. 2-07- DESLOCAMENTOS DE UMA PAREDE GENÉRICA

A equação de compatibilidade que exprime a igualdade dos deslocamentos verticais do ponto 1, pertencente à intersecção, obtida de (II.2-028) e (II.2-029), é

$$\delta_2 - u'_2 \frac{L_2}{2} = \delta_4 - u'_4 \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-030})$$

Fazendo-se raciocínio análogo para as intersecções definidas pelos pontos 2, 3 e 4, com o ponto 2 pertencente simultaneamente às paredes (1) e (2), o ponto 3, às paredes (1) e (3) e o ponto 4, às paredes (3) e (5), obtêm-se mais três equações de compatibilidade

$$\delta_2 + u'_2 \frac{L_2}{2} = \delta_1 - u'_1 \frac{L_1}{2} \quad (\text{II.2-031})$$

$$\delta_1 + u'_1 \frac{L_1}{2} = \delta_3 + u'_3 \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-032})$$

$$\delta_3 - u'_3 \frac{L_3}{2} = \delta_5 + u'_5 \frac{L_5}{2} \quad (\text{II.2-033})$$

O deslocamento do ponto 5, considerado como pertencente à parede (4) ou à (5), será determinado como a superposição dos deslocamentos apresentados na figura (II.2-07) e dos deslocamentos dos lin_téis à flexão, conforme a figura (II.2-08). A equação de compatibilidade dos deslocamentos deste ponto será então

$$\begin{aligned} \delta_4 + u'_4 \left(\frac{L_4 + L_L}{2} \right) - q_5 h \left(\frac{L_L}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_L} = \delta_5 - u'_5 \left(\frac{L_5 + L_L}{2} \right) + \\ + q_5 h \left(\frac{L_L}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_L} \end{aligned} \quad (\text{II.2-034})$$

onde J_L é o momento de inércia do lintel dado por

$$J_L = \frac{e_L \times h_L^3}{12} \quad (\text{II.2-035})$$

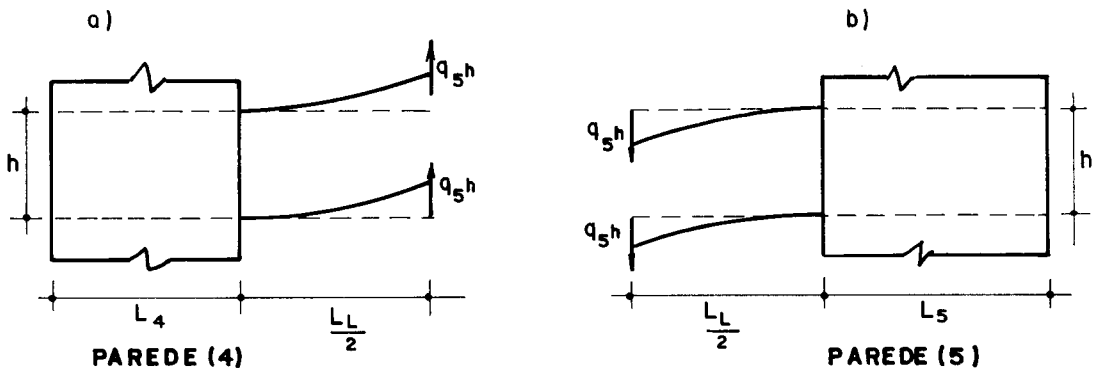


FIG. II.2-08- DEFORMAÇÕES DOS LINTÉIS À FLEXÃO

Tirando-se o valor do deslocamento vertical no eixo da parede (2), δ_2 , na equação (II.2-030) e substituindo-se em (II.2-031), obtém-se

$$\delta_4 = \delta_1 - u_1' \frac{L_1}{2} - u_2' L_2 + u_4' \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-036})$$

Com o valor de δ_3 obtido de (II.2-032) e substituído em (II.2-033), chega-se a

$$\delta_5 = \delta_1 + u_1' \frac{L_1}{2} - u_3' L_3 - u_5' \frac{L_5}{2} \quad (\text{II.2-037})$$

Substituindo-se as equações (II.2-036) e (II.2-037) em (II.2-034), obtém-se o valor da força vertical distribuída q_5 como uma função das derivadas primeiras dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos

$$q_5 = \frac{12EJ_L}{hL_L^3} \left[-u_1' L_1 - u_2' L_2 + u_3' L_3 + u_4' \left(\frac{2L_4 + L_L}{2} \right) + u_5' \left(\frac{2L_5 + L_L}{2} \right) \right] \quad (\text{II.2-038})$$

Derivando-se duas vezes (II.2-030) a (II.2-033), e com as derivadas segundas dos deslocamentos verticais nos eixos das paredes das equações (II.2-010), (II.2-018), (II.2-019), (II.2-026) e (II.2-027), obtém-se as forças verticais nas intersecções como funções

das derivadas terceiras dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos e de q_5

$$q_1(A_2 + A_4) - q_2A_4 = -q_5A_2 - u_2''' \frac{L_2}{2} EA_2A_4 + u_4''' \frac{L_4}{2} EA_2A_4 \quad (\text{II.2-039})$$

$$-q_1A_1 + q_2(A_1 + A_2) - q_3A_2 = -u_1''' \frac{L_1}{2} EA_1A_2 - u_2''' \frac{L_2}{2} EA_1A_2 \quad (\text{II.2-040})$$

$$-q_2A_3 + q_3(A_1 + A_3) + q_4A_1 = -u_1''' \frac{L_1}{2} EA_1A_3 + u_3''' \frac{L_3}{2} EA_1A_3 \quad (\text{II.2-041})$$

$$q_3A_5 + q_4(A_3 + A_5) = q_5A_3 - u_3''' \frac{L_3}{2} EA_3A_5 - u_5''' \frac{L_5}{2} EA_3A_5 \quad (\text{II.2-042})$$

Substituindo-se o valor de q_5 de (II.2-038) em (II.2-039) a (II.2-042), as forças verticais distribuídas nas intersecções podem ser obtidas como

$$\{q_{1-4}\} = [M_1]^{-1} \{M_2\} \{M_3\} \{U_w'\} + [M_1]^{-1} [M_4] \{U_w'''\} \quad (\text{II.2-043})$$

$$q_5 = \{M_3\} \{U_w'\} \quad (\text{II.2-044})$$

onde

$$\{q_{1-4}\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-045})$$

$[M_1]^{-1}$ é a inversa da matriz $[M_1]$ e

$$[M_1] = \begin{bmatrix} A_2 + A_4 & -A_4 & 0 & 0 \\ -A_1 & A_1 + A_2 & -A_2 & 0 \\ 0 & -A_3 & A_1 + A_3 & A_1 \\ 0 & 0 & A_5 & A_3 + A_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-046})$$

$$\{M_2\} = \begin{Bmatrix} -A_2 \\ 0 \\ 0 \\ A_3 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-047})$$

$\{M_3\}$ é obtida de (II.2-038) e definida como

$$\{M_3\} = \frac{12 E J_L}{hL_L^3} \left\{ -L_1 \mid -L_2 \mid L_3 \mid \frac{2L_4+L_L}{2} \mid \frac{2L_5+L_L}{2} \right\} \quad (\text{II.2-048})$$

$$[M_4] = \frac{E}{2} \begin{bmatrix} 0 & -L_2 A_2 A_4 & 0 & L_4 A_2 A_4 & 0 \\ -L_1 A_1 A_2 & -L_2 A_1 A_2 & 0 & 0 & 0 \\ -L_1 A_1 A_3 & 0 & L_3 A_1 A_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -L_3 A_3 A_5 & 0 & -L_5 A_3 A_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-049})$$

e $\{U'_w\}$ e $\{U'''_w\}$ são respectivamente as derivadas primeiras e terceiras dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos dados por

$$\{U'_w\} = \begin{Bmatrix} u'_1 \\ u'_2 \\ u'_3 \\ u'_4 \\ u'_5 \end{Bmatrix} \quad \text{e} \quad \{U'''_w\} = \begin{Bmatrix} u'''_1 \\ u'''_2 \\ u'''_3 \\ u'''_4 \\ u'''_5 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-050})$$

As forças cortantes nas paredes, obtidas de (II.2-011), (II.2-016), (II.2-017), (II.2-024) e (II.2-025), possuem a seguinte apresentação matricial:

$$\{Q_w\} = [M_5] \{U'''_w\} + \{M_6\} q_5 + [M_7] \{q_{1-4}\} \quad (\text{II.2-051})$$

onde

$$\{Q_w\} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-052})$$

$[M_5]$ contém somente elementos na diagonal, iguais aos produtos de rigidez das paredes, ou seja

$$[M_5] = - \begin{bmatrix} j_1 & & & & \\ & j_2 & & & \\ & & j_3 & & \\ & & & j_4 & \\ & & & & j_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-053})$$

$$\{M_6\} = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ L_4 + L_L \\ L_5 + L_L \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-054})$$

e

$$[M_7] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & L_1 & L_1 & 0 \\ L_2 & L_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -L_3 & L_3 \\ -L_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-055})$$

Substituindo-se (II.2-043) e (II.2-044) em (II.2-051), chega-se a

$$\begin{aligned} \{Q_w\} = & \left(\{M_6\} + [M_7] [M_1]^{-1} \{M_2\} \right) \{M_3\} \{U'_w\} + \\ & + \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) \{U''_w\} \end{aligned} \quad (\text{II.2-056})$$

Da equação (II.2-005) tem-se que o deslocamento u_i de uma parede genérica no seu plano é uma função linear dos deslocamentos dos diafragmas, logo

$$\{U_w\} = [M_8] \{U\} \quad (\text{II.2-057})$$

onde $\{U_w\}$ e $\{U\}$ contêm respectivamente os deslocamentos das paredes nos seus planos e os deslocamentos do diafragma, e $[M_8]$ contém as componentes dos versores definidos nos planos de todas as paredes, dados por

$$\{U_w\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} \quad \{U\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \phi \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-058})$$

e

$$[M_8] = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 \\ a_5 & b_5 & c_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-059})$$

Obtendo-se $\{U'_w\}$ e $\{U''_w\}$ de (II.2-057) e substituindo-se em (II.2-056), tem-se

$$\begin{aligned} \{Q_w\} = & \left([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} \{M_2\} \right) \{M_3\} [M_8] \{U'\} + \\ & + \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \{U''\} \end{aligned} \quad (\text{II.2-060})$$

onde

$$\{U'\} = \begin{Bmatrix} u' \\ v' \\ \phi' \end{Bmatrix} \quad \text{e} \quad \{U'''\} = \begin{Bmatrix} u''' \\ v''' \\ \phi''' \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-061})$$

Escrevendo-se o equilíbrio da força cortante do carregamento externo Q_{ext} e das forças cortantes internas das paredes, e lembrando-se que cada parede genérica i possui uma rigidez à torção dada por GJ_{t_i} , tem-se

$$\left. \begin{aligned} \Sigma Q_i a_i &= Q_{ext} a \\ \Sigma Q_i b_i &= Q_{ext} b \\ \Sigma Q_i c_i + G(\Sigma J_{t_i}) \phi' &= Q_{ext} c \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-062})$$

onde a somatória estende-se para as cinco paredes, J_{t_i} é o momento de inércia à torção, que, para parede estreita, é dado por

$$J_{t_i} = \frac{e_i^3 L_i}{3} \quad (\text{II.2-063})$$

G é o módulo de elasticidade transversal, e a , b e c são as componentes do versor definido no plano do carregamento externo, conforme figura (II.2-02-a).

As equações (II.2-062), combinadas com (II.2-059), permitem a seguinte representação:

$$Q_{ext} \{A^*\} = [M_\theta]^t \{Q_w\} + [M_\theta] \{U'\} \quad (\text{II.2-064})$$

onde $[M_\theta]^t$ é a transposta de $[M_\theta]$

$$\{A^*\} = \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-065})$$

e

$$[M_9] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G\Sigma J t_i \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-066})$$

Substituindo-se a equação (II.2-060) em (II.2-064) obtém-se o sistema de equações diferenciais que descreve o comportamento da estrutura

$$\begin{aligned} Q_{ext} \{A^*\} &= [M_8]^t \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \{U'''\} + \\ &+ \left\{ [M_8]^t \left([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2] \right) [M_3] [M_8] + \right. \\ &\left. + [M_9] \right\} \{U'\} \end{aligned} \quad (\text{II.2-067})$$

O sistema de equações diferenciais dado por (II.2-067) pode também ser escrito como

$$Q_{ext} \{A^*\} = - [J] \{U'''\} + [S] \{U'\} \quad (\text{II.2-068})$$

onde

$$\left. \begin{aligned} [J] &= - [M_8]^t \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \\ [S] &= [M_8]^t \left([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2] \right) [M_3] [M_8] + [M_9] \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-069})$$

Diz-se, com base na equação (II.2-068), que esta estrutura possui um comportamento análogo ao de um *painel geral* definido por MANCINI⁽¹¹⁾; isto é, ela é deformável por momento fletor (comportamento dos *painéis paredes*) e por força cortante (comportamento dos *painéis pòrticos* devido à presença dos lintéis).

A equação (II.2-068), juntamente com as condições de contorno dadas por (II.2-006), permitem determinar a função deslocamento do diafragma ao longo de toda a altura. Dependendo do carregamento e do formato em planta da estrutura, a solução do sistema pode ser obtida analiticamente por um procedimento análogo ao apresentado por MANCI

NI⁽¹¹⁾. Neste trabalho a solução foi obtida numericamente pela *técnica das diferenças finitas*, apresentada no *apêndice B*.

II.2.2.2 - Determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes

Determinados os deslocamentos dos diafragmas e suas derivadas até ordem três, os esforços e deslocamentos nas paredes podem ser facilmente calculados, como se verá a seguir.

Os *deslocamentos das paredes* nos seus planos são determinados, ao longo de toda a altura do edifício, pela substituição dos correspondentes deslocamentos dos diafragmas na equação (II.2-057). As *forças cortantes* nas paredes são obtidas por uma substituição das primeiras e terceiras derivadas dos deslocamentos dos diafragmas na equação (II.2-060). Os *momentos fletores nas paredes*, em função dos deslocamentos dos diafragmas, são determinados por uma combinação de (II.2-003) e a segunda derivada de (II.2-057), ou

$$\{M_w\} = - [M_5] [M_8] \{U''\} \quad (\text{II.2-070})$$

onde

$$\{M_w\} = \begin{Bmatrix} M_{w1} \\ M_{w2} \\ M_{w3} \\ M_{w4} \\ M_{w5} \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-071})$$

Combinando-se as equações (II.2-043) e (II.2-044) com a primeira e a terceira derivada de (II.2-057), obtêm-se as *forças verticais distribuídas nas interseções* como

$$\{q_{1-4}\} = [M_1]^{-1} [M_2] [M_3] [M_8] \{U'\} + [M_1]^{-1} [M_4] [M_8] \{U'''\} \quad (\text{II.2-072})$$

$$q_5 = [M_3] [M_6] \{U'\} \quad (\text{II.2-073})$$

Com os valores de q_5 , cujo sentido positivo é apresentado na figura (II.2-06), têm-se as *forças cortantes nos lintéis*

$$Q_L = q_5 \quad h \quad (\text{II.2-074})$$

Das equações (II.2-031), (II.2-032), (II.2-036) e (II.2-037) calculam-se os *deslocamentos verticais nos eixos das paredes* como

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 &= \delta_1 - u_1' \frac{L_1}{2} - u_2' \frac{L_2}{2} \\ \delta_3 &= \delta_1 + u_1' \frac{L_1}{2} - u_3' \frac{L_3}{2} \\ \delta_4 &= \delta_1 - u_1' \frac{L_1}{2} - u_2' L_2 + u_4' \frac{L_4}{2} \\ \delta_5 &= \delta_1 + u_1' \frac{L_1}{2} - u_3' L_3 - u_5' \frac{L_5}{2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-075})$$

De (II.2-075), nota-se que, se for determinado o deslocamento vertical no eixo da parede (1), os outros também o serão, pois as derivadas primeiras dos deslocamentos das paredes nos seus planos são obtidas a partir dos deslocamentos dos diafragmas. Da equação (II.2-010) tem-se a derivada segunda do deslocamento vertical no eixo da parede (1) em função das forças distribuídas nas intersecções 2 e 3. Efetuando-se os produtos matriciais indicados em (II.2-043), para a obtenção de $\{q_{1-4}\}$ em função das derivadas dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos e subtraindo-se os elementos da terceira linha dos da segunda das matrizes resultantes, conclui-se que a diferença entre a força distribuída q_3 e q_2 depende somente de $\{U_w'''\}$, ou seja

$$q_3 - q_2 = D_1 u_1''' + D_2 u_2''' + D_3 u_3''' + D_4 u_4''' + D_5 u_5''' \quad (\text{II.2-076})$$

onde D_1, D_2, D_3, D_4 e D_5 são os valores obtidos pela diferença entre a terceira e a segunda linha da matriz resultante do produto de $[M_1]^{-1}$ por $[M_4]$.

Combinando-se a equação anterior com (II.2-010) e escrevendo o resultado em forma matricial, tem-se

$$\delta_1'' = \{M_{10}\} \{U_w'''\} \quad (\text{II.2-078})$$

onde

$$\{M_{10}\} = \frac{1}{EA_1} \left\{ D_1 \mid D_2 \mid D_3 \mid D_4 \mid D_5 \right\} \quad (\text{II.2-079})$$

Integrando-se (II.2-078) duas vezes, tem-se

$$\left. \begin{aligned} \delta'_1 &= \{M_{10}\} \{U''_w\} + C_1 \\ \delta_1 &= \{M_{10}\} \{U'_w\} + C_1 z + C_2 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-080})$$

Lembrando-se que as condições de contorno para uma estrutura com engastamento perfeito na base, sem momentos fletores e sem forças normais aplicados no topo, são

$$\left. \begin{aligned} \delta_{10} &= 0 \quad \text{e} \quad \{U'_w\}_0 = 0 \\ \delta'_{1H} &= 0 \quad \text{e} \quad \{U''_w\}_H = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-081})$$

onde o subscrito zero (0) indica a base do edifício e H a sua altura total, tem-se por uma substituição das condições anteriores em (II.2-080) que

$$C_1 = C_2 = 0 \quad (\text{II.2-082})$$

Combinando-se (II.2-082), (II.2-080) e (II.2-075), tem-se a seguinte representação matricial dos deslocamentos verticais nos eixos das paredes:

$$\{\delta_w\} = (\{M_{11}\} + \{M_{12}\}) \{U'_w\} \quad (\text{II.2-083})$$

onde

$$\{\delta_w\} = \left\{ \begin{array}{c} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \end{array} \right\} \quad (\text{II.2-084})$$

$$[M_{11}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -L_1 & -L_2 & 0 & 0 & 0 \\ L_1 & 0 & -L_3 & 0 & 0 \\ -L_1 & -2L_2 & 0 & L_4 & 0 \\ L_1 & 0 & -2L_3 & 0 & -L_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-085})$$

e $[M_{12}]$ é de (5x5), tendo todas as linhas iguais a $\{M_{10}\}$, ou seja

$$[M_{12}] = \begin{bmatrix} \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-086})$$

A equação (II.2-083), combinada com (II.2-057), permite o cálculo de $\{\delta_w\}$ a partir dos deslocamentos dos diafragmas como

$$\{\delta_w\} = \left([M_{11}] + [M_{12}] \right) [M_8] \{U'\} \quad (\text{II.2-087})$$

Lembrando-se que a força normal numa parede genérica pode ser determinada a partir da deformação vertical no seu eixo, têm-se as *forças normais* em todas as paredes, dadas por

$$\{N_w\} = [M_{13}] \left([M_{11}] + [M_{12}] \right) [M_8] \{U''\} \quad (\text{II.2-088})$$

onde

$$\{N_w\} = \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \\ N_5 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-089})$$

e $[M_{13}]$ contém somente elementos na diagonal, iguais ao produto do módulo de elasticidade pela área das paredes, ou seja

$$[M_{13}] = E \begin{bmatrix} A_1 & & & & \\ & A_2 & & & \\ & & A_3 & & \\ & & & A_4 & \\ & & & & A_5 \end{bmatrix} \quad \text{(II.2-090)}$$

Com as forças normais e os momentos fletores em todas as paredes, é possível a determinação das tensões axiais em qualquer ponto da secção transversal da estrutura ao longo de toda a altura do edifício.

Os deslocamentos verticais nas intersecções, positivos no sentido do topo para a base, são determinados a partir das equações de compatibilidade (II.2-030) a (II.2-034) por

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \delta_2 - u'_2 \frac{L_2}{2} \\ V_2 &= \delta_1 - u'_1 \frac{L_1}{2} \\ V_3 &= \delta_3 + u'_3 \frac{L_3}{2} \\ V_4 &= \delta_5 + u'_5 \frac{L_5}{2} \\ V_5 &= \delta_4 + u'_4 \left(\frac{L_4 + L_L}{2} \right) - \frac{q_5 h L_L^3}{24 E J_L} \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.2-091)}$$

Com (II.2-073) e (II.2-091), tem-se

$$\{V_w^*\} = \{\delta_w\} + [M_{14}][M_8]\{U'\} \quad \text{(II.2-092)}$$

onde

$$\{V_w^*\} = \begin{Bmatrix} V_2 \\ V_1 \\ V_3 \\ V_5 \\ V_4 \end{Bmatrix} \quad \text{(II.2-093)}$$

$$[M_{14}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -L_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -L_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_3 & 0 & 0 \\ L_1 & L_2 & -L_3 & \frac{L_L}{2} & - \left(\frac{L_L + 2L_5}{2} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_5 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-094})$$

Com os deslocamentos verticais nos eixos das paredes e com os valores das derivadas primeiras dos deslocamentos horizontais das mesmas nos seus planos, o deslocamento vertical pode ser determinado em qualquer ponto da secção transversal da estrutura ao longo de toda a altura.

II.2.2.3 - Programas para o cálculo automático

Com base nas expressões deduzidas nos itens (II.2.2.1) e (II.2.2.2), foi escrito um conjunto de programas em linguagem *FORTRAN IV*, para o computador *HP-2100A*, com 32 K palavras de 16 bits de memória. Para que o cálculo automático pudesse tratar de problemas de grandes proporções, foi necessária a utilização da *técnica de segmentação de programas* e de *memória auxiliar* (disco magnético). Devido à semelhança entre os itens (II.2.2) e (II.2.3), alguns dos programas apresentados foram utilizados em ambos.

Apresenta-se a seguir uma pequena descrição dos segmentos e subprogramas, esquema de execução do cálculo de uma estrutura, dados de entrada, tabela de erros, variáveis cujas dimensões dependem do número de andares, listagens dos programas e exemplo de impressão dos resultados.

a) Descrição dos segmentos e subprogramas

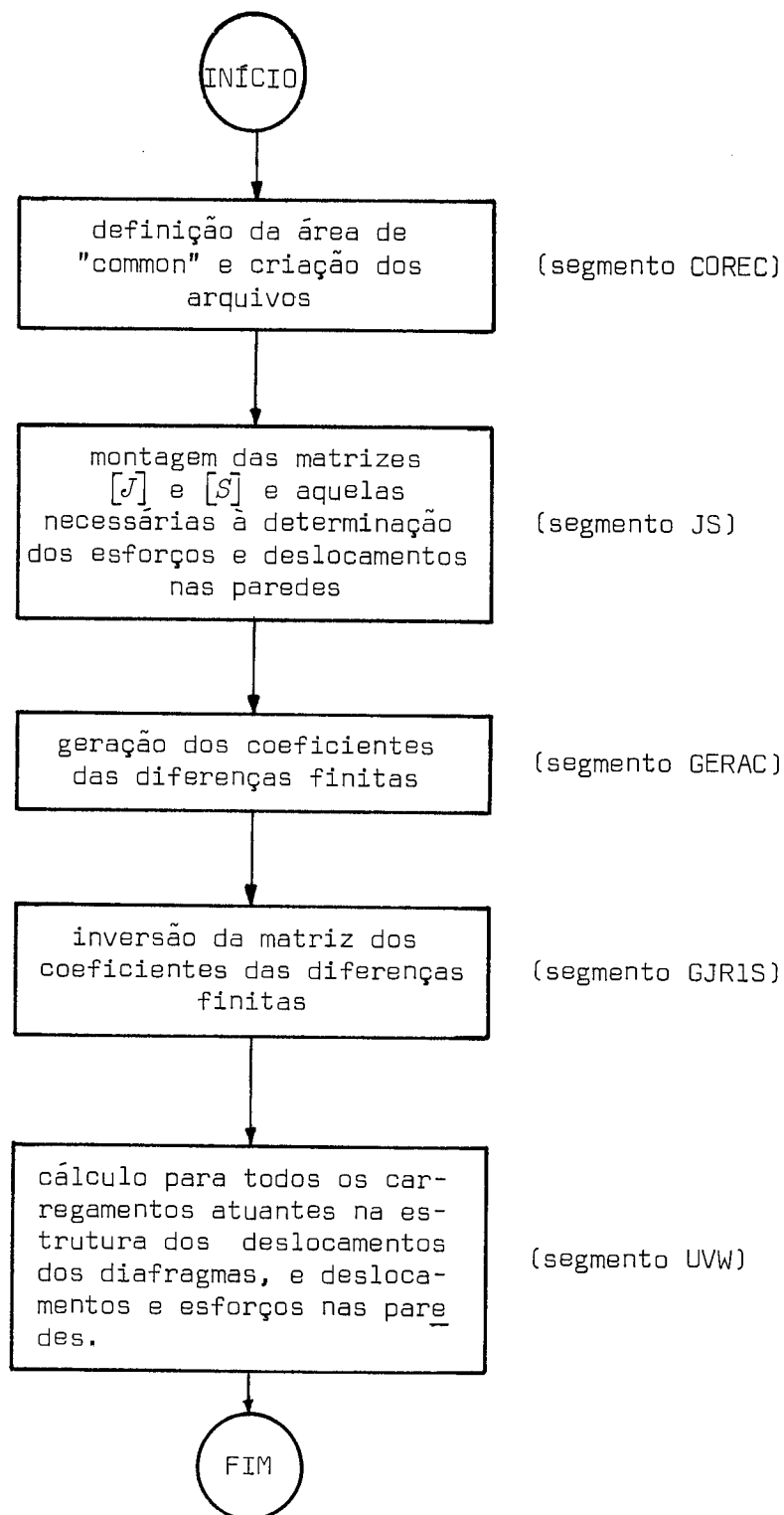
Segmento COREC - é o segmento principal e tem como funções definir a área de passagem de parâmetros de um segmento para o outro (ÁREA DE "COMMON"), criar todos os arquivos na

memória auxiliar necessários durante o processamento e manter as conexões entre os vários segmentos.

- Segmento JS* - monta as matrizes coeficientes do sistema de equações diferenciais $[J]$ e $[S]$, gera as matrizes necessárias à determinação dos esforços e deslocamentos das paredes e imprime os dados da estrutura.
- Segmento GERAC* - monta a matriz dos coeficientes das diferenças finitas, a partir das matrizes $[J]$ e $[S]$, como está descrito no *apêndice B*.
- Segmento GJR1S* - inverte, pelo método de GAUSS - JORDAN-RUTISHAUSER, a matriz dos coeficientes das diferenças finitas, usando memória auxiliar.
- Segmento UVW* - lê os dados dos carregamentos e calcula os deslocamentos dos diafragmas, bem como suas derivadas até ordem três, utilizadas para o cálculo dos esforços e deslocamentos nas paredes. A força cortante do carregamento externo é definida em função de z pelo comando função $Q(z)$, interno a este. Na listagem em anexo, $Q(z)$ é definida para carga uniformemente distribuída e concentrada no topo; para outro tipo de carga basta alterá-la.
- subprograma ESFOR* - calcula e imprime os deslocamentos e esforços nas paredes, e os deslocamentos verticais e tensões normais em vários pontos da seção transversal, sob a coordenação do segmento *UVW*.
- subprograma FOLHA* - faz o posicionamento de folha nova para impressão.
- subprograma GJRS* - inverte, pelo método de GAUSS-JORDAN-RUTISHAUSER, uma matriz armazenada na memória principal.
- subprograma MULT* - efetua o produto de $[A]$ por $[B]$ colocando o resultado em $[C]$.

subprograma *MULT1* - efetua o produto de $[A]$ por $\{B\}$ colocando o resultado em $\{C\}$.

b) Passos principais no cálculo de uma estrutura



c) *Descrição dos dados de entrada*

Os dados serão fornecidos através de fita de papel perfurada na ordem especificada a seguir:

c.1) *Dados sobre a estrutura* (formato livre)

número de andares e altura dos mesmos (*um registro*)
módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (*um registro*)

c.2) *Geometria das paredes* (formato livre)

número da parede, espessura e comprimento da mesma (*cinco registros*)

c.3) *Dados dos lintéis* (formato livre)

espessura, altura e comprimento dos lintéis (*um registro*)

c.4) *Componentes dos versores definidos nos planos das paredes* (formato livre)

número da parede e componentes a , b e c do versor definido no seu plano (*cinco registros*)

c.5) *Título da estrutura* (formato 40A2) - (*um registro*)

c.6) *Número de carregamentos atuantes na estrutura* (formato livre) - (*um registro*)

c.7) *Dados dos carregamentos* (formato livre)

valor da carga concentrada no topo da estrutura e componentes a , b e c do versor definido no seu plano; e valor da carga uniformemente distribuída com as componentes a , b e c do versor do seu plano (o número de registros é igual ao número de carregamentos lido em c.6).

Para o processamento de várias estruturas, basta repetir-se os dados de (c.1) a (c.7) para cada uma delas, colocando-se, após a última, um registro com o número de andares igual a zero.

d) Tabela de erros

Os erros possíveis durante o processamento causarão uma interrupção do mesmo, através de um comando *STOP*, cuja localização, número e causa são descritos a seguir.

Tabela II.2-01 - Tabela de erros

<i>Número do STOP</i>	<i>Localização</i>	<i>Causa do erro</i>
0000	subprograma GJRS	a matriz $[M_1]$ é singular
0001	segmento GJR1S	a matriz dos coeficientes das diferenças finitas é singular.

Só haverá possibilidade de erro quando o fornecimento dos dados de entrada não for compatível com o mostrado no item (II.2.2.1).

e) Variáveis cujas dimensões dependem do número de andares

Tabela II.2-02 - Variáveis de dimensões dependentes do número de andares

<i>Variáveis</i>	<i>Tipos</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Localização</i>
ITRB	I	18 (NAND+7) e múltiplo de 128	segmentos COREC, JS, GERAC, GJR1S e UVW subprograma ESFOR
COEF	DP	3 (NAND+7)	segmentos GERAC e UVW
A,B,C,AUX	DP	3 (NAND+7)	segmento GJR1S
IP,IQ	I	3 (NAND+7)	segmento GJR1S
F,CC	DP	3 (NAND+7)	segmento UVW
NORM,MOMEM	DP	(NAND+1, 5)	subprograma ESFOR

Na tabela (II.2-02), *I* e *DP* indicam respectivamente os tipos de dados inteiro e precisão estendida, e *NAND* o número de andares do edifício. Nas listagens apresentadas as variáveis da tabela anterior estão dimensionadas para uma estrutura até cinquenta andares. Caso o número de andares for maior que o especificado, somente as di

mensões das variáveis da tabela (II.2-02) devem ser modificadas, tomando-se cuidado com a capacidade de memória da máquina.

f) Listagens dos programas

f.1) Segmento COREC

```

001 FTN4
002     PROGRAM COREC(3)
003 C----
004 C----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C----          ESTRUTURA COM UM UNICO CANAL
006 C----          CRIACAO DOS ARQUIVOS
007 C----
008     INTEGER ARQ1(3),SCODE1(2),NOTRB(2),SCODE2(2),ARQ2(3),JS(3)
009     *,ARQ3(3)
010     DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
011     COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
012     DATA ARQ1,ARQ2,SCODE1,SCODE2,NOTRB/2HAR,2HQ1,1H ,2HAR,2HQ2,1H ,
013     *1,0,2,0,1,1/,JS/2HJS,2H ,1H /
014     *,ARQ3/2HAR,2HQ3,1H /
015 C          LEITURA DO NRO DE ANDARES E ALTURA DO ANDAR
016     READ(5,*)NAND,H
017     IF(NAND.LE.0)GO TO 10
018     N=NAND+7
019     HT=NAND*H
020     CALL EXEC(24,1,IOTB,128,ITRB,NOTRB,11,IER)
021     CALL TESTE(1)
022     CALL EXEC(24,2,ARQ1,0,N,27,SCODE1,IER)
023     CALL TESTE(2)
024     CALL EXEC(24,2,ARQ2,0,3*N,9*N,SCODE2,IER)
025     CALL TESTE(108)
026     CALL EXEC(24,2,ARQ3,0,1,3*148,SCODE2,IER)
027     CALL TESTE(208)
028 C          GERACAO DAS MATRIZES [J] E [S]
029     CALL EXEC(8,JS)
030     10 END
031 $

```

f.2) Segmento JS

```

001 FTN4
002 PROGRAM JS(5)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          ESTRUTURA COM UM UNICO CANAL
006 C-----          GERACAO DE [J] E [S]
007 C-----
008 DOUBLE PRECISION B(5),COMP(5),AREA(5),EJ(5)
009 *,AUX1(4),AUX2(4),COMPL,HT,BL,HL
010 *,BI,COMPI,AUX(148),M1238L(5,3)
011 INTEGER IP(4),IQ(4)
012 *,GERAC(3),CABEC(40),ARQ3(3),PAREDE
013 DOUBLE PRECISION MI,IL,M8(5,3),M1(4,4),M2(4,1),M3(1,5),
014 *M4(4,5),H,SJT,S1,S2,S3,S4,S5,C1,E1,E2,E3,D,F,G,E
015 *,M1238(4,3),M148(4,3),M5(5,5),M6(5,1),
016 *M7(5,4),M71238(5,3),M7148(5,3),M638(5,3),M58(5,3),MQ1(5,3),
017 *MQ3(5,3),M8T(3,5),S(3,3),JJ(3,3)
018 *,M12A(4,1),M123(4,5),M14A(4,5),M63(5,5)
019 *,M108(1,3),M11(5,5),M18(5,3),M128(5,3),M13(5,5),M13128(5,3)
020 *,M15(7,5),M158(7,3)
021 *,M38(1,3),MORE(5)
022 EQUIVALENCE (E1,COMP(4)),(E2,COMPL),(E3,COMP(5)),(D,COMP(2))
023 *,(F,COMP(3)),(G,COMP(1)),(S1,AREA(1)),(S2,AREA(2)),(S3,AREA(3))
024 *,(S4,AREA(4)),(S5,AREA(5))
025 *,(AUX(1),M8),(AUX(16),M58),(AUX(31),M1238L),(AUX(46),M148),
026 *,(AUX(58),MQ1),(AUX(73),MQ3),(AUX(88),M128),(AUX(103),M13128)
027 *,(AUX(118),M158),(AUX(139),AREA),(AUX(144),MORE)
028 COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
029 DATA GERAC/2HGE,2HRA,1HC/
030 *,ARQ3/2HAR,2HQ3,1H /
031 C LEITURA DAS PROPS FISICAS E GEOM. DO NUCLEO E LINTEL
032 READ(5,*)E,MI
033 DO 1 I=1,5
034 1 READ(5,*)PAREDE,B(PAREDE),COMP(PAREDE)
035 READ(5,*)BL,HL,COMPL
036 C LEITURA DAS COORD.DAS PAREDES
037 DO 2 I=1,5
038 2 READ(5,*)PAREDE,(M8(PAREDE,J),J=1,3)
039 READ(5,5)CABEC
040 5 FORMAT(40A2)
041 CALL FOLHA
042 WRITE(6,15)CABEC
043 15 FORMAT(" EDIFICIO COM UMA PAREDE DE SECCAO ABERTA, FORMADA POR"
044 *" UM UNICO CANAL,"/" CONTRAVENTADA POR LINTEIS - TECNICA"
045 *" DO MEIO CONTINUO"/1X,40A2//)" DADOS DA ESTRUTURA")
046 NAND=N-7
047 WRITE(6,25)E,MI,H,NAND
048 25 FORMAT(" MOD.ELASTICIDADE COEF.POISSON ALT.ANDAR NRO ANDARES"
049 */E16.7,F11.3,F14.3,I9/)
050 WRITE(6,35)(I,B(I),COMP(I),(M8(I,J),J=1,3),I=1,5)
051 35 FORMAT(" PAREDES"/" NUMERO LARGURA COMPRIMENTO"5X"A"9X"B"
052 *9X"C"/(15,1X,2F10.4,3X,3F10.4))
053 WRITE(6,45)BL,HL,COMPL
054 45 FORMAT("/" LINTEL"/" LARGURA ALTURA COMPRIM.*/F9.4,2F10.4)
055 SJT=0.
056 IL=BL*HL*HL*HL
057 DO 10 I=1,5
058 BI=R(I)
059 COMPI=COMP(I)
060 AREA(I)=BI*COMPI

```

```

061      EJ(I)=BI*COMPI*COMPI*COMPI/12.
062      MORE(I)=2*EJ(I)/COMPI
063      10 SJT=SJT+BI*BI*BI*COMPI
064      SJT=0.5/(1.+MI)*SJT/3.
065      C          GERACAO DE [M1] (4X4)
066      DO 20 I=1,4
067      DO 20 J=1,4
068      20 M1(I,J)=0.
069      M1(1,1)=S2+S4
070      M1(1,2)=-S4
071      M1(2,1)=-S1
072      M1(2,2)=S1+S2
073      M1(2,3)=-S2
074      M1(3,2)=-S3
075      M1(3,3)=S1+S3
076      M1(3,4)=S1
077      M1(4,3)=S5
078      M1(4,4)=S3+S5
079      C          INVERSAO DE [M1]
080      CALL GJRS(M1,AUX1,AUX2,IP,IQ,4)
081      C          GERACAO DE [M2] (4X1)
082      M2(1,1)=-S2
083      M2(2,1)=0.
084      M2(3,1)=0.
085      M2(4,1)=S3
086      C          GERACAO DE [M3] (1X5)
087      C1=IL/H/E2/E2/E2
088      M3(1,1)=-C1*G
089      M3(1,2)=-C1*D
090      M3(1,3)=C1*F
091      M3(1,4)=C1*(2.0*E1+E2)*0.5
092      M3(1,5)=C1*(E2+2.0*E3)*0.5
093      C          GERACAO DE [M4] (4X5)
094      DO 30 I=1,4
095      DO 30 J=1,5
096      30 M4(I,J)=0.
097      C1=0.5
098      M4(1,2)=-C1*D*S2*S4
099      M4(1,4)=C1*E1*S2*S4
100      M4(2,1)=-C1*G*S1*S2
101      M4(2,2)=-C1*D*S2*S1
102      M4(3,1)=-C1*G*S1*S3
103      M4(3,3)=C1*F*S1*S3
104      M4(4,3)=-C1*F*S3*S5
105      M4(4,5)=-C1*E3*S3*S5
106      CALL MULT(M1,M2,M12A,4,4,1)
107      CALL MULT(M12A,M3,M123,4,1,5)
108      CALL MULT(M123,M8,M1238,4,5,3)
109      CALL MULT(M1,M4,M14A,4,4,5)
110      CALL MULT(M14A,M8,M148,4,5,3)
111      C          GERACAO DE [M5] (5X5)
112      DO 50 I=1,5
113      DO 40 J=1,5
114      40 M5(I,J)=0.
115      50 M5(I,I)=-EJ(I)
116      C          GERACAO DE [M6] (5X1)
117      DO 60 I=1,3
118      60 M6(I,1)=0.
119      M6(4,1)=(E1+E2)*0.5
120      M6(5,1)=(E2+E3)*0.5
121      C          GERACAO DE [M7] (5X4)
122      DO 70 I=1,5
123      DO 70 J=1,4
124      70 M7(I,J)=0.
125      M7(1,2)=0.5*G
126      M7(1,3)=M7(1,2)
127      M7(2,1)=0.5*D
128      M7(2,2)=M7(2,1)
129      M7(3,3)=-0.5*F
130      M7(3,4)=-M7(3,3)

```

```

131      M7(4,1)=-0.5*E1
132      M7(5,4)=0.5*E3
133      CALL MULT(M7,M1238,M71238,5,4,3)
134      CALL MULT(M7,M148,M7148,5,4,3)
135      CALL MULT(M3,M8,M38,1,5,3)
136      CALL MULT(M6,M38,M638,5,1,3)
137      CALL MULT(M5,M8,M58,5,5,3)
138      DO 80 I=1,5
139      DO 80 J=1,3
140      MQ1(I,J)=M638(I,J)+M71238(I,J)
141      80 MQ3(I,J)=M58(I,J)+M7148(I,J)
142      DO 90 I=1,5
143      DO 90 J=1,3
144      90 M8T(J,I)=M8(I,J)
145      CALL MULT(M8T,MQ1,S,3,5,3)
146      S(3,3)=S(3,3)+SJT
147      CALL MULT(M8T,MQ3,JJ,3,5,3)
148      WRITE(6,55)((S(I,J),J=1,3),I=1,3)
149      55 FORMAT(/" MATRIZ [S]"/(3E20.7))
150      WRITE(6,65)((JJ(I,J),J=1,3),I=1,3)
151      65 FORMAT(/" MATRIZ -[J]"/(3E20.7))
152      DO 100 I=1,5
153      DO 100 J=1,5
154      M11(I,J)=0.
155      M13(I,J)=0.
156      100 M15(I,J)=0.
157      C          GERACAO DE [M108](1X3)
158      DO 110 I=1,3
159      110 M108(1,I)=(M148(3,I)-M148(2,I))/S1
160      C          GERACAO DE [M11](5X5)
161      M11(2,1)=-0.5*G
162      M11(2,2)=-0.5*D
163      M11(3,1)=0.5*G
164      M11(3,3)=-0.5*F
165      M11(4,1)=-0.5*G
166      M11(4,2)=-D
167      M11(4,4)=0.5*E1
168      M11(5,1)=0.5*G
169      M11(5,3)=-F
170      M11(5,5)=-0.5*E3
171      CALL MULT(M11,M8,M18,5,5,3)
172      C          GERACAO DE [M128]
173      DO 120 I=1,5
174      DO 120 J=1,3
175      120 M128(I,J)=M108(1,J)+M18(I,J)
176      C          GERACAO DE [M131](5X5)
177      DO 130 I=1,5
178      130 M13(I,I)=AREA(I)
179      CALL MULT(M13,M128,M13128,5,5,3)
180      C          GERACAO DE [M15] (7X5)
181      M15(1,1)=-0.5*G
182      M15(2,2)=-0.5*D
183      M15(3,3)=0.5*F
184      M15(4,1)=0.5*G
185      M15(4,2)=0.5*D
186      M15(4,3)=-0.5*F
187      M15(4,4)=0.25*E2
188      M15(4,5)=-0.25*(E2+2.*E3)
189      M15(5,5)=0.5*E3
190      M15(6,4)=0.5*E1
191      M15(7,5)=-0.5*E3
192      CALL MULT(M15,M8,M158,7,5,3)
193      DO 150 J=1,3
194      DO 140 I=1,4
195      140 M1238L(I,J)=M1238(I,J)
196      150 M1238L(5,J)=M38(1,J)
197      C          REARRANJO DE [M58] PARA CALCULO DE [NOM]
198      DO 160 I=1,5
199      DO 160 J=1,3
200      160 M58(I,J)=-M58(I,J)

```

```

201      DO 180 J=1,3
202      DO 170 I=1,5
203      170 M158(I,J)=M158(I,J)+M128(I,J)
204      M158(6,J)=M158(6,J)+M128(4,J)
205      180 M158(7,J)=M158(7,J)+M128(5,J)
206      CALL EXEC(24,8,ARQ3,1,AUX,IER)
207      CALL TESTE(218)
208 C      GERACAO DOS COEFS DAS DIFS FINITAS
209      CALL EXEC(8,GERAC)
210      CALL COREC
211      END
212 S

```

f.3) Segmento GERAC

```

001 FTN4
002      PROGRAM GERAC(5)
003 C-----
004 C-----      TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----      GERACAO DOS COEFICIENTES DAS DIFS FINITAS
006 C-----
007      DOUBLE PRECISION C1(3),C2(3),C3(3),COEF(171)
008      *,H2
009      INTEGER ARQ2(3),GJR1S(3)
010      *,INDICE(3)
011      DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
012      COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
013      DATA ARQ2/2HAR,2HQ2,1H /,GJR1S/2HGJ,2HR1,1HS/
014      N3=3*N
015      CALL ZERAR(COEF,1,N3)
016 C      CONDICAOES DE CONTORNO
017 C      DESLOCAMENTOS NA BASE IGUAIS A ZERO
018      I1=0
019      DO 10 I=1,3
020      COEF(I1+4)=1.
021      CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,COEF,IER)
022      CALL TESTE(508)
023      COEF(I1+4)=0.
024      10 I1=I1+N
025 C      PRIM DER DOS DESLOCS NA BASE IGUAIS A ZERO
026      I1=0
027      DO 20 I=4,6
028      COEF(I1+2)=1.
029      COEF(I1+3)=-8.
030      COEF(I1+5)=8.
031      COEF(I1+6)=-1.
032      CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,COEF,IER)
033      CALL TESTE(518)
034      CALL ZERAR(COEF,I1+2,I1+6)
035      20 I1=I1+N
036 C      SEG. DER. DOS DESLOCS NO TOPO IGUAIS A ZERO
037      I1=N
038      DO 30 I=7,9
039      COEF(I1-5)=-1.
040      COEF(I1-4)=16.
041      COEF(I1-3)=-30.
042      COEF(I1-2)=16.
043      COEF(I1-1)=-1.
044      CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,COEF,IER)
045      CALL TESTE(528)
046      CALL ZERAR(COEF,I1-5,I1-1)
047      30 I1=I1+N

```

```

048 C          EQUACOES COMPLEMENTARES
049 C          PONTOS 1, N-1, N CALCULADOS POR P(X)
050          INDICE(1)=4
051          INDICE(2)=N-5
052          INDICE(3)=N-4
053          INIC=10
054          DO 120 J=1,3
055          M=INDICE(J)
056          I1=0
057          DO 110 I=INIC,INIC+2
058          COEF(I1+M-3)=1.
059          COEF(I1+M-2)=-7.
060          COEF(I1+M-1)=21.
061          COEF(I1+M)=-35.
062          COEF(I1+M+1)=35.
063          COEF(I1+M+2)=-21.
064          COEF(I1+M+3)=7.
065          COEF(I1+M+4)=-1.
066          CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,COEF,IER)
067          CALL TESTE(55B)
068          CALL ZERAR(COEF,I1+M-3,I1+M+4)
069          110 I1=I1+N
070          120 INIC=INIC+3
071 C          EQUACOES GERAIS
072          H2=H*H
073          DO 70 K=1,3
074          INDAR=18
075          DO 40 I=1,3
076          C1(I)=3*JJ(K,I)
077          C2(I)=-24*JJ(K,I)+2.*H2*S(K,I)
078          40 C3(I)=39.*JJ(K,I)-16.*H2*S(K,I)
079          DO 70 M=4,N-3
080          I1=0
081          DO 50 I=1,3
082          COEF(I1+M-3)=C1(I)
083          COEF(I1+M-2)=C2(I)
084          COEF(I1+M-1)=C3(I)
085          COEF(I1+M+1)=-C3(I)
086          COEF(I1+M+2)=-C2(I)
087          COEF(I1+M+3)=-C1(I)
088          50 I1=I1+N
089          CALL EXEC(24,8,ARQ2,INDAR+K,COEF,IER)
090          CALL TESTE(53B)
091          INDAR=INDAR+3
092          I1=0
093          DO 60 I=1,3
094          CALL ZERAR(COEF,I1+M-3,I1+M+3)
095          60 I1=I1+N
096          70 CONTINUE
097 C          INVERSAO DA MATRIZ DOS COEFICIENTES
098          CALL EXEC(8,GJRI5)
099          CALL COREC
100          END
101          SUBROUTINE ZERAR(A,INIC,IFIM)
102          DOUBLE PRECISION A(I)
103          DO 10 I=INIC,IFIM
104          10 A(I)=0.
105          END
106          ENDS

```

f.4) Segmento GJR1S

```

001 FTN4
002 PROGRAM GJR1S(5)
003 C----
004 C----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C----          INVERSAO DE MATRIZ POR GAUSS JORDAN RUTISHAUSER
006 C----          USANDO MEMORIA AUXILIAR
007 C----
008 DOUBLE PRECISION A(171),B(171),C(171),AUX(171),T,Z,PIVO,S
009 INTEGER IP(171),IQ(171),ARQ2(3),UVW(3)
010 DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
011 COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
012 DATA ARQ2,UVW/2HAR,2HQ2,1H ,2HUV,2HW ,1H /
013 NEQ=3*N
014 DO 110 K=1,NEQ
015 CALL EXEC(24,6,ARQ2,K,AUX,IER)
016 CALL TESTE(308)
017 T=0.
018 DO 20 I=K,NEQ
019 CALL EXEC(24,6,ARQ2,I,A,IER)
020 CALL TESTE(318)
021 S=0.
022 DO 10 J=K,NEQ
023 10 S=S+DABS(A(J))
024 IF(S.EQ.0.)GO TO 160
025 DO 20 J=K,NEQ
026 IF((DABS(A(J))-S*T).LE.0.)GO TO 20
027 IP(K)=I
028 IQ(K)=J
029 PIVO=A(J)
030 T=DABS(PIVO/S)
031 20 CONTINUE
032 IF(T.EQ.0.)GO TO 160
033 IF(IP(K).EQ.K)GO TO 40
034 C          TROCA DAS LINHAS IPK E K
035 IPK=IP(K)
036 CALL EXEC(24,6,ARQ2,IPK,A,IER)
037 CALL TESTE(328)
038 CALL EXEC(24,8,ARQ2,IPK,AUX,IER)
039 CALL TESTE(338)
040 DO 30 J=1,NEQ
041 30 AUX(J)=A(J)
042 40 IF(IQ(K).EQ.K)GO TO 60
043 C          TROCA DAS COLUNAS IQK COM K
044 IQK=IQ(K)
045 DO 50 I=1,NEQ
046 CALL EXEC(24,6,ARQ2,I,A,IER)
047 CALL TESTE(358)
048 Z=A(IQK)
049 A(IQK)=A(K)
050 A(K)=Z
051 CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,A,IER)
052 CALL TESTE(368)
053 50 CONTINUE
054 C          TROCA DAS COLUNAS IQK COM K DA LINHA K
055 Z=AUX(IQK)
056 AUX(IQK)=AUX(K)
057 AUX(K)=Z
058 60 DO 90 J=1,NEQ
059 CALL EXEC(24,6,ARQ2,J,A,IER)
060 CALL TESTE(378)
061 IF(J.NE.K)GO TO 70
062 B(J)=1./PIVO
063 C(J)=1.
064 AUX(J)=0.

```



```

065      GO TO 90
066      70 B(J)=-AUX(J)/PIVO
067      C(J)=A(K)
068      AUX(J)=0.
069      A(K)=0.
070      CALL EXEC(24,8,ARQ2,J,A,IER)
071      CALL TESTE(608)
072      90 CONTINUE
073      CALL EXEC(24,8,ARQ2,K,AUX,IER)
074      CALL TESTE(408)
075      DO 110 I=1,NEG
076      CALL EXEC(24,6,ARQ2,I,A,IER)
077      CALL TESTE(418)
078      DO 100 J=1,NEG
079      100 A(J)=A(J)+C(I)*B(J)
080      CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,A,IER)
081      CALL TESTE(428)
082      110 CONTINUE
083      DO 150 K=NEG,1,-1
084      IF(IP(K).EQ.X)GO TO 130
085      C      TROCA DAS COLUNAS IPK COM K
086      IPK=IP(K)
087      DO 120 I=1,NEG
088      CALL EXEC(24,6,ARQ2,I,A,IER)
089      CALL TESTE(438)
090      Z=A(IPK)
091      A(IPK)=A(K)
092      A(K)=Z
093      CALL EXEC(24,8,ARQ2,I,A,IER)
094      CALL TESTE(448)
095      120 CONTINUE
096      130 IF(IQ(K).EQ.K)GO TO 150
097      C      TROCA DAS LINHAS IQK COM K
098      IQK=IQ(K)
099      CALL EXEC(24,6,ARQ2,IQK,A,IER)
100      CALL TESTE(458)
101      CALL EXEC(24,6,ARQ2,K,AUX,IER)
102      CALL TESTE(468)
103      CALL EXEC(24,8,ARQ2,IQK,AUX,IER)
104      CALL TESTE(478)
105      CALL EXEC(24,8,ARQ2,K,A,IER)
106      CALL TESTE(508)
107      150 CONTINUE
108      GO TO 170
109      160 WRITE(6,25)
110      25 FORMAT(/20X"*** MATRIZ SINGULAR ***")
111      STOP 0001
112      170 CALL EXEC(8,UVW)
113      CALL COREC
114      END
115      ENDS

```

f.5) Segmento UVW

```

001      FTN4
002      PROGRAM UVW(5)
003      C----
004      C----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005      C----          CALCULO DOS DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA
006      C----
007      DOUBLE PRECISION F(171),CC(171),COEF(171),U,V,W
008      *,P,A,B,C,C1,C2,Z,Q
009      *,PH,AH,BH,CH,FXH,FYH,TH,SOMA,C3
010      DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E,UVW1(3),UVW2(3),UVW3(3)

```

```

011      *,AUX1(9)
012      COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
013      EQUIVALENCE (AUX1(1),UVW1),(AUX1(4),UVW2),(AUX1(7),UVW3)
014      INTEGER ARQ1(3),ARQ2(3),ANDAR
015      DATA ARQ1,ARQ2/2HAR,2HQ1,1H ,2HAR,2HQ2,1H /
016 C      FUNCAO PARA CALCULO DE Q(Z) [CARGA UNIF.DISTR]
017      Q(Z)=P*(HT-Z)
018      READ(5,*)NCARG
019      DO 50 L=1,NCARG
020      CALL FOLHA
021      READ(5,*)PH,AH,BH,CH,P,A,B,C
022      WRITE(6,25)L
023      25 FORMAT(" CARREGAMENTO NRO="I4/4X"TIPO"8X"P"9X"A"9X"B"9X"C")
024      IF(P.NE.0.)WRITE(6,35)P,A,B,C
025      IF(PH.NE.0.D0)WRITE(6,45)PH,AH,BH,CH
026      35 FORMAT(" UNIF DIST"4F10.4)
027      45 FORMAT(" CONCENTR "4F10.4)
028 C      COND. DE CONTORNO
029      DO 10 I=1,18
030      10 CC(I)=0.
031 C      CORTANTES DE 4 A (N-3)
032      NM3=N-3
033      C1=24*H*H*H
034      FXH=PH*AH*C1
035      FYH=PH*BH*C1
036      TH=PH*CH*C1
037      INDICE=18
038      DO 20 M=4,NM3
039      Z=(M-4)*H
040      C2=C1*Q(Z)
041      CC(INDICE+1)=A*C2+FXH
042      CC(INDICE+2)=B*C2+FYH
043      CC(INDICE+3)=C*C2+TH
044      20 INDICE=INDICE+3
045 C      CALCULO DOS DESLOCAMENTOS
046      N3=3*N
047      DO 30 I=1,N3
048      SOMA=0.
049      CALL EXEC(24,6,ARQ2,I,COEF,IER)
050      CALL TESTE(60B)
051      DO 26 K=1,N3
052      26 SOMA=SOMA+COEF(K)*CC(K)
053      30 F(I)=SOMA
054 C      IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS
055      WRITE(6,5)L
056      5 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA (CARREGAMENTO NRO="I4
057      *")"/" ANDAR"6X"DESLOC X"
058      *7X"DESLOC Y"7X"ROTACAO")
059      N2=2*N
060      DO 40 M=4,NM3
061      ANDAR=M-4
062      U=F(M)/E
063      V=F(M+N)/E
064      W=F(M+N2)/E
065      40 WRITE(6,15)ANDAR,U,V,W
066      15 FORMAT(I8,3E16.7)
067      C1=1./(12.*H)
068      C2=1./12./H/H
069      C3=1./8./H/H/H
070 C      CALCULO DA PRIM. SEG E TER DER DOS DESLOCS
071 C      PONTOS DE 4..(N-3)
072      DO 70 M=4,NM3
073      DO 60 I=1,3
074      A=(I-1)*N
075      UVW1(I)=C1*(F(A+M-2)-8.*F(A+M-1)+8.*F(A+M+1)-F(A+M+2))
076      UVW2(I)=C2*(-F(A+M-2)+16*F(A+M-1)-30.*F(A+M)+16.*F(A+M+1)
077      *-F(A+M+2))
078      60 UVW3(I)=C3*(F(A+M-3)-8.*F(A+M-2)+13.*F(A+M-1)-13.*F(A+M+1)
079      *+8.*F(A+M+2)-F(A+M+3))

```

```

080      CALL EXEC(24,8,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
081      CALL TESTE(3)
082      70 CONTINUE
083 C      CALCULO DOS DELOCS ,ESFORCOS E TENSOES NAS PAREDES
084      CALL ESFOR(F,L)
085      50 CONTINUE
086      CALL COREC
087      END
088 $

```

f.6) Subprograma ESFOR

```

001 FTN4
002      SUBROUTINE ESFOR(F,NCAR)
003 C-----
004 C-----      TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----      ESTRUTURA COM UM UNICO CANAL
006 C-----      CALCULO DOS DESLOCAMENTOS, ESFORCOS E TENSOES
007 C-----      NAS PAREDES
008 C-----
009      DOUBLE PRECISION F(1),AUXJ(148),AUX5(4)
010      *,UVW(3),UVW1(3),UVW2(3),UVW3(3),AUX1(9),Z,DELTA(5),NORMAL(5),V(7),
011      *U(5),MOM(5),Q(5),AUX2(5),M8(5,3),M58(5,3),M148(4,3),MQ1(5,3)
012      *,MQ3(5,3),JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E,M128(5,3),M13128(5,3),M158(7,3)
013      *,M1238L(5,3),TENS
014      *,AREA(5),MORE(5),NORM(51,5),MOMEM(51,5),SIGMA(6)
015      INTEGER A,ARQ1(3),ARQ3(3),ANDAR
016      EQUIVALENCE (AUX1(1),UVW1),(AUX1(4),UVW2),(AUX1(7),UVW3),
017      *(U,MOM,Q,DELTA,NORMAL),(AUX3(1),M8),(AUX3(16),M58),(AUX3(31),
018      *M1238L),(AUX3(46),M148),(AUX3(58),MQ1),(AUX3(73),MQ3),(AUX3(88),
019      *M128),(AUX3(103),M13128),(AUX3(118),M158)
020      *,(AUX3(139),AREA),(AUX3(144),MORE)
021      COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
022      DATA ARQ1,ARQ3/2HAR,2HQ1,1H ,2HAR,2HQ3,1H /
023      TENS(I,J,SINAL)=-NORM(I,J)/AREA(J)+SINAL*MOMEM(I,J)/MORE(J)
024      CALL EXEC(24,6,ARQ3,1,AUX3,IER)
025      CALL TESTE(228)
026      CALL FOLHA
027      WRITE(6,5)NCAR
028      5 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NOS PLANOS DAS PAREDES"
029      *" (CARREGAMENTO NRO="I4")")
030      WRITE(6,105)(I,I=1,5)
031      105 FORMAT(" ANDAR"5(5X"PAREDE"13,1X))
032      N3=N-3
033      DO 50 M=4,N3
034      ANDAR=M-4
035      DO 40 I=1,3
036      A=(I-1)*N
037      40 UVW(I)=F(M+A)/E
038      CALL MULT1(M8,UVW,U,5,3)
039      50 WRITE(6,15)ANDAR,U
040      15 FORMAT(18,5E15,7)
041      CALL FOLHA
042      WRITE(6,25)NCAR
043      25 FORMAT(4/" MOMENTOS FLETORES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="
044      *I4")")
045      WRITE(6,105)(I,I=1,5)
046      DO 60 M=4,N3
047      ANDAR=M-4
048      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
049      CALL TESTE(5)
050      CALL MULT1(M58,UVW2,MOM,5,3)

```

```

051      DO 51 I=1,5
052      51 MOMEM(M-3,I)=MOM(I)
053      60 WRITE(6,15)ANDAR,MOM
054      CALL FOLHA
055      WRITE(6,45)NCAR
056      45 FORMAT(4/" FORCAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="
057      *I4")")
058      WRITE(6,105)(I,I=1,5)
059      DO 80 M=4,N3
060      ANDAR=M-4
061      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
062      CALL TESTE(6)
063      CALL MULTI(MQ1,UVW1,Q,5,3)
064      CALL MULTI(MQ3,UVW3,AUX2,5,3)
065      DO 70 I=1,5
066      70 Q(I)=Q(I)+AUX2(I)
067      80 WRITE(6,15)ANDAR,Q
068      CALL FOLHA
069      WRITE(6,65)NCAR
070      65 FORMAT(4/" FORCAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS (CARREGAMENTO"
071      *" NRO="I4")")
072      WRITE(6,115)(I,I=1,5)
073      115 FORMAT(" ANDAR"5(4X"INTERSEC"12,1X))
074      DO 100 M=4,N3
075      ANDAR=M-4
076      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
077      CALL TESTE(7)
078      CALL MULTI(M1238L,UVW1,Q,5,3)
079      CALL MULTI(M148,UVW3,AUX5,4,3)
080      DO 90 I=1,4
081      90 Q(I)=Q(I)+AUX5(I)
082      100 WRITE(6,15)ANDAR,Q
083      CALL FOLHA
084      WRITE(6,75)NCAR
085      75 FORMAT(4/" DESLOC. VERTICAIS NOS EIXOS DAS PAREDES (+ PARA BAIXO)"
086      *" (CARREGAMENTO NRO="I4")")
087      WRITE(6,105)(I,I=1,5)
088      DO 120 M=4,N3
089      ANDAR=M-4
090      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
091      CALL TESTE(70B)
092      CALL MULTI(M128,UVW1,DELTA,5,3)
093      DO 110 I=1,5
094      110 DELTA(I)=DELTA(I)/E
095      120 WRITE(6,15)ANDAR,DELTA
096      CALL FOLHA
097      WRITE(6,85)NCAR,(I,I=1,5)
098      85 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS VERTICAIS NAS INTERSECCOES(+ PARA "
099      *"BAIXO) - (CARREGAMENTO NRO="I4")"/" ANDAR"5(4X"INTERSEC"
100      *I2,2X),4X"INTERSEC 1A"5X"INTERSEC 4A"/)
101      DO 140 M=4,N3
102      ANDAR=M-4
103      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
104      CALL TESTE(72B)
105      CALL MULTI(M158,UVW1,V,7,3)
106      DO 130 I=1,7
107      130 V(I)=V(I)/E
108      140 WRITE(6,225)ANDAR,V(2),V(1),V(3),V(5),V(4),V(6),V(7)
109      225 FORMAT(18,7E16.7)
110      CALL FOLHA
111      WRITE(6,95)NCAR
112      95 FORMAT(4/" FORCAS NORMAIS NAS PAREDES (+COMPRESSAO) (CARREGA"
113      *"MENTO NRO="I4")")
114      WRITE(6,105)(I,I=1,5)
115      DO 150 M=4,N3
116      ANDAR=M-4
117      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
118      CALL TESTE(71B)
119      CALL MULTI(M13128,UVW2,NORMAL,5,3)
120      DO 141 I=1,5

```

```

121 141 NORM(M-3,I)=NORMAL(I)
122 150 WRITE(6,15)ANDAR,NORMAL
123 C          CALCULO DAS TENSOES LONGITUDINAIS NOS NOS
124          CALL FOLHA
125          WRITE(6,205)NCAR,(I,I=1,4)
126 205 FORMAT(4/" TENSOES LONGITUDINAIS NOS NO'S (TRACAO +)"
127          *" - (CARREGAMENTO NRO="I4")"/
128          *" ANDAR"4(8X"NO"12,5X),7X"NO 1A"12X"NO 4A"/)
129          DO 160 M=4,N3
130          ANDAR=M-4
131          INDI=M-3
132          SIGMA(1)=TENS(INDI,2,1.)
133          SIGMA(2)=TENS(INDI,1,1.)
134          SIGMA(3)=TENS(INDI,3,-1.)
135          SIGMA(4)=TENS(INDI,5,-1.)
136          SIGMA(5)=TENS(INDI,4,-1.)
137          SIGMA(6)=TENS(INDI,5,1.)
138 160 WRITE(6,215)ANDAR,SIGMA
139 215 FORMAT(I8,6E17.7)
140          END
141 $

```

f.7) Subprograma FOLHA

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE FOLHA
003 C-----
004 C-----          POSICIONAMENTO DE FOLHA PARA IMPRESSAO
005 C-----
006          CALL EXEC(3,1106B,62)
007          CALL EXEC(3,1106B,63)
008          END
009 $

```

f.8) Subprograma GJRS

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE GJRS(A,B,C,IP,IQ,N)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          INVERSAO DE MATRIZ POR GAUSS
006 C-----          JORDAN RUTISHAUSER NA M.P.
007 C-----
008          DOUBLE PRECISION A(N,N),B(1),C(1),S,T,PIVO,Z
009          INTEGER IP(1),IQ(1)
010          DO 100 K=1,N
011          T=0.
012          DO 20 I=K,N
013          S=0.
014          DO 10 J=K,N
015          10 S=S+DABS(A(I,J))
016          IF(S.EQ.0.)GO TO 150
017          DO 20 J=K,N
018          IF((DABS(A(I,J))-S*T).LE.0.)GO TO 20

```

```

019      IP(K)=I
020      IG(K)=J
021      PIVO=A(I,J)
022      T=DABS(PIVO/S)
023      20 CONTINUE
024      IF(T.EQ.0.)GO TO 150
025      IF(IP(K).EQ.K)GO TO 40
026      IPK=IP(K)
027      DO 30 J=1,N
028      Z=A(IPK,J)
029      A(IPK,J)=A(K,J)
030      30 A(K,J)=Z
031      40 IF(IG(K).EQ.K)GO TO 60
032      IQK=IG(K)
033      DO 50 I=1,N
034      Z=A(I,IQK)
035      A(I,IQK)=A(I,K)
036      50 A(I,K)=Z
037      60 DO 90 J=1,N
038      IF(J.NE.K)GO TO 70
039      B(J)=1./PIVO
040      C(J)=1.
041      GO TO 80
042      70 B(J)=-A(K,J)/PIVO
043      C(J)=A(J,K)
044      80 A(K,J)=0.
045      90 A(J,K)=0.
046      DO 100 I=1,N
047      DO 100 J=1,N
048      100 A(I,J)=A(I,J)+C(I)*B(J)
049      DO 140 K=N,1,-1
050      IF(IP(K).EQ.K)GO TO 120
051      IPK=IP(K)
052      DO 110 I=1,N
053      Z=A(I,IPK)
054      A(I,IPK)=A(I,K)
055      110 A(I,K)=Z
056      120 IF(IG(K).EQ.K)GO TO 140
057      IQK=IG(K)
058      DO 130 J=1,N
059      Z=A(IQK,J)
060      A(IQK,J)=A(K,J)
061      130 A(K,J)=Z
062      140 CONTINUE
063      GO TO 160
064      150 WRITE(6,15)
065      15 FORMAT(/20X"*** MATRIZ SINGULAR ***")
066      STOP
067      160 END
068 $

```

f.9) Subprograma MULT

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE MULT(A,B,C,M,N,L)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          MULTIPLICACAO DE MATRIZES
006 C-----
007 INTEGER COLUNA
008 DOUBLE PRECISION A(M,N),B(N,L),C(M,L),SOMA
009 DO 20 LINHA =1,M
010 DO 20 COLUNA =1,L
011 SOMA=0.
012 DO 10 K=1,N
013 10 SOMA=SCMA+A(LINHA,K)*B(K,COLUNA)
014 20 C(LINHA,COLUNA)=SOMA
015 END
016 $

```

f.10) Subprograma MULT1

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE MULT1(A,B,C,M,N)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          CALCULA O PRODUTO DE A(M,N) POR B(N) COLOCANDO
006 C-----          O RESULTADO EM C(M)
007 C-----
008 DOUBLE PRECISION A(M,N),B(N),C(M),SOMA
009 DO 20 LINHA=1,M
010 SOMA=0.
011 DO 10 K=1,N
012 10 SOMA=SOMA+A(LINHA,K)*B(K)
013 20 C(LINHA)=SOMA
014 END
015 $

```

g) Exemplo de impressão dos resultados

Apresenta-se a seguir a impressão dos resultados obtidos pelo processamento dos programas de cálculo automático, para a estrutura de quinze andares com 12,5 ft de pé direito mostrada na figura (II.2-09). Esta estrutura é composta por uma única parede de secção aberta, uniforme ao longo de toda a altura, formada por um único canal, com as espessuras de todas as paredes iguais a 1,0 ft. Os lintéis usados para o contraventamento ao nível dos andares possuem 1,0 ft de espessura e 1,5 ft de altura.

O carregamento atuante é constituído de uma carga uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft na direção do eixo x , concordante com seu sentido positivo e aplicada no centro do canal.

Adota-se, para o módulo de elasticidade, o valor $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e, para o coeficiente de Poisson, 0,15.

Na figura (II.2-09) os números dentro das circunferências indicam os nós e as intersecções referidos na impressão, e as setas numeradas as paredes e os versores definidos nos seus planos.

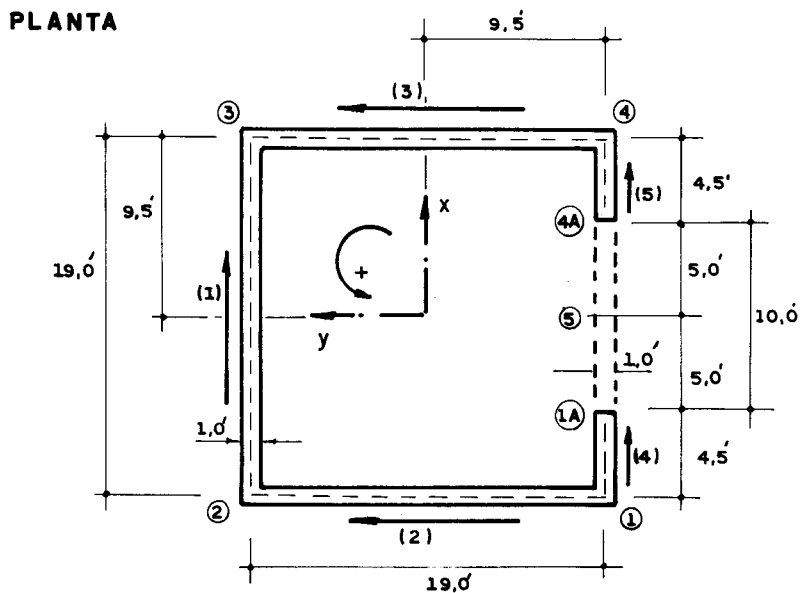


FIG.II.2-09-EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA

EDIFICIO COM UMA PAREDE DE SECCAO ABERTA, FORMADA POR UM UNICO CANAL,
 CONTRAVENTADA POR LINTEIS - TECNICA DO MEIO CONTINUO
 EXEMPLO DE TARANATH-STAFFORD-7466 (UNID LR-FT)

DADOS DA ESTRUTURA
 MOD.ELASTICIDADE .576000E+09 COEF.POISSON .150 ALT.ANDAR 12.500 NRO ANDARES 15

PAREDES NUMERO	LARGURA	COMPRIMENTO	A	B	C
1	1.0000	19.0000	1.0000	.0000	-9.5000
2	1.0000	19.0000	.0000	1.0000	-9.5000
3	1.0000	19.0000	.0000	1.0000	9.5000
4	1.0000	4.5000	1.0000	.0000	9.5000
5	1.0000	4.5000	1.0000	.0000	9.5000

LINTEL
 LARGURA 1.5000 ALTURA 10.0000 COMPRIM.

MATRIZ [S]
 .0000000E+00 .0000000E+00 .0000000E+00
 .0000000E+00 .0000000E+00 .0000000E+00
 .0000000E+00 .0000000E+00 .1503119E+03

MATRIZ -[J]
 -.4489333E+04 .1862645E-08 .8950742E+05
 .0000000E+00 -.3533424E+04 .0000000E+00
 .8950742E+05 .0000000E+00 -.2162210E+07

CARREGAMENTO NRO= 1
 TIPO P A B C
 UNIF DIST 1250.0000 1.0000 .0000 .0000

DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA (CARREGAMENTO NRO= 1)
 ANDAR DESLOC X DESLOC Y ROTACAO

0	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
1	.1750583E-02	.000000E+00	.559614E-04
2	.6430285E-02	.000000E+00	.2007775E-03
3	.1330341E-01	.000000E+00	.4055395E-03
4	.2177686E-01	.000000E+00	.6478996E-03
5	.3137225E-01	.000000E+00	.9106708E-03
6	.4170454E-01	.000000E+00	.1180756E-02
7	.5246564E-01	.000000E+00	.1448326E-02
8	.6341221E-01	.000000E+00	.1706208E-02
9	.7435671E-01	.000000E+00	.1949434E-02
10	.8516119E-01	.000000E+00	.2174934E-02
11	.9573346E-01	.000000E+00	.2381338E-02
12	.1060254E+00	.000000E+00	.2568899E-02
13	.1160333E+00	.000000E+00	.2739499E-02
14	.1258002E+00	.000000E+00	.2896776E-02
15	.1354202E+00	.000000E+00	.3046344E-02

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NOS PLANOS DAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5
0	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
1	.1218949E-02	-.5316341E-03	.5316341E-03	.2282218E-02	.2282218E-02
2	.4522898E-02	-.1907387E-02	.1907387E-02	.8337671E-02	.8337671E-02
3	.9450780E-02	-.3852626E-02	.3852626E-02	.1715603E-01	.1715603E-01
4	.1562181E-01	-.6155047E-02	.6155047E-02	.2793190E-01	.2793190E-01
5	.2272088E-01	-.8651373E-02	.8651373E-02	.4002362E-01	.4002362E-01
6	.3048736E-01	-.1121718E-01	.1121718E-01	.5292172E-01	.5292172E-01
7	.3870654E-01	-.1375910E-01	.1375910E-01	.6622473E-01	.6622473E-01
8	.4720324E-01	-.1620898E-01	.1620898E-01	.7962119E-01	.7962119E-01
9	.5583708E-01	-.1851963E-01	.1851963E-01	.9287634E-01	.9287634E-01
10	.6449932E-01	-.2066187E-01	.2066187E-01	.1058231E+00	.1058231E+00
11	.7311074E-01	-.2262271E-01	.2262271E-01	.1183562E+00	.1183562E+00
12	.8162088E-01	-.2440454E-01	.2440454E-01	.1304300E+00	.1304300E+00
13	.900809E-01	-.2602524E-01	.2602524E-01	.1420586E+00	.1420586E+00
14	.9828081E-01	-.2751937E-01	.2751937E-01	.1533196E+00	.1533196E+00
15	.1064800E+00	-.2894027E-01	.2894027E-01	.1643605E+00	.1643605E+00

MOMENTOS FLETORES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5
0	.5551874E+07	-.2506844E+07	.2506844E+07	.1403684E+06	.1403684E+06
1	.4375877E+07	-.1764685E+07	.1764685E+07	.1050249E+06	.1050249E+06
2	.3407669E+07	-.1189012E+07	.1189012E+07	.7686562E+05	.7686562E+05
3	.2607890E+07	-.7440035E+06	.7440035E+06	.5441589E+05	.5441589E+05
4	.1945880E+07	-.4017523E+06	.4017523E+06	.3652685E+05	.3652685E+05
5	.1398235E+07	-.1409583E+06	.1409583E+06	.2232160E+05	.2232160E+05
6	.9469361E+06	.5477978E+05	-.5477978E+05	.1112494E+05	.1112494E+05
7	.5786413E+06	.1976040E+06	-.1976040E+06	.2436997E+04	.2436997E+04
8	.2834343E+06	.2965402E+06	-.2965402E+06	-.4113792E+04	-.4113792E+04
9	.5462395E+05	.3576781E+06	-.3576781E+06	-.8778136E+04	-.8778136E+04
10	-.1120950E+06	.3849364E+06	-.3849364E+06	-.1171735E+05	-.1171735E+05
11	-.2184896E+06	.3799233E+06	-.3799233E+06	-.1299765E+05	-.1299765E+05
12	-.2643211E+06	.3424214E+06	-.3424214E+06	-.1261008E+05	-.1261008E+05
13	-.2469087E+06	.2699909E+06	-.2699909E+06	-.1045421E+05	-.1045421E+05
14	-.1613872E+06	.1582036E+06	-.1582036E+06	-.6347721E+04	-.6347721E+04
15	.3421220E-02	.4463169E-02	-.4463169E-02	-.7313804E-04	-.7313804E-04

FORCAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5
0	.1987346E+06	-.8154708E+05	.8154708E+05	.1782021E+05	.1782021E+05
1	.1740840E+06	-.6225220E+05	.6225220E+05	.2233302E+05	.2233302E+05
2	.1529589E+06	-.4724248E+05	.4724248E+05	.2508307E+05	.2508307E+05
3	.1345642E+06	-.3555158E+05	.3555158E+05	.2646789E+05	.2646789E+05
4	.1182756E+06	-.2642047E+05	.2642047E+05	.2679971E+05	.2679971E+05
5	.1036002E+06	-.1925019E+05	.1925019E+05	.2632492E+05	.2632492E+05
6	.9014601E+05	-.1356433E+05	.1356433E+05	.2523949E+05	.2523949E+05
7	.7759756E+05	-.8979318E+04	.8979318E+04	.2370122E+05	.2370122E+05
8	.6569583E+05	-.5180396E+04	.5180396E+04	.2183958E+05	.2183958E+05
9	.5422233E+05	-.1901960E+04	.1901960E+04	.1976384E+05	.1976384E+05
10	.4298529E+05	-.1089057E+04	.1089057E+04	.1756985E+05	.1756985E+05
11	.3180776E+05	.4007740E+04	-.4007740E+04	.1534612E+05	.1534612E+05
12	.2051650E+05	.7064668E+04	-.7064668E+04	.1317925E+05	.1317925E+05
13	.8931162E+04	.1047904E+05	-.1047904E+05	.1115942E+05	.1115942E+05
14	-.3147005E+04	.1449241E+05	-.1449241E+05	.9385999E+04	.9385999E+04
15	-.1594747E+05	.1938374E+05	-.1938374E+05	.7973734E+04	.7973734E+04

FORCAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	INTERSEC 1	INTERSEC 2	INTERSEC 3	INTERSEC 4	INTERSEC 5
0	-.6514467E+04	.5003551E+04	.5003551E+04	.6514467E+04	-.8365917E-08
1	-.5741514E+04	.4679832E+04	.4679832E+04	.5741514E+04	.9513133E+03
2	-.5073278E+04	.4353067E+04	.4353067E+04	.5073278E+04	.1608470E+04
3	-.4486142E+04	.4023943E+04	.4023943E+04	.4486142E+04	.2037807E+04
4	-.3961559E+04	.3692999E+04	.3692999E+04	.3961559E+04	.2291425E+04
5	-.3484892E+04	.3360662E+04	.3360662E+04	.3484892E+04	.2410443E+04
6	-.3044500E+04	.3027269E+04	.3027269E+04	.3044500E+04	.2427562E+04
7	-.2631009E+04	.2693094E+04	.2693094E+04	.2631009E+04	.2369113E+04
8	-.2236728E+04	.2358359E+04	.2358359E+04	.2236728E+04	.2256704E+04
9	-.1855166E+04	.2023255E+04	.2023255E+04	.1855166E+04	.2108565E+04
10	-.1480627E+04	.1687947E+04	.1687947E+04	.1480627E+04	.1940696E+04
11	-.1107856E+04	.1352587E+04	.1352587E+04	.1107856E+04	.1767862E+04
12	-.7317063E+03	.1017326E+04	.1017326E+04	.7317063E+03	.1604518E+04
13	-.3468220E+03	.6823182E+03	.6823182E+03	.3468220E+03	.1465710E+04
14	.5269972E+02	.3477360E+03	.3477360E+03	.5269972E+02	.1368022E+04
15	.4736760E+03	.1377842E+02	.1377842E+02	.4736760E+03	.1330600E+04

DESLOC. VERTICAIS NOS EIXOS DAS PAREDES (+ PARA BAIXO) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5
0	.000000E+00	.1596494E-13	.1018753E-02	-.2368560E-13	.2368560E-13
1	.000000E+00	-.1018753E-02	.1018753E-02	.5304381E-03	-.5304381E-03
2	.000000E+00	-.1888597E-02	.1888597E-02	.7700985E-03	-.7700985E-03
3	.000000E+00	-.2623763E-02	.2623763E-02	.7993215E-03	-.7993215E-03
4	.000000E+00	-.3237356E-02	.3237356E-02	.6797393E-03	-.6797393E-03
5	.000000E+00	-.3741606E-02	.3741606E-02	.4585475E-03	-.4585475E-03
6	.000000E+00	-.4148079E-02	.4148079E-02	.1718810E-03	-.1718810E-03
7	.000000E+00	-.4467831E-02	.4467831E-02	-.1524985E-03	.1524985E-03
8	.000000E+00	-.4711548E-02	.4711548E-02	-.4930389E-03	.4930389E-03
9	.000000E+00	-.4889645E-02	.4889645E-02	-.8326224E-03	.8326224E-03
10	.000000E+00	-.5012360E-02	.5012360E-02	-.1157067E-02	.1157067E-02
11	.000000E+00	-.5089835E-02	.5089835E-02	-.1453812E-02	.1453812E-02
12	.000000E+00	-.5132186E-02	.5132186E-02	-.1710706E-02	.1710706E-02
13	.000000E+00	-.5149575E-02	.5149575E-02	-.1914815E-02	.1914815E-02
14	.000000E+00	-.5152288E-02	.5152288E-02	-.2051193E-02	.2051193E-02
15	.000000E+00	-.5150814E-02	.5150814E-02	-.2101516E-02	.2101516E-02

DESLOCAMENTOS VERTICAIS NAS INTERSECÇÕES (+ PARA BAIXO) - (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	INTERSEC 1	INTERSEC 2	INTERSEC 3	INTERSEC 4	INTERSEC 5	INTERSEC 1A	INTERSEC 4A
0	-.2268909E-13	-.9240790E-14	.9240790E-14	.2268909E-13	.000000E+00	-.2468212E-13	.2468212E-13
1	-.2541302E-03	-.1783376E-02	.1783376E-02	.2541302E-03	.000000E+00	.1315007E-02	-.1315007E-02
2	-.5957805E-03	-.3181413E-02	.3181413E-02	.5957805E-03	.000000E+00	.2135978E-02	-.2135978E-02
3	-.9858655E-03	-.4261661E-02	.4261661E-02	.9858655E-03	.000000E+00	.2584508E-02	-.2584508E-02
4	-.1395611E-02	-.5079100E-02	.5079100E-02	.1395611E-02	.000000E+00	.2755090E-02	-.2755090E-02
5	-.1804200E-02	-.5679012E-02	.5679012E-02	.1804200E-02	.000000E+00	.2721295E-02	-.2721295E-02
6	-.2196913E-02	-.6099244E-02	.6099244E-02	.2196913E-02	.000000E+00	.2540675E-02	-.2540675E-02
7	-.2563644E-02	-.6372018E-02	.6372018E-02	.2563644E-02	.000000E+00	.2258647E-02	-.2258647E-02
8	-.2897711E-02	-.6525385E-02	.6525385E-02	.2897711E-02	.000000E+00	.1911633E-02	-.1911633E-02
9	-.3194875E-02	-.6584415E-02	.6584415E-02	.3194875E-02	.000000E+00	.1529630E-02	-.1529630E-02
10	-.3452516E-02	-.6572205E-02	.6572205E-02	.3452516E-02	.000000E+00	.1138381E-02	-.1138381E-02
11	-.3668907E-02	-.6510763E-02	.6510763E-02	.3668907E-02	.000000E+00	.7612818E-03	-.7612818E-03
12	-.3842546E-02	-.6421825E-02	.6421825E-02	.3842546E-02	.000000E+00	.4211345E-03	-.4211345E-03
13	-.3971503E-02	-.6327647E-02	.6327647E-02	.3971503E-02	.000000E+00	.1418724E-03	-.1418724E-03
14	-.4052734E-02	-.6251843E-02	.6251843E-02	.4052734E-02	.000000E+00	-.4965151E-04	.4965151E-04
15	-.4081337E-02	-.6220291E-02	.6220291E-02	.4081337E-02	.000000E+00	-.1216952E-03	.1216952E-03

FORÇAS NORMAIS NAS PAREDES (+COMPRESSAO) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5
0	.000000E+00	-.9615F83E+06	.9615883E+06	.1469058E+06	-.1469058E+06
1	.000000E+00	-.8245869E+06	.8245869E+06	.7672104E+05	-.7672104E+05
2	.000000E+00	-.7006283E+06	.7006283E+06	.2547811E+05	-.2547811E+05
3	.000000E+00	-.5885957E+06	.5885957E+06	-.1120404E+05	.1120404E+05
4	.000000E+00	-.4876193E+06	.4876193E+06	-.3673835E+05	.3673835E+05
5	.000000E+00	-.3970349E+06	.3970349E+06	-.5372986E+05	.5372986E+05
6	.000000E+00	-.3163313E+06	.3163313E+06	-.6418443E+05	.6418443E+05
7	.000000E+00	-.2451301E+06	.2451301E+06	-.6958705E+05	.6958705E+05
8	.000000E+00	-.1831498E+06	.1831498E+06	-.7104155E+05	.7104155E+05
9	.000000E+00	-.1302007E+06	.1302007E+06	-.6929273E+05	.6929273E+05
10	.000000E+00	-.8616045E+05	.8616045E+05	-.6481981E+05	.6481981E+05
11	.000000E+00	-.5097905E+05	.5097905E+05	-.5781950E+05	.5781950E+05
12	.000000E+00	-.2466326E+05	.2466326E+05	-.4826521E+05	.4826521E+05
13	.000000E+00	-.7289117E+04	.7289117E+04	-.3585854E+05	.3585854E+05
14	.000000E+00	-.1005324E+04	-.1005324E+04	-.2005793E+05	.2005793E+05
15	.000000E+00	-.2489807E-02	.2489807E-02	-.1021019E-02	.1021019E-02

TENSOES LONGITUDINAIS NOS NOS (TRACAO +) - (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	NO 1	NO 2	NO 3	NO 4	NO 1A	NO 4A
0	.8944911E+04	.9227491E+05	-.9227491E+05	-.8944911E+04	-.7423636E+05	.7423636E+05
1	.1406936E+05	.7272926E+05	-.7272926E+05	-.1406936E+05	-.4816761E+05	.4816761E+05
2	.1711320E+05	.5663715E+05	-.5663715E+05	-.1711320E+05	-.2843680E+05	.2843680E+05
3	.1861301E+05	.4334443E+05	-.4334443E+05	-.1861301E+05	-.1363344E+05	.1363344E+05
4	.1898685E+05	.3234149E+05	-.3234149E+05	-.1898685E+05	-.2658692E+04	.2658692E+04
5	.1855378E+05	.2323937E+05	-.2323937E+05	-.1855378E+05	.5326162E+04	-.5326162E+04
6	.175949E+05	.1573855E+05	-.1573855E+05	-.175949E+05	.1096693E+05	-.1096693E+05
7	.1618586E+05	.9617308E+04	-.9617308E+04	-.1618586E+05	.1474172E+05	-.1474172E+05
8	.1456811E+05	.4710819E+04	-.4710819E+04	-.1456811E+05	.1700591E+05	-.1700591E+05
9	.1279746E+05	.9078772E+03	-.9078772E+03	-.1279746E+05	.1799931E+05	-.1799931E+05
10	.1093260E+05	-.1863074E+04	.1863074E+04	-.1093260E+05	.1787621E+05	-.1787621E+05
11	.8997622E+04	-.3631406E+04	.3631406E+04	-.8997622E+04	.1669993E+05	-.1669993E+05
12	.6989281E+04	-.4393149E+04	.4393149E+04	-.6989281E+04	.1446192E+05	-.1446192E+05
13	.4871022E+04	-.4103746E+04	.4103746E+04	-.4871022E+04	.1106611E+05	-.1106611E+05
14	.2576511E+04	-.2682335E+04	.2682335E+04	-.2576511E+04	.6338124E+04	-.6338124E+04
15	.2052226E-03	.5686238E-04	-.5686238E-04	-.2052226E-03	.2485636E-03	-.2485636E-03

II.2.3 Edifício com uma parede de secção aberta, formada por dois canais adjacentes, contraventada por lintéis ao nível dos andares

A análise da estrutura, mostrada na figura (II.2-10), é análoga à desenvolvida no item (II.2.2).

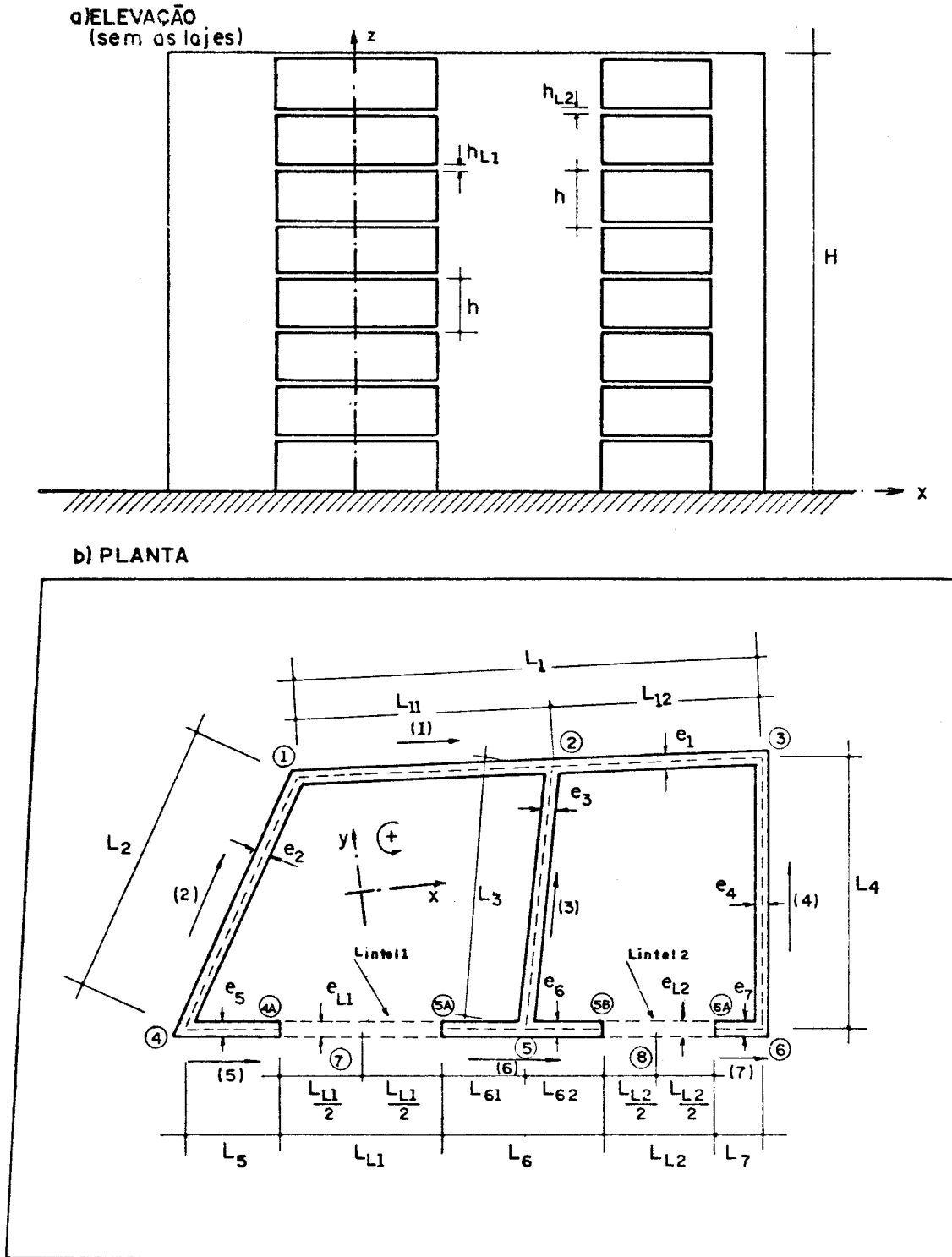


FIG. II.2-10 - EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA FORMADA POR DOIS CANAIS ADJACENTES.

Na figura (II.2-10), L_i representa o comprimento total da parede i , L_{ij} o seu comprimento parcial j , e e_i sua espessura; L_{Li} o comprimento do lintel i e e_{Li} a sua espessura. As setas com números indicam os números das paredes e os sentidos dos versores definidos nos seus planos, e os números dentro das circunferências os pontos onde se se r ã o d e s l o c a m e n t o s d e s l o c a m e n t o s v e r t i c a i s d i s t r i b u i d a s.

II.2.3.1 - Montagem do sistema de equações diferenciais

As equações de equilíbrio à rotação e à translação vertical para os elementos genéricos de todas as paredes são obtidas pelo mesmo procedimento apresentado em (II.2.2.1).

Na figura (II.2-11) apresenta-se o esquema de carregamento da parede (1), que recebe, nas intersecções 1, 2 e 3, forças verticais distribuídas q_1 , q_2 e q_3 , provenientes respectivamente das iterações com as paredes (2), (3) e (4). Deve-se notar na figura (II.2-11b) a convenção dos esforços positivos e o sentido do deslocamento u_1 da parede (1) no seu plano.

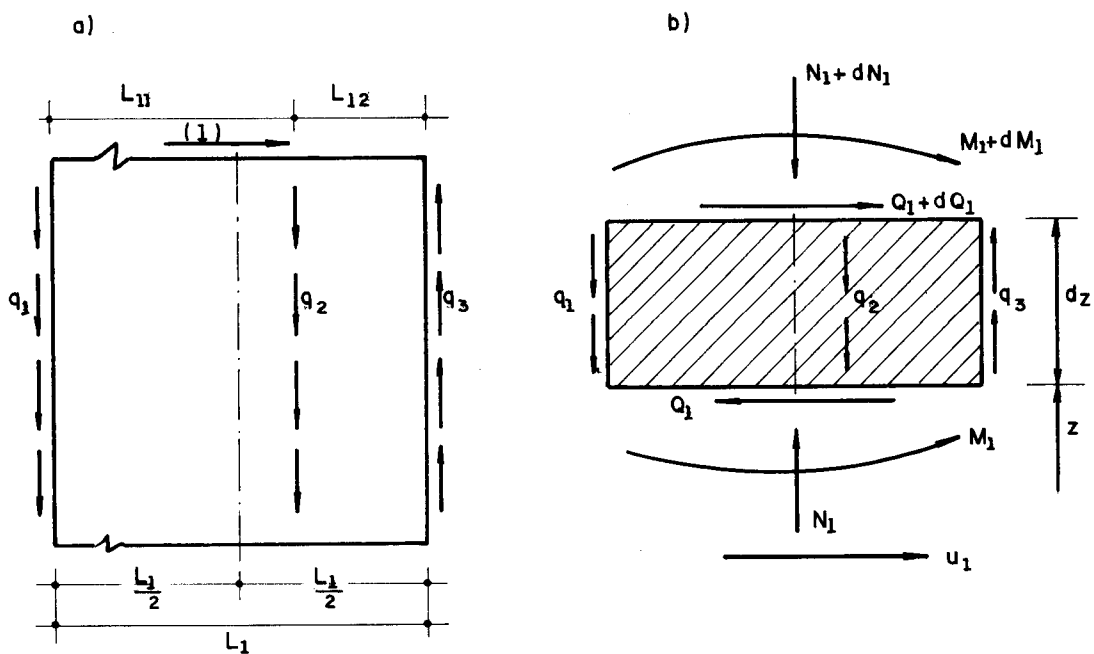


FIG. II.2-11 - CARREGAMENTO DA PAREDE (1)

O equilíbrio do elemento genérico da parede (1) com a convenção da figura (II.2-11b) é dado por

$$\frac{dM_1}{dz} = -Q_1 + (q_1 + q_3) \frac{L_1}{2} - q_2 \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) \quad (\text{II.2-095})$$

$$\frac{dN_1}{dz} = q_3 - q_1 - q_2 \quad (\text{II.2-096})$$

Fazendo-se a combinação da equação (II.2-095) com a equação da elástica da parede (1) e relacionando-se (II.2-096) com o deslocamento vertical no seu eixo, δ_1 , obtém-se

$$Q_1 = -j_1 u_1''' + (q_1 + q_3) \frac{L_1}{2} - q_2 \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) \quad (\text{II.2-097})$$

$$EA_1 \delta_1'' = q_3 - q_1 - q_2 \quad (\text{II.2-098})$$

onde j_1 é o produto de rigidez à flexão da parede (1), A_1 é a área da sua secção transversal e u_1 o deslocamento horizontal no seu plano.

A figura (II.2-12) apresenta os carregamentos das paredes (2), (3) e (4). As equações de equilíbrio dos seus elementos são dadas por

$$\frac{dM_2}{dz} = -Q_2 + (q_1 + q_4) \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-099})$$

$$\frac{dN_2}{dz} = q_1 - q_4 \quad (\text{II.2-100})$$

$$\frac{dM_3}{dz} = -Q_3 + (q_2 + q_5) \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-101})$$

$$\frac{dN_3}{dz} = q_2 - q_5 \quad (\text{II.2-102})$$

$$\frac{dM_4}{dz} = -Q_4 + (q_6 - q_3) \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-103})$$

$$\frac{dN_4}{dz} = -q_3 - q_6 \quad (\text{II.2-104})$$

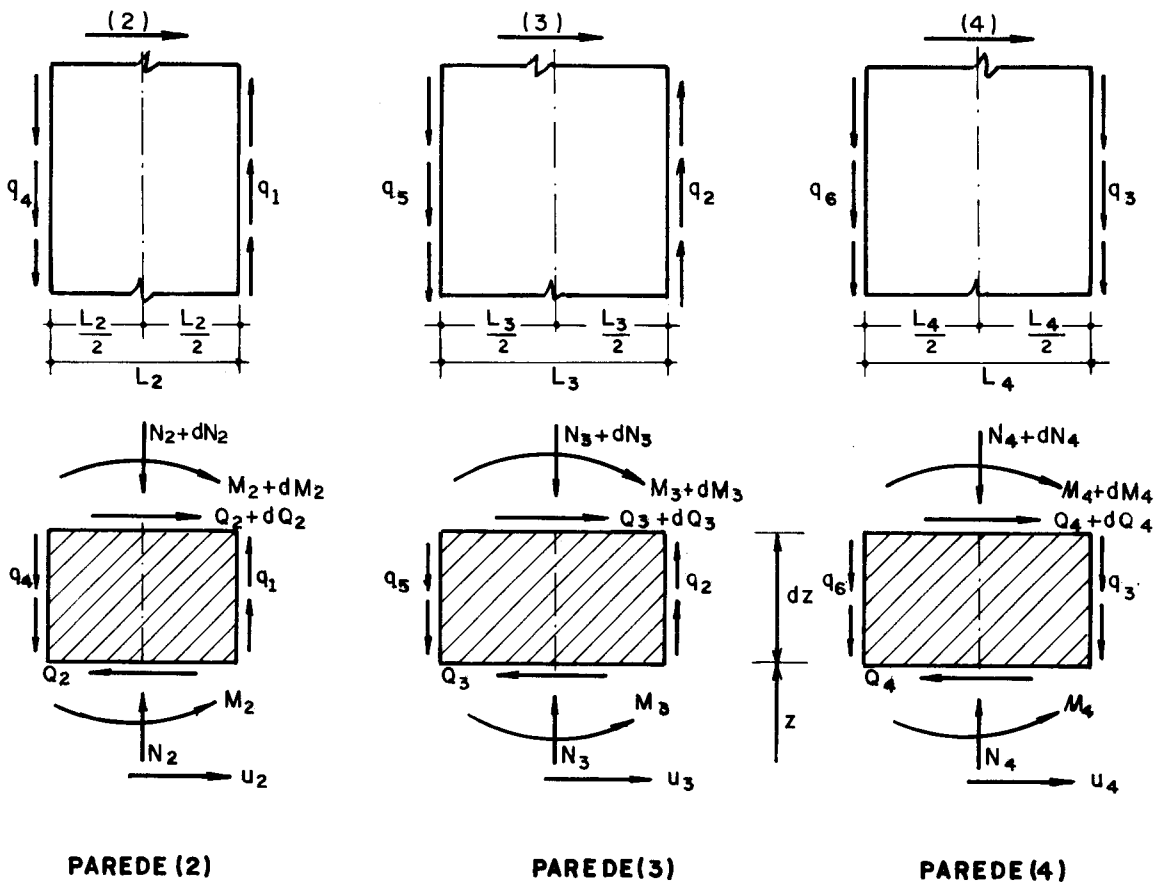


FIG.II. 2-12-CARREGAMENTOS DAS PAREDES (2),(3)E (4)

Combinando-se as equações de equilíbrio à rotação das paredes (2), (3) e (4) com as das suas respectivas elásticas, e as de translação vertical com os deslocamentos verticais nos seus eixos, tem-se

$$Q_2 = -j_2 u_2''' + (q_1 + q_4) \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-105})$$

$$Q_3 = -j_3 u_3''' + (q_2 + q_5) \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-106})$$

$$Q_4 = -j_4 u_4''' + (q_6 - q_3) \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-107})$$

$$EA_2 \delta_2'' = q_1 - q_4 \quad (\text{II.2-108})$$

$$EA_3 \delta_3'' = q_2 - q_5 \quad (\text{II.2-109})$$

$$EA_4 \delta_4'' = -q_3 - q_6 \quad (\text{II.2-110})$$

onde j_2 , j_3 e j_4 são os produtos de rigidez à flexão, respectivamente das paredes (2), (3) e (4); A_2 , A_3 e A_4 as áreas das suas secções transversais; u_2 , u_3 e u_4 os deslocamentos horizontais nos seus planos; e δ_2 , δ_3 e δ_4 os deslocamentos verticais nos seus eixos.

Os carregamentos das paredes (5), (6), (7) são os apresentados na figura (II.2-13), que, como pode-se notar, além das forças verticais das intersecções, incluem as forças verticais nos pontos médios dos lintéis.

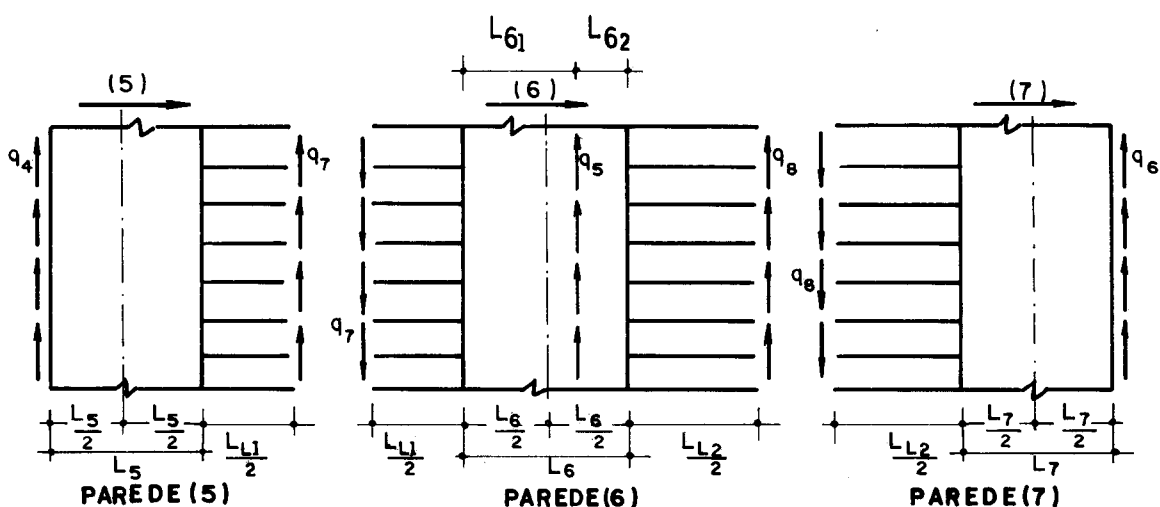


FIG. II.2-13- CARREGAMENTOS DAS PAREDES (5), (6) E (7)

Escrevendo-se as equações de equilíbrio dos elementos genéricos das paredes (5), (6) e (7) com a mesma convenção de sinais de finida nas figuras (II.2-11) e (II.2-12), e combinando-se as equações de rotação com as das respectivas elásticas e as de translação vertical com as das deformações verticais nos seus eixos, obtém-se

$$Q_5 = -j_5 u_5''' - q_4 \frac{L_5}{2} + q_7 \left(\frac{L_{L1} + L_5}{2} \right) \quad (II.2-111)$$

$$Q_6 = -j_6 u_6''' + q_5 \left(\frac{L_{61} - L_{62}}{2} \right) + q_7 \left(\frac{L_{L1} + L_6}{2} \right) + q_8 \left(\frac{L_{L2} + L_6}{2} \right) \quad (II.2-112)$$

$$Q_7 = -j_7 u_7''' + q_6 \frac{L_7}{2} + q_8 \left(\frac{L_{L2} + L_7}{2} \right) \quad (II.2-113)$$

$$EA_5 \delta_5'' = q_4 + q_7 \quad (II.2-114)$$

$$EA_6 \delta_6'' = q_5 - q_7 + q_8 \quad (II.2-115)$$

$$EA_7 \delta_7'' = q_6 - q_8 \quad (II.2-116)$$

onde j_5 , j_6 e j_7 são os produtos de rigidez à flexão das paredes (5), (6) e (7); A_5 , A_6 e A_7 as áreas das suas secções transversais; u_5 , u_6 e u_7 os deslocamentos horizontais nos seus planos; e δ_5 , δ_6 e δ_7 os deslocamentos verticais nos seus eixos.

As equações de compatibilidade de deslocamentos verticais dos pontos de intersecções das paredes serão determinadas analogamente ao procedimento usado na equação (II.2-030) para os pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, e a (II.2-034), para os pontos 7 e 8. Em resumo, os deslocamentos verticais serão determinados considerando-se as deformações das paredes à força normal e à flexão e a deformação dos lintéis à flexão. Logo, as equações de compatibilidade para os pontos 1 a 8 serão dadas respectivamente por

$$\delta_1 - u_1' \frac{L_1}{2} = \delta_2 + u_2' \frac{L_2}{2} \quad (\text{II.2-117})$$

$$\delta_1 + u_1' \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) = \delta_3 + u_3' \frac{L_3}{2} \quad (\text{II.2-118})$$

$$\delta_1 + u_1' \frac{L_1}{2} = \delta_4 + u_4' \frac{L_4}{2} \quad (\text{II.2-119})$$

$$\delta_2 - u_2' \frac{L_2}{2} = \delta_5 - u_5' \frac{L_5}{2} \quad (\text{II.2-120})$$

$$\delta_3 - u_3' \frac{L_3}{2} = \delta_6 + u_6' \left(\frac{L_{61} - L_{62}}{2} \right) \quad (\text{II.2-121})$$

$$\delta_4 - u_4' \frac{L_4}{2} = \delta_7 + u_7' \frac{L_7}{2} \quad (\text{II.2-122})$$

$$\begin{aligned} \delta_5 + u_5' \left(\frac{L_{L1} + L_5}{2} \right) - q_7 h \left(\frac{L_{L1}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L1}} = \delta_6 - u_6' \left(\frac{L_{L1} + L_6}{2} \right) + \\ + q_7 h \left(\frac{L_{L1}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L1}} \end{aligned} \quad (\text{II.2-123})$$

$$\begin{aligned} \delta_6 + u_6' \left(\frac{L_6 + L_{L2}}{2} \right) - q_8 h \left(\frac{L_{L2}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L2}} = \delta_7 - u_7' \left(\frac{L_7 + L_{L2}}{2} \right) + \\ + q_8 h \left(\frac{L_{L2}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L2}} \end{aligned} \quad (\text{II.2-124})$$

onde J_{L1} e J_{L2} são os momentos de inércia dos lintéis 1 e 2 dados por

$$\left. \begin{aligned} J_{L1} &= \frac{e_{L1} \times h_{L1}^3}{12} \\ J_{L2} &= \frac{e_{L2} \times h_{L2}^3}{12} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-125})$$

Obtendo-se o deslocamento vertical da parede (2) no seu eixo, δ_2 , de (II.2-117) e substituindo-o em (II.2-120), tem-se

$$\delta_5 = \delta_1 - u'_1 \frac{L_1}{2} - u'_2 L_2 + u'_5 \frac{L_5}{2} \quad (\text{II.2-126})$$

Com raciocínio análogo para δ_3 nas equações (II.2-118) e (II.2-121), e para δ_4 em (II.2-119) e (II.2-122), obtém-se

$$\delta_6 = \delta_1 + u'_1 \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) - u'_3 L_3 - u'_6 \left(\frac{L_{61} - L_{62}}{2} \right) \quad (\text{II.2-127})$$

$$\delta_7 = \delta_1 + u'_1 \frac{L_1}{2} - u'_4 L_4 - u'_7 \frac{L_7}{2} \quad (\text{II.2-128})$$

Como pode-se notar pelas equações (II.2-126) a (II.2-128), os deslocamentos verticais das paredes (5), (6) e (7) são funções do deslocamento vertical da parede (1) e das derivadas primeiras dos deslocamentos das paredes nos seus planos, o que permite obterem-se as forças verticais distribuídas q_7 e q_8 , em função das derivadas primeiras dos deslocamentos das paredes nos seus planos. Sempre que isto acontecer, o sistema de equações diferenciais será definido nos deslocamentos dos diafragmas, como mostrou-se no item (II.2.2.1). Em outros casos, aparecerão, além dos deslocamentos dos diafragmas, os deslocamentos verticais nos eixos das paredes. Com as equações de (II.2-126) a (II.2-128) e (II.2-123) a (II.2-124), obtém-se

$$\begin{aligned} q_7 &= \frac{12EJ_{L1}}{h_{L1}^3} \left[-u'_1 L_{11} - u'_2 L_2 + u'_3 L_3 + u'_5 \left(\frac{2L_5 + L_{L1}}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. + u'_6 \left(\frac{2L_{61} + L_{L1}}{2} \right) \right] \quad (\text{II.2-129}) \end{aligned}$$

$$q_8 = \frac{12EJ_{L2}}{hL_{L2}^3} \left[-u_1' L_{12} - u_3' L_3 + u_4' L_4 + u_6' \left(\frac{2L_{62} + L_{L2}}{2} \right) + u_7' \left(\frac{2L_7 + L_{L2}}{2} \right) \right] \quad (\text{II.2-130})$$

Com as forças verticais q_7 e q_8 em função dos deslocamentos das paredes nos seus planos, as forças verticais nas intersecções de 1 a 6 também poderão ser colocadas em função destes deslocamentos.

Derivando-se duas vezes as equações de (II.2-117) a (II.2-122) e combinando-se com as equações (II.2-098), (II.2-108), (II.2-109), (II.2-110), (II.2-114), (II.2-115) e (II.2-116), obtém-se

$$q_1(A_1 + A_2) + q_2A_2 - q_3A_2 - q_4A_1 = -u_1''' \frac{L_1}{2} EA_1A_2 - u_2''' \frac{L_2}{2} EA_1A_2 \quad (\text{II.2-131})$$

$$q_1A_3 + q_2(A_1 + A_3) - q_3A_3 - q_5A_1 = u_1''' \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) EA_1A_3 - u_3''' \frac{L_3}{2} EA_1A_3 \quad (\text{II.2-132})$$

$$-q_1A_4 - q_2A_4 + q_3(A_1 + A_4) + q_6A_1 = -u_1''' \frac{L_1}{2} EA_1A_4 + u_4''' \frac{L_4}{2} EA_1A_4 \quad (\text{II.2-133})$$

$$-q_1A_5 + q_4(A_2 + A_5) = -q_7A_2 - u_2''' \frac{L_2}{2} EA_2A_5 + u_5''' \frac{L_5}{2} EA_2A_5 \quad (\text{II.2-134})$$

$$-q_2A_6 + q_5(A_3 + A_6) = q_7A_3 - q_8A_3 - u_3''' \frac{L_3}{2} EA_3A_6 - u_6''' \left(\frac{L_{61} - L_{62}}{2} \right) EA_3A_6 \quad (\text{II.2-135})$$

$$q_3A_7 + q_6(A_4 + A_7) = q_8A_4 - u_4''' \frac{L_4}{2} EA_4A_7 - u_7''' \frac{L_7}{2} EA_4A_7 \quad (\text{II.2-136})$$

Colocando-se sob forma matricial os valores q_7 e q_8 das equações (II.2-129) e (II.2-130), e substituindo-os em (II.2-131) a (II.2-136), obtêm-se as forças verticais distribuídas nas intersecções através das seguintes equações:

$$\{q_{1-6}\} = [M_1]^{-1} [M_2] [M_3] \{U'_w\} + [M_1]^{-1} [M_4] \{U'''_w\} \quad (\text{II.2-137})$$

$$\{q_{7-8}\} = [M_3] \{U'_w\} \quad (\text{II.2-138})$$

onde

$$\left. \begin{aligned} \{q_{1-6}\} &= \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \end{Bmatrix} \\ \{q_{7-8}\} &= \begin{Bmatrix} q_7 \\ q_8 \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-139})$$

$[M_1]^{-1}$ é a inversa da matriz $[M_1]$, dada por

$$[M_1] = \begin{bmatrix} A_1+A_2 & A_2 & -A_2 & -A_1 & 0 & 0 \\ A_3 & A_1+A_3 & -A_3 & 0 & -A_1 & 0 \\ -A_4 & -A_4 & A_1+A_4 & 0 & 0 & A_1 \\ -A_5 & 0 & 0 & A_2+A_5 & 0 & 0 \\ 0 & -A_6 & 0 & 0 & A_3+A_6 & 0 \\ 0 & 0 & A_7 & 0 & 0 & A_4+A_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-140})$$

$$[M_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -A_2 & 0 \\ A_3 & -A_3 \\ 0 & A_4 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-141})$$

$$[M_3] = \frac{12E}{h} \frac{J_{L1}}{L_{L1}^3} \begin{bmatrix} -L_{11} & -L_2 & L_3 & 0 & \frac{2L_5+L_{L1}}{2} & \frac{2L_{61}+L_{L1}}{2} & 0 \\ -\gamma L_{12} & 0 & -\gamma L_3 & \gamma L_4 & 0 & \gamma \left(\frac{2L_{62}+L_{L2}}{2} \right) & \gamma \left(\frac{2L_7+L_{L2}}{2} \right) \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-142})$$

onde

$$\gamma = \frac{J_{L2}}{J_{L1}} \left(\frac{L_{L1}}{L_{L2}} \right)^3 \quad (\text{II.2-143})$$

$$[M_4] = \frac{E}{2} \begin{bmatrix} -L_1 A_1 A_2 & -L_2 A_1 A_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (L_{11}-L_{12}) A_1 A_3 & 0 & -L_3 A_1 A_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -L_1 A_1 A_4 & 0 & 0 & L_4 A_1 A_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -L_2 A_2 A_5 & 0 & 0 & L_5 A_2 A_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -L_3 A_3 A_6 & 0 & 0 & -(L_{61}-L_{62}) A_3 A_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -L_4 A_4 A_7 & 0 & 0 & -L_7 A_4 A_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-144})$$

e

$$\left. \begin{aligned} \{U'_w\} &= \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \\ u'_3 \\ u'_4 \\ u'_5 \\ u'_6 \\ u'_7 \end{pmatrix} \\ \{U'''_w\} &= \begin{pmatrix} u'''_1 \\ u'''_2 \\ u'''_3 \\ u'''_4 \\ u'''_5 \\ u'''_6 \\ u'''_7 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-145})$$

A representação matricial das forças cortantes nas paredes obtidas das equações (II.2-097), (II.2-105) a (II.2-107), e (II.2-111) a (II.2-113), é

$$\{Q_w\} = [M_5] \{U'''_w\} + [M_6] \{q_{7-8}\} + [M_7] \{q_{1-6}\} \quad (\text{II.2-146})$$

onde

$$\{Q_w\} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \end{pmatrix} \quad (\text{II.2-147})$$

$$[M_5] = - \begin{bmatrix} j_1 & & & & & & \\ & j_2 & & & & & \\ & & \text{zeros} & & & & \\ & & & j_3 & & & \\ & & & & j_4 & & \\ & & & & & j_5 & \\ \text{zeros} & & & & & & j_6 \\ & & & & & & & j_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-148})$$

$$[M_6] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ L_{L1} + L_5 & 0 \\ L_{L1} + L_6 & L_{L2} + L_6 \\ 0 & L_{L2} + L_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-149})$$

e

$$[M_7] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} L_1 & L_{12} - L_{11} & L_1 & 0 & 0 & 0 \\ L_2 & 0 & 0 & L_2 & 0 & 0 \\ 0 & L_3 & 0 & 0 & L_3 & 0 \\ 0 & 0 & -L_4 & 0 & 0 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & -L_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_{61} - L_{62} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-150})$$

Substituindo-se (II.2-137) e (II.2-138) em (II.2-146),

tem-se

$$\{Q_w\} = ([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4]) \{U_w'''\} + ([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2]) [M_3] \{U_w'\} \quad (\text{II.2-151})$$

Usando-se a equação (II.2-005), pode-se escrever os deslocamentos das sete paredes nos seus planos, em função dos deslocamentos dos diafragmas, ao longo de toda a altura do edifício, como

$$\{U_w\} = [M_8] \{U\} \quad (\text{II.2-152})$$

onde

$$\left. \begin{aligned} \{U_w\} &= \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{Bmatrix} \\ \{U\} &= \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \phi \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-153})$$

e

$$[M_8] = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 \\ a_5 & b_5 & c_5 \\ a_6 & b_6 & c_6 \\ a_7 & b_7 & c_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-154})$$

Convém lembrar que a_i , b_i e c_i são as componentes do ver sor definido no plano da parede i .

De (II.2-152) pode-se obter, por derivadas sucessivas, os valores de $\{U'_w\}$ e $\{U'''_w\}$ que, substituídos em (II.2-151), con duzem a

$$\begin{aligned} \{Q_w\} = & \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \{U'''_w\} + \left([M_6] + \right. \\ & \left. + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2] \right) [M_3] [M_8] \{U'_w\} \end{aligned} \quad \text{(II.2-155)}$$

onde

$$\left. \begin{aligned} \{U'_w\} &= \begin{Bmatrix} u' \\ v' \\ \phi' \end{Bmatrix} \\ \{U'''_w\} &= \begin{Bmatrix} u''' \\ v''' \\ \phi''' \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.2-156)}$$

Do equilíbrio da força cortante do carregamento externo Q_{ext} com as forças cortantes nas paredes, tem-se

$$\left. \begin{aligned} \Sigma Q_i a_i &= Q_{ext} a \\ \Sigma Q_i b_i &= Q_{ext} b \\ \Sigma Q_i c_i + G(\Sigma J_{t_i}) \phi' &= Q_{ext} c \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.2-157)}$$

onde J_{t_i} é o momento de inércia à torção de uma parede genérica i , da do por

$$J_{t_i} = \frac{e_i^3 L_i}{3} \quad \text{(II.2-158)}$$

Na equação (II.2-157) a , b e c são as componentes do ver sor definido no plano de atuação do carregamento externo, conforme figura (II.2-02-a), e G o módulo de elasticidade transversal.

Utilizando-se da definição de $[M_8]$, pode-se escrever a equação (II.2-157) da seguinte maneira:

$$Q_{ext} \{A^*\} = [M_8]^t \{Q_w\} + [M_9] \{U'\} \quad (\text{II.2-159})$$

onde $[M_8]^t$ é a transposta de $[M_8]$, definida em (II.2-154),

$$\{A^*\} = \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-160})$$

e

$$[M_9] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G \Sigma J_{t_i} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-161})$$

Substituindo-se a equação (II.2-155) em (II.2-159), obtém-se o sistema de equações diferenciais, nos deslocamentos dos diafragmas, que descreve o comportamento da estrutura como

$$Q_{ext} \{A^*\} = [M_8]^t \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \{U'''\} + \\ + \left\{ [M_8]^t \left([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2] \right) [M_3] [M_8] + [M_9] \right\} \{U'\} \quad (\text{II.2-162})$$

O sistema de equações diferenciais, dado por (II.2-162), normalmente é apresentado na forma

$$Q_{ext} \{A^*\} = -[J] \{U'''\} + [S] \{U'\} \quad (\text{II.2-163})$$

onde

$$\left. \begin{aligned} [J] &= -[M_8]^t \left([M_5] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_4] \right) [M_8] \\ [S] &= [M_8]^t \left([M_6] + [M_7] [M_1]^{-1} [M_2] \right) [M_3] [M_8] + [M_9] \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-164})$$

Valem aqui as mesmas considerações feitas para a equação (II.2-068) no item (II.2.2.1).

II.2.3.2 - Determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes

Como já foi mencionado, a resolução do sistema de equações diferenciais dado por (II.2-163) permite a determinação dos deslocamentos dos diafragmas e suas derivadas de qualquer ordem.

Os *deslocamentos das paredes* nos seus planos e as *forças cortantes* nas mesmas são obtidos ao longo de toda a altura do edifício, respectivamente das equações (II.2-152) e (II.2-155). Os *momentos fletores nas paredes*, em função dos deslocamentos dos diafragmas, são obtidos por uma combinação da equação (II.2-003) e (II.2-152), como

$$\{M_w\} = - \begin{bmatrix} M_5 \\ M_8 \end{bmatrix} \{U''\} \quad (\text{II.2-165})$$

onde

$$\{M_w\} = \begin{Bmatrix} M_{w1} \\ M_{w2} \\ M_{w3} \\ M_{w4} \\ M_{w5} \\ M_{w6} \\ M_{w7} \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-166})$$

As derivadas da equação (II.2-152), combinadas com as equações (II.2-137) e (II.2-138), permitem determinar as *forças verticais distribuídas nas intersecções* por

$$\{q_{1-6}\} = \begin{bmatrix} M_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \\ M_8 \end{bmatrix} \{U'\} + \begin{bmatrix} M_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_4 \\ M_8 \end{bmatrix} \{U'''\} \quad (\text{II.2-167})$$

$$\{q_{7-8}\} = \begin{bmatrix} M_3 \\ M_8 \end{bmatrix} \{U'\} \quad (\text{II.2-168})$$

Com a determinação dos valores de $\{q_{7-8}\}$, com os sentidos positivos apresentados na figura (II.2-13), as *forças cortantes nos lintéis 1* (Q_{L1}) e *2* (Q_{L2}) são obtidas por

$$\left. \begin{aligned} Q_{L1} &= q_7 \quad h \\ Q_{L2} &= q_8 \quad h \end{aligned} \right\} \quad \text{II.2-169}$$

Das equações de compatibilidade (II.2-117) a (II.2-122), podem ser escritos *os deslocamentos verticais nos eixos de todas as paredes* em função do deslocamento vertical no eixo da parede (2) (poderia também ser utilizado o da parede (1)) e dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos como

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_1 &= \delta_2 + u_1' \frac{L_1}{2} + u_2' \frac{L_2}{2} \\
 \delta_3 &= \delta_2 + u_1' L_{11} + u_2' \frac{L_2}{2} - u_3' \frac{L_3}{2} \\
 \delta_4 &= \delta_2 + u_1' L_1 + u_2' \frac{L_2}{2} - u_4' \frac{L_4}{2} \\
 \delta_5 &= \delta_2 - u_2' \frac{L_2}{2} + u_5' \frac{L_5}{2} \\
 \delta_6 &= \delta_2 + u_1' L_{11} + u_2' \frac{L_2}{2} - u_3' L_3 - u_6' \left(\frac{L_{61}-L_{62}}{2} \right) \\
 \delta_7 &= \delta_2 + u_1' L_1 + u_2' \frac{L_2}{2} - u_4' L_4 - u_7' \frac{L_7}{2}
 \end{aligned} \right\} \text{(II.2-170)}$$

A derivada segunda do deslocamento vertical no eixo da parede (2) é expressa pela equação (II.2-108) como a diferença entre as forças distribuídas nas intersecções 1 e 4. Efetuando-se os produtos matriciais indicados em (II.2-137), chega-se à conclusão que, a diferença entre q_1 e q_4 é função somente de $\{U_w'''\}$ ou

$$q_1 - q_4 = D_1 u_1''' + D_2 u_2''' + D_3 u_3''' + D_4 u_4''' + D_5 u_5''' + D_6 u_6''' + D_7 u_7''' \quad \text{(II.2-171)}$$

onde $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ e D_7 são os valores obtidos pela diferença entre a primeira e a terceira linha da matriz produto de $\{M_1\}^{-1}$ por $\{M_4\}$.

A equação anterior, combinada com (II.2-108), fornece

$$\delta_2'' = \{M_{10}\} \{U_w'''\} \quad \text{(II.2-172)}$$

onde

$$\{M_{10}\} = \frac{1}{EA_2} \{ D_1 \mid D_2 \mid D_3 \mid D_4 \mid D_5 \mid D_6 \mid D_7 \} \quad (\text{II.2-173})$$

Da equação (II.2-172) tem-se

$$\left. \begin{aligned} \delta'_2 &= \{M_{10}\} \{U''_w\} + C_1 \\ \delta_2 &= \{M_{10}\} \{U'_w\} + C_1 z + C_2 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-174})$$

Para uma estrutura engastada na base, sem momentos fletores e sem forças normais aplicados no topo, as condições de contorno para a determinação de C_1 e C_2 de (II.2-174) são

$$\left. \begin{aligned} \delta_{2_0} &= 0 & \text{e} & \{U'_w\}_0 = 0 \\ \delta'_{2_H} &= 0 & \text{e} & \{U''_w\}_H = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-175})$$

onde os subscritos 0 e H indicam respectivamente a base e o topo da estrutura.

Combinando-se o resultado obtido pela substituição de (II.2-175) em (II.2-174) com as equações (II.2-170), chega-se a

$$\{\delta_w\} = (\{M_{11}\} + \{M_{12}\}) \{U'_w\} \quad (\text{II.2-176})$$

onde

$$\{\delta_w\} = \left\{ \begin{array}{c} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \end{array} \right\} \quad (\text{II.2-177})$$

$[M_{11}]$ é uma matriz de (7x7) com todas as linhas iguais a $\{M_{10}\}$, ou

$$[M_{11}] = \begin{bmatrix} \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \\ \{M_{10}\} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-178})$$

e

$$[M_{12}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2L_{11} & L_2 & -L_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2L_1 & L_2 & 0 & -L_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -L_2 & 0 & 0 & L_5 & 0 & 0 \\ 2L_{11} & L_2 & -2L_3 & 0 & 0 & L_{62} - L_{61} & 0 \\ 2L_1 & L_2 & 0 & -2L_4 & 0 & 0 & -L_7 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-179})$$

Com as equações (II.2-176) e (II.2-152), chega-se a

$$\{\delta_w\} = ([M_{11}] + [M_{12}]) [M_8] \{U'\} \quad (\text{II.2-180})$$

Como a força normal em uma parede genérica pode ser determinada a partir da deformação vertical no seu eixo (análogo ao apresentado na equação (II.2-009)), têm-se as *forças normais* em todas as paredes, como

$$\{N_w\} = [M_{13}] ([M_{11}] + [M_{12}]) [M_8] \{U''\} \quad (\text{II.2-181})$$

onde

$$\left\{ N_w \right\} = \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \\ N_5 \\ N_6 \\ N_7 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-182})$$

e

$$\left[M_{13} \right] = E \begin{bmatrix} A_1 & & & & & & & \\ & A_2 & & & & & & \\ & & A_3 & & & & & \\ & & & A_4 & & & & \\ & & & & A_5 & & & \\ & & & & & A_6 & & \\ & & & & & & A_7 & \\ & & & & & & & \text{zeros} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-183})$$

As forças normais e momentos fletores em todas as paredes permitem a determinação das tensões axiais em qualquer ponto da secção transversal da estrutura ao longo de toda a altura.

Os deslocamentos verticais nas intersecções de 1 a 8 determinados a partir das equações de compatibilidade são

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \delta_2 + u'_2 \frac{L_2}{2} \\ V_2 &= \delta_1 + u'_1 \left(\frac{L_{11} - L_{12}}{2} \right) \\ V_3 &= \delta_4 + u'_4 \frac{L_4}{2} \\ V_4 &= \delta_5 - u'_5 \frac{L_5}{2} \\ V_5 &= \delta_3 - u'_3 \frac{L_3}{2} \\ V_6 &= \delta_7 + u'_7 \frac{L_7}{2} \\ V_7 &= \delta_6 - u'_6 \left(\frac{L_{L1} + L_6}{2} \right) + q_7 h \left(\frac{L_{L1}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L1}} \\ V_8 &= \delta_6 + u'_6 \left(\frac{L_6 + L_{L2}}{2} \right) - q_8 h \left(\frac{L_{L2}}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_{L2}} \end{aligned} \right\} (\text{II.2-184})$$

Combinando-se as equações (II.2-184) com (II.2-138) e (II.2-152), obtêm-se

$$\{V_w^*\} = \{\delta_w^*\} + [M_{14}] [M_8] \{U'\} \quad (\text{II.2-185})$$

onde

$$\{V_w^*\} = \left\{ \begin{array}{c} V_2 \\ V_1 \\ V_5 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_7 \\ V_6 \\ V_8 \end{array} \right\} \quad (\text{II.2-186})$$

$$\{\delta_w^*\} = \left\{ \begin{array}{c} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \end{array} \right\} \quad (\text{II.2-187})$$

$$\left[M_{14} \right] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix}
 L_{11} - L_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -L_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & L_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -L_5 & 0 & 0 & 0 \\
 -L_{11} & -L_2 & L_3 & 0 & \frac{2L_5 + L_{L1}}{2} & -\left(\frac{2L_{62} + L_{L1}}{2} \right) & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_7 \\
 L_{12} & 0 & L_3 & -L_4 & 0 & \frac{2L_{61} + L_{L2}}{2} & -\left(\frac{2L_7 + L_{L2}}{2} \right) & 0
 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-188})$$

II.2.3.3 - Programas para o cálculo automático

Devido à semelhança entre as expressões dos itens (II.2.2.1) e (II.2.2.2), e (II.2.3.1) e (II.2.3.2), houve a possibilidade do aproveitamento da maioria dos segmentos e subprogramas apresentados em (II.2.2.3), sendo necessário apenas o desenvolvimento dos segmentos *COREC* e *JS*, e do subprograma *ESFOR*, nos quais foram conservados os mesmos nomes e as mesmas funções. Em vista disto, há necessidade da apresentação somente de como os dados de entrada devem ser fornecidos, das listagens dos programas citados e do exemplo de impressão dos resultados. Na tabela (II.2-02) apenas as dimensões das matrizes *NORM* e *MOMEM* devem ser modificadas para (*NAND+1*, 7).

a) Descrição dos dados de entrada

a.1) Dados sobre a estrutura (formato livre)

número de andares e altura dos mesmos (*um registro*)

módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (*um registro*)

a.2) Geometria das paredes (formato livre)

número da parede, espessura e comprimento da mesma (*sete registros*)

comprimento parcial da parede (1) (L_{11}) e da parede (6) (L_{61}) (*um registro*)

a.3) Dados dos lintéis (formato livre)

número do lintel, espessura, altura e comprimento do mesmo (*dois registros*)

a.4) Componentes dos versores definidos nos planos das paredes (formato livre)

número da parede e componentes a, b e c do versor definido no seu plano (*sete registros*)

a.5) Título da estrutura (formato 40A2) - (*um registro*)a.6) Número de carregamentos atuantes na estrutura (formato livre) - (*um registro*)

a.7) Dados dos carregamentos (formato livre)

valor da carga concentrada no topo da estrutura e coordenadas a, b e c do versor definido no seu plano; e valor da carga uniformemente distribuída com as coordenadas a, b e c do versor do seu plano. (*O número de registros é igual ao número de carregamentos lido em a.6.*)

Para a execução de várias estruturas basta repetirem-se os dados de (a.1) a (a.7) tantas vezes quantas forem necessárias, colocando-se após a última um registro com o número de andares igual a zero.

b) Listagens dos programas

b.1) Segmento COREC

```

001 FTN4
002 PROGRAM COREC(3)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          ESTRUTURA COM DOIS CANAIS ADJACENTES
006 C-----          CRIACAO DOS ARQUIVOS
007 C-----
008 INTEGER ARQ1(3),SCODE(2),NOTRB(2),JS(3),ARQ2(3),ARQ3(3)
009 DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
010 COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
011 DATA ARQ1,ARQ2,ARQ3/2HAR,2HG1,1H ,2HAR,2HQ2,1H ,2HAR,2HQ3,1H /,
012 *SCODE,NOTRB,JS/1,0,1,1,2HJS,2H ,1H /
013 C LEITURA DO NRO DE ANDARES E ALTURA DO ANDAR
014 READ(5,*)NAND,H
015 IF(NAND.LE.0)GO TO 10
016 N=NAND+7
017 HT=NAND*H
018 CALL EXEC(24,1,IOTB,128,ITRB,NOTRB,11,IER)
019 CALL TESTE(1)
020 CALL EXEC(24,2,ARQ1,0,N,27,SCODE,IER)
021 CALL TESTE(2)
022 CALL EXEC(24,2,ARQ2,0,3*N,9*N,SCODE,IER)
023 CALL TESTE(10B)
024 CALL EXEC(24,2,ARQ3,0,1,3*218,SCODE,IER)
025 CALL TESTE(20B)
026 C GERACAO DE {J} E {S}
027 CALL EXEC(8,JS)
028 10 END
029 $

```

b.2) Segmento JS

```

001 FTN4
002 PROGRAM JS(5)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          ESTRUTURA COM DOIS CANAIS ADJACENTES
006 C-----          GERACAO DE {J} E {S}
007 C-----
008 INTEGER CABEC(40),IP(6),IQ(6),ARQ3(3),GERAC(3)
009 *,PAREDE
010 DOUBLE PRECISION MI,ESP(7),COMP(7),BL(2),HL(2),COMPL(2),L11,L61
011 *,M8(7,3),L12,L62,SJT,IL(2),ESPI,COMPI,AREA(7),EJ(7),M1(6,6),
012 *S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7,AUX1(6),AUX2(6),M2(6,2),CL1,CL2,LL1,LL2,
013 *L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,M4(6,7),M3(2,7),M5(7,7),M6(7,2),M8T(3,7)
014 *,M12A(6,2),M123(6,7),M1238(6,3),M14A(6,7),M148(6,3),M71238(7,3),
015 *M38(2,3),M638(7,3),M58(7,3),M7148(7,3),MQ1(7,3),MQ3(7,3),M1238L(
016 *8,3),M108(1,3),M12(7,7),M128(7,3),M13(7,7),M13128(7,3),
017 *M14(12,7),M148V(12,3),AUX(218),C1
018 *,M7(7,6)

```

```

019      *,MORE(7)
020      DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
021      COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
022      EQUIVALENCE (S1,AREA(1)),(S2,AREA(2)),(S3,AREA(3)),
023      *(S4,AREA(4)),(S5,AREA(5)),(S6,AREA(6)),(S7,AREA(7)),
024      *(LL1,COMPL(1)),(LL2,COMPL(2)),(L1,COMP(1)),(L2,COMP(2)),
025      *(L3,COMP(3)),(L4,COMP(4)),(L5,COMP(5)),(L6,COMP(6)),(L7,COMP(7)),
026      *(AUX(1),M8),(AUX(22),M148),(AUX(40),M58),(AUX(61),MQ1),
027      *(AUX(82),MQ3),(AUX(103),M1238L),(AUX(127),M128),(AUX(148),M13128),
028      *(AUX(169),M148V)
029      *,(AUX(205),AREA),(AUX(212),MORE)
030      DATA ARG3,GERAC/2HAR,2HQ3,1H ,2HGE,2HRA,1HC/
031      C          LEITURA DAS PROPS FIS E GEOM DOS NUCLEOS E LINTEIS
032      READ(5,*)E,MI
033      DO 1 I=1,7
034      1 READ(5,*)PAREDE,ESP(PAREDE),COMP(PAREDE)
035      READ(5,*)L11,L61
036      DO 2 I=1,2
037      2 READ(5,*)LINTEL,BL(LINTEL),HL(LINTEL),COMPL(LINTEL)
038      C          LEITURA DAS COORD. DAS PAREDES
039      DO 3 I=1,7
040      3 READ(5,*)PAREDE,(M8(PAREDE,J),J=1,3)
041      READ(5,5)CABEC
042      5 FORMAT(40A2)
043      CALL FOLHA
044      WRITE(6,15)CABEC
045      15 FORMAT(" EDIFICIO COM UMA PAREDE DE SECCAO ABERTA, FORMADA"
046      *" POR DOIS CANAIS ADJACENTES, "
047      */" CONTRAVENTADA POR LINTEIS - TECNICA DO MEIO"
048      *" CONTINUO"/1X,40A2///" DADOS DA ESTRUTURA")
049      NAND=N-7
050      WRITE(6,25)E,MI,H,NAND
051      25 FORMAT(" MOD,ELASTICIDADE COEF.POISSON ALT.ANDAR NRO ANDAR"
052      *"ES"/E16.7,F11.3,F14.3,I9/)
053      WRITE(6,35)(I,ESP(I),COMP(I),(M8(I,J),J=1,3),I=1,7)
054      35 FORMAT(" PAREDES"/" NUMERO LARGURA COMPRIMENTO"5X"A"9X"B"9X"C"/
055      *(15,1X,2F10.4,3X,3F10.4))
056      WRITE(6,45)(I,BL(I),HL(I),COMPL(I),I=1,2)
057      45 FORMAT("/" LINTEIS"/" NUMERO LARGURA ALTURA COMPRIM."/
058      *(15,1X,3F10.4))
059      L12=L1-L11
060      L62=L6-L61
061      SJT=0.
062      IL(1)=BL(1)*HL(1)*HL(1)*HL(1)
063      IL(2)=BL(2)*HL(2)*HL(2)*HL(2)
064      DO 10 I=1,7
065      ESPI=ESP(I)
066      COMPI=COMP(I)
067      AREA(I)=ESPI*COMPI
068      EJ(I)=ESPI*COMPI*COMPI*COMPI/12.
069      MORE(I)=2*EJ(I)/COMPI
070      10 SJT=SJT+ESPI*ESPI*ESPI*COMPI
071      SJT=0.5/(1.+MI)*SJT/3.
072      C          GERACAO DE [M1] (6X6)
073      DO 20 I=1,6
074      DO 20 J=1,6
075      20 M1(I,J)=0.
076      M1(1,1)=S1+S2
077      M1(2,1)=S3
078      M1(3,1)=-S4
079      M1(4,1)=-S5
080      M1(1,2)=S2
081      M1(2,2)=S1+S3
082      M1(3,2)=-S4
083      M1(5,2)=-S6
084      M1(1,3)=-S2
085      M1(2,3)=-S3
086      M1(3,3)=S1+S4
087      M1(6,3)=S7
088      M1(1,4)=-S1

```

```

089      M1(4,4)=S2+S5
090      M1(2,5)=-S1
091      M1(5,5)=S3+S6
092      M1(3,6)=S1
093      M1(6,6)=S4+S7
094 C          INVERSAO DE (M1)
095      CALL GJRS(M1,AUX1,AUX2,IP,10,6)
096 C          GERACAO DE (M2) (6X2)
097      DO 30 I=1,6
098      DO 30 J=1,2
099      30 M2(I,J)=0.
100
101      M2(4,1)=-S2
102      M2(5,1)=S3
103      M2(5,2)=-S3
104      M2(6,2)=S4
105 C          GERACAO DE (M3) (2X7)
106      CL1=IL(1)/H/LL1/LL1/LL1
107      CL2=IL(2)/H/LL2/LL2/LL2
108      M3(1,1)=-L11*CL1
109      M3(1,2)=-L2*CL1
110      M3(1,3)=L3*CL1
111      M3(1,4)=0.
112      M3(1,5)=(2.*L5+LL1)*0.5*CL1
113      M3(1,6)=(2.*L6+LL1)*0.5*CL1
114      M3(1,7)=0.
115      M3(2,1)=-L12*CL2
116      M3(2,2)=0.
117      M3(2,3)=-L3*CL2
118      M3(2,4)=L4*CL2
119      M3(2,5)=0.
120      M3(2,6)=(2.*L6+LL2)*0.5*CL2
121      M3(2,7)=(2.*L7+LL2)*0.5*CL2
122 C          GERACAO DE (M4) (6X7)
123      DO 40 I=1,6
124      DO 40 J=1,7
125      40 M4(I,J)=0.
126      M4(1,1)=-0.5*L1*S1*S2
127      M4(1,2)=-0.5*L2*S1*S2
128      M4(2,1)=0.5*(L11-L12)*S1*S3
129      M4(2,3)=-0.5*L3*S1*S3
130      M4(3,1)=-0.5*L1*S1*S4
131      M4(3,4)=0.5*L4*S1*S4
132      M4(4,2)=-0.5*L2*S2*S5
133      M4(4,5)=0.5*L5*S2*S5
134      M4(5,3)=-0.5*L3*S3*S6
135      M4(5,6)=-0.5*(L61-L62)*S3*S6
136      M4(6,4)=-0.5*L4*S4*S7
137      M4(6,7)=-0.5*L7*S4*S7
138 C          GERACAO DE (M5) (7X7)
139      DO 60 I=1,7
140      DO 50 J=1,7
141      50 M5(I,J)=0.
142      60 M5(I,I)=-EJ(1)
143 C          GERACAO DE (M6) (7X2)
144      DO 70 I=1,5
145      DO 70 J=1,2
146      70 M6(I,J)=0.
147      M6(5,1)=0.5*(LL1+L5)
148      M6(6,1)=0.5*(LL1+L6)
149      M6(7,1)=0.
150      M6(6,2)=0.5*(LL2+L6)
151      M6(7,2)=0.5*(LL2+L7)
152 C          GERACAO DE (M8T) (3X7)
153      DO 80 I=1,7
154      DO 80 J=1,3
155      80 M8T(J,I)=M8(I,J)
156 C          GERACAO DE (M7) (7X6)
157      DO 71 I=1,7
158      DO 71 J=1,6

```



```

159      71 M7(I,J)=0.
160      M7(1,1)=0.5*L1
161      M7(1,2)=-0.5*(L11-L12)
162      M7(1,3)=M7(1,1)
163      M7(2,1)=0.5*L2
164      M7(2,4)=M7(2,1)
165      M7(3,2)=0.5*L3
166      M7(3,5)=M7(3,2)
167      M7(4,3)=-0.5*L4
168      M7(4,6)=-M7(4,3)
169      M7(5,4)=-0.5*L5
170      M7(6,5)=0.5*(L61-L62)
171      M7(7,6)=0.5*L7
172      C          GERACAO DE [J] E [S] (3X3)
173      CALL MULT(M1,M2,M12A,6,6,2)
174      CALL MULT(M12A,M3,M123,6,2,7)
175      CALL MULT(M123,M8,M1238,6,7,3)
176      CALL MULT(M1,M4,M14A,6,6,7)
177      CALL MULT(M14A,M8,M148,6,7,3)
178      CALL MULT(M7,M1238,M71238,7,6,3)
179      CALL MULT(M3,M8,M38,2,7,3)
180      CALL MULT(M6,M38,M638,7,2,3)
181      CALL MULT(M5,M8,M58,7,7,3)
182      CALL MULT(M7,M148,M7148,7,6,3)
183      DO 90 I=1,7
184      DO 90 J=1,3
185      MQ1(I,J)=M638(I,J)+M71238(I,J)
186      90 MQ3(I,J)=M58(I,J)+M7148(I,J)
187      CALL MULT(M8T,MQ3,3,7,3)
188      CALL MULT(M8T,MQ1,S,3,7,3)
189      S(3,3)=S(3,3)+SJT
190      WRI(E(6,55))((S(I,J),J=1,3),I=1,3)
191      55 FORMAT(" MATRIZ [S]"/(3E20.7))
192      WRITE(6,65)((JJ(I,J),J=1,3),I=1,3)
193      65 FORMAT(" MATRIZ -[J]"/(3E20.7))
194      C          GERACAO DE [M1238L] (8X3) (PARA CALCULO DE [Q])
195      DO 91 J=1,3
196      DO 81 I=1,6
197      81 M1238L(I,J)=M1238(I,J)
198      M1238L(7,J)=M38(1,J)
199      91 M1238L(8,J)=M38(2,J)
200      C          GERACAO DE [M108] (1X3)
201      DO 100 I=1,3
202      100 M108(1,I)=(M148(1,I)-M148(4,I))/S2
203      DO 110 I=1,7
204      DO 110 J=1,7
205      M12(I,J)=0.
206      110 M13(I,J)=0.
207      C          GERACAO DE [M12] (7X7)
208      M12(1,1)=0.5*L1
209      M12(3,1)=L11
210      M12(4,1)=L1
211      M12(6,1)=L11
212      M12(7,1)=L1
213      C1=0.5*L2
214      M12(1,2)=C1
215      M12(3,2)=C1
216      M12(4,2)=C1
217      M12(5,2)=-C1
218      M12(6,2)=C1
219      M12(7,2)=C1
220      M12(3,3)=-0.5*L3
221      M12(6,3)=-L3
222      M12(4,4)=-0.5*L4
223      M12(7,4)=-L4
224      M12(5,5)=0.5*L5
225      M12(6,6)=-0.5*(L61-L62)
226      M12(7,7)=-0.5*L7
227      CALL MULT(M12,M8,M128,7,7,3)
228      DO 120 I=1,7

```

```

229      DO 120 J=1,3
230 120 M128(I,J)=M128(I,J)+M108(I,J)
231 C      GERACAO DE [M13] (7X7)
232      DO 130 I=1,7
233 130 M13(I,I)=AREA(I)
234      CALL MULT(M13,M128,M13128,7,7,3)
235 C      GERACAO DE [M14] (8X7)
236      DO 140 I=1,12
237      DO 140 J=1,7
238 140 M14(I,J)=0.
239      M14(1,1)=0.5*(L11-L12)
240      M14(6,1)=-0.5*L11
241      M14(8,1)=0.5*L12
242      M14(2,2)=0.5*L2
243      M14(6,2)=-0.5*L2
244      M14(3,3)=-0.5*L3
245      M14(6,3)=0.5*L3
246      M14(8,3)=0.5*L3
247      M14(4,4)=0.5*L4
248      M14(8,4)=-0.5*L4
249      M14(5,5)=-0.5*L5
250      M14(9,5)=0.25*(2.*L5+LL1)
251      M14(6,6)=-0.25*(2.*L62+LL1)
252      M14(8,6)=0.25*(2.*L61+LL2)
253      M14(7,7)=0.5*L7
254      M14(8,7)=-0.25*(2.*L7+LL2)
255      M14(9,5)=0.5*L5
256      M14(10,6)=-0.5*L6
257      M14(11,6)=0.5*L6
258      M14(12,7)=-0.5*L7
259      CALL MULT(M14,M8,M148V,12,7,3)
260 C      REARRANJO DE [M58] PARA O CALCULO DE [MON]
261      DO 150 I=1,7
262      DO 150 J=1,3
263 150 M58(I,J)=-M58(I,J)
264 C      MODIFICACAO DE [M148V] PARA O CALCULO DE [V]
265      DO 170 J=1,3
266      DO 160 I=1,7
267 160 M148V(I,J)=M148V(I,J)+M128(I,J)
268      M148V(9,J)=M128(5,J)+M148V(9,J)
269      M148V(10,J)=M128(6,J)+M148V(10,J)
270      M148V(11,J)=M128(6,J)+M148V(11,J)
271      M148V(12,J)=M128(7,J)+M148V(12,J)
272 170 M148V(8,J)=M148V(8,J)+M128(6,J)
273      CALL EXEC(24,8,ARG3,1,AUX,IER)
274      CALL TESTE(218)
275 C      GERACAO DOS COEFS DAS DIFS FINITAS
276      CALL EXEC(8,GERAC)
277      CALL COREC
278      END
279 S

```

b.3) Subprograma ESFOR

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE ESFOR(F,NCAR)
003 C----
004 C----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C----          ESTRUTURA COM DOIS CANAIS ADJACENTES
006 C----          CALCULO DOS DESLOCS , ESFORCOS E TENSOES
007 C----          NAS PAREDES
008 C----
009 INTEGER A,ARG3(3),ARG1(3),ANDAR
010 DOUBLE PRECISION AUX3(218),M8(7,3),M148(6,3),M58(7,3),MQ1(7,3),

```

```

011      *MQ3(7,3),M1238L(8,3),M128(7,3),M13128(7,3),M148V(12,3),Z,UVW(3),
012      *U(7),AUX1(9),UVW1(3),UVW2(3),UVW3(3),MOM(7),AUX2(7),QW(7),Q(8),
013      *AUX4(6),DELTA(7),V(12),NORMAL(7)
014      *.F(1)
015      *.AREA(7),MORE(7),NORM(S1,7),MOMEM(S1,7),SIGMA(10),TENS
016      EQUIVALENC (AUX3(1),M8),(AUX3(22),M148),(AUX3(40),M58),
017      *(AUX3(61),MQ1),(AUX3(82),MQ3),(AUX3(103),M1238L),(AUX3(127),M128)
018      *,(AUX3(148),M13128),(AUX3(169),M148V),(UVW1,AUX1(1)),
019      *(UVW2,AUX1(4)),(UVW3,AUX1(7)),(MOM,QW,Q,NORMAL,V),(AUX2,AUX4)
020      *,(AUX3(205),AREA),(AUX3(212),MORE)
021      DOUBLE PRECISION JJ(3,3),S(3,3),H,HT,E
022      COMMON JJ,S,N,H,HT,E,IOTB(128),ITRB(1408)
023      DATA ARQ3,ARQ1/2HAR,2HQ3,1H ,2HAR,2HQ1,1H /
024      TENS(I,J,SINAL)=-NORM(I,J)/AREA(J)+SINAL*MOMEM(I,J)/MORE(J)
025      CALL EXEC(24,6,ARQ3,1,AUX3,IER)
026      CALL TESTE(228)
027      CALL FOLHA
028      WRITE(6,5)NCAR
029      5 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NOS PLANOS DAS PAREDES"
030      *"(CARREGAMENTO NRO="I4")")
031      WRITE(6,15)(I,I=1,7)
032      15 FORMAT("  ANDAR"7(5X"PARADE"13,1X))
033      N3=N-3
034      DO 20 M=4,N3
035      ANDAR=M-4
036      DO 10 I=1,3
037      A=(I-1)*N
038      10 UVW(I)=F(M+A)/E
039      CALL MULT1(M8,UVW,U,7,3)
040      20 WRITE(6,25)ANDAR,U
041      25 FORMAT(I8,8E15.7)
042      CALL FOLHA
043      WRITE(6,35)NCAR
044      35 FORMAT(4/" MOMENTOS FLETORES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="
045      *I4")")
046      WRITE(6,15)(I,I=1,7)
047      DO 40 M=4,N3
048      ANDAR=M-4
049      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
050      CALL TESTE(5)
051      CALL MULT1(M58,UVW2,MOM,7,3)
052      DO 31 I=1,7
053      31 MOMEM(M-3,I)=MOM(I)
054      40 WRITE(6,25)ANDAR,MOM
055      CALL FOLHA
056      WRITE(6,45)NCAR
057      45 FORMAT(4/" FORÇAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="
058      *I4")")
059      WRITE(6,15)(I,I=1,7)
060      DO 60 M=4,N3
061      ANDAR=M-4
062      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
063      CALL TESTE(6)
064      CALL MULT1(MQ1,UVW1,QW,7,3)
065      CALL MULT1(MQ3,UVW3,AUX2,7,3)
066      DO 50 I=1,7
067      50 QW(I)=QW(I)+AUX2(I)
068      60 WRITE(6,25)ANDAR,QW
069      CALL FOLHA
070      WRITE(6,55)NCAR
071      55 FORMAT(4/" FORÇAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS (CARREGAMEN"
072      *"TO NRO="I4")")
073      WRITE(6,65)(I,I=1,8)
074      65 FORMAT("  ANDAR"8(4X"INTERSEC"12,1X))
075      DO 80 M=4,N3
076      ANDAR=M-4
077      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
078      CALL TESTE(7)
079      CALL MULT1(M1238L,UVW1,Q,8,3)
080      CALL MULT1(M148,UVW3,AUX4,6,3)

```

```

081      DO 70 I=1,6
082      70 Q(I)=Q(I)+AUX4(I)
083      80 WRITE(6,25)ANDAR,Q
084      CALL FOLHA
085      WRITE(6,75)NCAR
086      75 FORMAT(4/" DESLOC VERTICAIS NOS EIXOS DAS PAREDES (+PARA "
087      *" BAIXO) (CARREGAMENTO NR)="I4")")
088      WRITE(6,15)(I,I=1,7)
089      DO 100 M=4,N3
090      ANDAR=M-4
091      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
092      CALL TESTE(70B)
093      CALL MULT1(M128,UVW1,DELTA,7,3)
094      DO 90 I=1,7
095      90 DELTA(I)=DELTA(I)/E
096      100 WRITE(6,25)ANDAR,DELTA
097      CALL FOLHA
098      WRITE(6,85)NCAR,(I,I=1,8)
099      85 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS VERTICAIS NAS INTERSECCOES (+ PARA "
100      *"BAIXO) (CARREGAMENTO NRO)="I4")"/
101      *" ANDAR"8(2X"INT."I2,2X),2X"INT. 4A"3X"INT. 5A"3X"INT. 5B"
102      *3X"INT. 6A"/)
103      DO 120 M=4,N3
104      ANDAR=M-4
105      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
106      CALL TESTE(72B)
107      CALL MULT1(M148V,UVW1,V,12,3)
108      DO 110 I=1,12
109      110 V(I)=V(I)/E
110      120 WRITE(6,225)ANDAR,V(2),V(1),V(5),V(3),V(4),V(7),V(6),V(8)
111      *,(V(I),I=9,12)
112      225 FORMAT(I8,12E10,3)
113      CALL FOLHA
114      WRITE(6,95)NCAR
115      95 FORMAT(4/" FORCAS NORMAIS NAS PAREDES (+COMPRESSAO)"
116      *" (CARREGAMENTO NRO)="I4")")
117      WRITE(6,15)(I,I=1,7)
118      DO 130 M=4,N3
119      ANDAR=M-4
120      CALL EXEC(24,6,ARQ1,M-3,AUX1,IER)
121      CALL TESTE(71B)
122      CALL MULT1(M13128,UVW2,NORMAL,7,3)
123      DO 121 I=1,7
124      121 NORM(M-3,I)=NORMAL(I)
125      130 WRITE(6,25)ANDAR,NORMAL
126      C      CALCULO DAS TENSOES LONG. NOS NOS
127      CALL FOLHA
128      WRITE(6,205)NCAR,(I,I=1,6)
129      205 FORMAT(4/" TENSOES LONGITUDINAIS NOS NO'S (TRACAO +) -"
130      *" (CARREGAMENTO NRO)="I4")"/" ANDAR"
131      *6(6X"NO"12,2X)5X"NO 4A"7X"NO 5A"7X"NO 5B" 7X"NO 6A"/)
132      DO 140 M=4,N3
133      INDI=M-3
134      ANDAR=M-4
135      SIGMA(1)=TENS(INDI,1,1.)
136      SIGMA(2)=TENS(INDI,3,-1.)
137      SIGMA(3)=TENS(INDI,1,-1.)
138      SIGMA(4)=TENS(INDI,2,1.)
139      SIGMA(5)=TENS(INDI,3,1.)
140      SIGMA(6)=TENS(INDI,4,1.)
141      SIGMA(7)=TENS(INDI,5,-1.)
142      SIGMA(8)=TENS(INDI,6,1.)
143      SIGMA(9)=TENS(INDI,6,-1.)
144      SIGMA(10)=TENS(INDI,7,1.)
145      140 WRITE(6,215)ANDAR,SIGMA
146      215 FORMAT(I8,10E12,5)
147      END
148      S

```

c) Exemplo de impressão dos resultados

Os programas de cálculo automático foram processados para a estrutura de quinze andares de 12,5 ft de pé direito, apresentada na figura (II.2-14), submetida a uma carga horizontal uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft, concordante em direção e sentido com o eixo x e aplicada na origem dos eixos coordenados. A estrutura é constituída por uma única parede de secção aberta, uniforme ao longo de toda a altura, formada por dois canais adjacentes, com as espessuras de todas as paredes iguais a 1,0 ft. O contraventamento ao nível dos andares é formado por lintéis de 1,0 ft de espessura e 1,5 ft de altura.

O módulo de elasticidade foi adotado igual a $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e o coeficiente de Poisson, 0,15.

Os números dos nós e das intersecções referenciados na impressão dos resultados são mostrados dentro das circunferências na figura (II.2-14), e os das paredes pelas setas numeradas que indicam também os sentidos dos versores definidos nos seus planos.

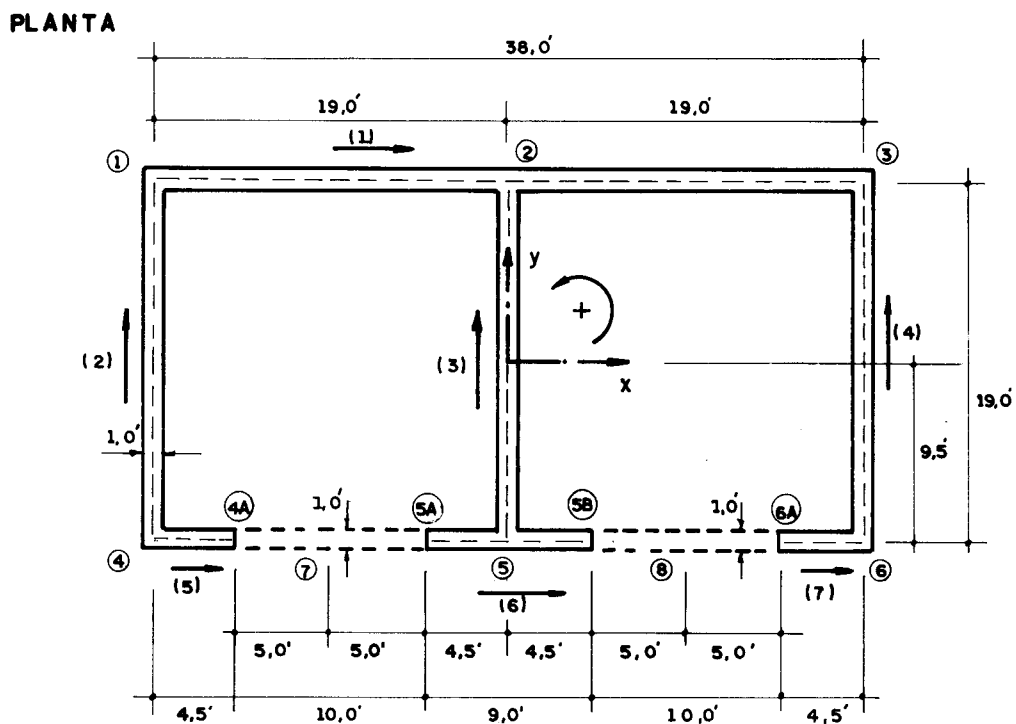


FIG. II. 2-14- EDIFÍCIO COM DOIS NÚCLEOS ADJACENTES

EDIFICIO COM UMA PAREDE DE SECCAO ABERTA, FORMADA POR DOIS CANAIS ADJACENTES,
 CONTRAVENTADA POR LINTEIS - TECNICA DO MEIO CONTINUO
 CANAIS ADJACENTES IGUAIS (UNID LB-FT)

DADOS DA ESTRUTURA
 MOD.ELASTICIDADE COEF. POISSON ALT. ANDAR NRO ANDARES
 .5760000E+09 .150 12.500 15

PAREDES	NUMERO	LARGURA	COMPRIMENTO	A	B	C
	1	1.0000	38.0000	1.0000	.0000	-9.5000
	2	1.0000	19.0000	.0000	1.0000	-19.0000
	3	1.0000	19.0000	.0000	1.0000	.0000
	4	1.0000	19.0000	.0000	1.0000	19.0000
	5	1.0000	4.5000	1.0000	.0000	9.5000
	6	1.0000	9.0000	1.0000	.0000	9.5000
	7	1.0000	4.5000	1.0000	.0000	9.5000

LINTEIS	NUMERO	LARGURA	ALTURA	COMPRIM.
	1	1.0000	1.5000	10.0000
	2	1.0000	1.5000	10.0000

MATRIZ [S]	
.4235588E-13	.8471176E-13
.3047290E-13	.6094581E-13
-.1018765E-11	-.2037529E-11

MATRIZ [J]	
-.2039167E+05	.3882143E+06
-.1490116E-07	-.6449281E+04
.3882143E+06	.2309680E-06
	-.8635872E+07

CARREGAMENTO NRO= 1
TIPO P
UNIF DIST 1250.000 1.0000 .0000 .0000

DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA (CARREGAMENTO NRO= 1) ROTACAO

ANDAR	DESLOC X	DESLOC Y	ROTACAO
0	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
1	.4636195E-03	-.4343980E-15	.1760831E-04
2	.1718918E-02	-.1645793E-14	.6443464E-04
3	.3586053E-02	-.3507415E-14	.1326432E-03
4	.5913660E-02	-.5906230E-14	.2157944E-03
5	.8574924E-02	-.8741787E-14	.3086330E-03
6	.1146438E-01	-.1192529E-13	.4069163E-03
7	.1449530E-01	-.1537884E-13	.5072745E-03
8	.1759770E-01	-.1903484E-13	.6071001E-03
9	.2071666E-01	-.2283554E-13	.7044623E-03
10	.2381123E-01	-.2673269E-13	.7980440E-03
11	.2685359E-01	-.3068733E-13	.8870981E-03
12	.2982856E-01	-.3466963E-13	.9714232E-03
13	.3273356E-01	-.3865891E-13	.1051357E-02
14	.3557874E-01	-.4264367E-13	.1127787E-02
15	.3838755E-01	-.4662178E-13	.1202181E-02

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NOS PLANOS DAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1) PAREDE 4

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4
0	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
1	.2963405E-03	-.3345579E-03	-.4343980E-15	.3345579E-03
2	.1106789E-02	-.1224258E-02	-.1645793E-14	.1224258E-02
3	.2325942E-02	-.2520221E-02	-.3507415E-14	.2520221E-02
4	.3863614E-02	-.4100093E-02	-.5906230E-14	.4100093E-02
5	.5642910E-02	-.5864027E-02	-.8741787E-14	.5864027E-02
6	.7598670E-02	-.7731410E-02	-.1192529E-13	.7731410E-02
7	.9676195E-02	-.9638216E-02	-.1537884E-13	.9638216E-02
8	.1183025E-01	-.1153490E-01	-.1903484E-13	.1153490E-01
9	.1402427E-01	-.1338470E-01	-.2283554E-13	.1338478E-01
10	.1622982E-01	-.1516284E-01	-.2673269E-13	.1516284E-01
11	.1842615E-01	-.1685486E-01	-.3068733E-13	.1685486E-01
12	.2060004E-01	-.1845704E-01	-.3466963E-13	.1845704E-01
13	.2274567E-01	-.1997578E-01	-.3865891E-13	.1997578E-01
14	.2486476E-01	-.2142796E-01	-.4264367E-13	.2142796E-01
15	.2696684E-01	-.2284144E-01	-.4662178E-13	.2284144E-01

PAREDE 5

.000000E+00
.6308984E-03
.2331047E-02
.4846163E-02
.7963706E-02
.1150694E-01
.1533008E-01
.1931441E-01
.2336515E-01
.2740905E-01
.3139265E-01
.3528102E-01
.3905708E-01
.4272145E-01
.4629272E-01
.4980827E-01

PAREDE 6

.000000E+00
.6308984E-03
.2331047E-02
.4846163E-02
.7963706E-02
.1150694E-01
.1533008E-01
.1931441E-01
.2336515E-01
.2740905E-01
.3139265E-01
.3528102E-01
.3905708E-01
.4272145E-01
.4629272E-01
.4980827E-01

PAREDE 7

.000000E+00
.6308984E-03
.2331047E-02
.4846163E-02
.7963706E-02
.1150694E-01
.1533008E-01
.1931441E-01
.2336515E-01
.2740905E-01
.3139265E-01
.3528102E-01
.3905708E-01
.4272145E-01
.4629272E-01
.4980827E-01

COMENTOS FLETORES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6	PAREDE 7
0	.1071006E+08	-.1543051E+07	-.1933248E-05	.1543051E+07	.3828617E+05	.3062893E+06	.3828617E+05
1	.8641504E+07	-.1164218E+07	-.163542E-05	.1164218E+07	.2981798E+05	.2385438E+06	.2981798E+05
2	.6868034E+07	-.8513721E+06	-.1367671E-05	.8513721E+06	.2271650E+05	.1817320E+06	.2271650E+05
3	.5350478E+07	-.5942684E+06	-.1129700E-05	.5942684E+06	.1678058E+05	.1342446E+06	.1678058E+05
4	.4056522E+07	-.3844569E+06	-.9182091E-06	.3844569E+06	.1184429E+05	.9475428E+05	.1184429E+05
5	.2959886E+07	-.2150653E+06	-.7312385E-06	.2150653E+06	.7772674E+04	.6218140E+05	.7772674E+04
6	.2039256E+07	-.8052058E+05	-.5672021E-06	.8052058E+05	.4456311E+04	.3565049E+05	.4456311E+04
7	.1277799E+07	.2357960E+05	-.4248521E-06	-.2357960E+05	.1808753E+04	.1447002E+05	.1808753E+04
8	.6623958E+06	.1006655E+06	-.3032206E-06	-.1006655E+06	-.2373590E+03	-.1898872E+04	-.2373590E+03
9	.1834244E+06	.1532536E+06	-.2016025E-06	-.1532536E+06	-.1731436E+04	-.1385149E+05	-.1731436E+04
10	-.1657681E+06	.1830835E+06	-.1195155E-06	-.1830835E+06	-.2707638E+04	-.2166110E+05	-.2707638E+04
11	-.3888734E+06	.1911206E+06	-.5669943E-07	-.1911206E+06	-.3184921E+04	-.2547937E+05	-.3184921E+04
12	-.4869527E+06	.1776423E+06	-.1309112E-07	-.1776423E+06	-.3168734E+04	-.2534988E+05	-.3168734E+04
13	-.4582623E+06	.1421927E+06	-.1116267E-07	-.1421927E+06	-.2650125E+04	-.2120100E+05	-.2650125E+04
14	-.2984078E+06	.8362273E+05	.1571633E-07	-.8362273E+05	-.1606528E+04	-.1285222E+05	-.1606528E+04
15	-.4843666E-01	-.9876418E-02	-.1204865E-13	.9876418E-02	.5077486E-04	.4061989E-03	.5077486E-04

FORÇAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6	PAREDE 7
0	.2151909E+06	-.4900168E+05	-.2289443E-06	.4900168E+05	.6638741E+04	.5906653E+04	.6638741E+04
1	.1917032E+06	-.4049561E+05	-.2041802E-06	.4049561E+05	.8171608E+04	.1070362E+05	.8171608E+04
2	.1705551E+06	-.333044E+05	-.1818676E-06	.333044E+05	.9198895E+04	.1417211E+05	.9198895E+04
3	.1513349E+06	-.2727017E+05	-.1615728E-06	.2727017E+05	.9809581E+04	.1654593E+05	.9809581E+04
4	.1336941E+06	-.2211507E+05	-.1429290E-06	.2211507E+05	.1007898E+05	.1802298E+05	.1007898E+05
5	.1173359E+06	-.1769509E+05	-.1256240E-06	.1769509E+05	.1007121E+05	.1877171E+05	.1007121E+05
6	.1020057E+06	-.1386432E+05	-.1093904E-06	.1386432E+05	.9841275E+04	.1893670E+05	.9841275E+04
7	.8748284E+05	-.1049618E+05	-.9399616E-07	.1049618E+05	.9436908E+04	.1864334E+05	.9436908E+04
8	.7357280E+05	-.7479294E+04	-.7923743E-07	.7479294E+04	.1800199E+05	.1800199E+05	.8900105E+04
9	.6010138E+05	-.4713793E+04	-.6493158E-07	.4713793E+04	.8268519E+04	.1711158E+05	.8268519E+04
10	.4690874E+05	-.2108068E+04	-.5091116E-07	.2108068E+04	.7576690E+04	.1606288E+05	.7576690E+04
11	.3384419E+05	.4242523E+03	-.3701844E-07	-.4242523E+03	.6857182E+04	.1494145E+05	.6857182E+04
12	.2076124E+05	.2967120E+04	-.2310014E-07	-.2967120E+04	.6141652E+04	.1383047E+05	.6141652E+04
13	.7512759E+04	.5604830E+04	-.9002243E-08	-.5604830E+04	.5461885E+04	.1281346E+05	.5461885E+04
14	-.6053686E+04	.8424827E+04	-.5434890E-08	-.8424827E+04	.4850840E+04	.1197703E+05	.4850840E+04
15	-.2010118E+05	.1152046E+05	.2038195E-07	-.1152046E+05	.4343733E+04	.1141370E+05	.4343733E+04

FORÇAS VERTICAIS DISTRIBUÍDAS (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	INTERSEC 1	INTERSEC 2	INTERSEC 3	INTERSEC 4	INTERSEC 5	INTERSEC 6	INTERSEC 7	INTERSEC 8
0	.9656208E+03	-.1476623E-07	.9656208E+03	-.2622404E+04	-.6674143E-08	.2622404E+04	-.1084471E-08	-.1084471E-08
1	.1015780E+04	-.1315985E-07	.1015780E+04	-.2382043E+04	-.5955989E-08	.2382043E+04	.3023712E+03	.3023712E+03
2	.1036624E+04	-.1171360E-07	.1036624E+04	-.2158454E+04	-.4530847E-08	.2158454E+04	.5273559E+03	.5273559E+03
3	.1033319E+04	-.1039918E-07	.1033319E+04	-.1948685E+04	-.4719090E-08	.1948685E+04	.6885741E+03	.6885741E+03
4	.1010224E+04	-.9192671E-08	.1010224E+04	-.1750239E+04	-.4177248E-08	.1750239E+04	.7975534E+03	.7975534E+03
5	.9710586E+03	-.8073702E-08	.9710586E+03	-.1560987E+04	-.3673949E-08	.1560987E+04	.8641072E+03	.8641072E+03
6	.9190130E+03	-.7024812E-08	.9190130E+03	-.1379106E+04	-.3201477E-08	.1379106E+04	.8966564E+03	.8966564E+03
7	.8568540E+03	-.6030864E-08	.8568540E+03	-.1203011E+04	-.2753145E-08	.1203011E+04	.9025059E+03	.9025059E+03
8	.7870165E+03	-.5078542E-08	.7870165E+03	-.1031310E+04	-.2323077E-08	.1031310E+04	.8860841E+03	.8860841E+03
9	.7116836E+03	-.4155921E-08	.7116836E+03	-.8627528E+03	-.1906010E-08	.8627528E+03	.8591543E+03	.8591543E+03
10	.6328578E+03	-.3252061E-08	.6328578E+03	-.6961945E+03	-.1497118E-08	.6961945E+03	.8210036E+03	.8210036E+03
11	.5524276E+03	-.2356658E-08	.5524276E+03	-.5305543E+03	-.1091859E-08	.5305543E+03	.7786162E+03	.7786162E+03
12	.4722278E+03	-.1459696E-08	.4722278E+03	-.3647822E+03	-.6858162E-09	.3647822E+03	.7368376E+03	.7368376E+03
13	.3941010E+03	-.5511124E-09	.3941010E+03	-.1978239E+03	-.2745539E-09	.1978239E+03	.7005331E+03	.7005331E+03
14	.3199599E+03	.3795217E-09	.3199599E+03	-.2858529E+02	.1465275E-09	.2858529E+02	.6747477E+03	.6747477E+03
15	.2518435E+03	.1343357E-08	.2518435E+03	-.1441009E+03	.5823457E-09	-.1441009E+03	.6648712E+03	.6648712E+03

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	(CARREGAMENTO NRO= 1)		PAREDE 6	PAREDE 7
				PAREDE 4	PAREDE 5		
0	-.2213420E-25	-.7680997E-14	.4760042E-26	.7680997E-14	-.9134032E-14	.3165428E-25	.9134032E-14
1	-.5287152E-15	-.3840193E-03	.1137022E-15	.3840193E-03	.3202025E-03	.7561196E-15	-.3202025E-03
2	-.9735453E-15	-.7195420E-03	.2093689E-15	.7195420E-03	.5145642E-03	.1392303E-14	-.5145642E-03
3	-.1343551E-14	-.1009460E-02	.2889357E-15	.1009460E-02	.6102082E-03	.1921422E-14	-.6102082E-03
4	-.1646879E-14	-.1256814E-02	.3541676E-15	.1256814E-02	.6295687E-03	.2355215E-14	-.6295687E-03
5	-.1891110E-14	-.1464764E-02	.4066904E-15	.1464764E-02	.5912383E-03	.2704491E-14	-.5912383E-03
6	-.2083278E-14	-.1636570E-02	.4480169E-15	.1636570E-02	.5106894E-03	.2979312E-14	-.5106894E-03
7	-.2229999E-14	-.1775571E-02	.4795696E-15	.1775571E-02	.4008930E-03	.3189138E-14	-.4008930E-03
8	-.2337558E-14	-.1885146E-02	.5027007E-15	.1885146E-02	.2728568E-03	.3342960E-14	-.2728568E-03
9	-.2411997E-14	-.1968804E-02	.5187090E-15	.1968804E-02	.1360973E-03	.3449415E-14	-.1360973E-03
10	-.2459178E-14	-.2029944E-02	.5284556E-15	.2029944E-02	-.9359573E-06	.3516890E-14	.9359573E-06
11	-.2484857E-14	-.2072151E-02	.5343778E-15	.2072151E-02	-.1304716E-03	.3553612E-14	.1304716E-03
12	-.2494738E-14	-.2098875E-02	.5365028E-15	.2098875E-02	-.2450499E-03	.3567744E-14	.2450499E-03
13	-.2494541E-14	-.2113648E-02	.5364604E-15	.2113648E-02	-.3371665E-03	.3567462E-14	.3371665E-03
14	-.2490056E-14	-.2119968E-02	.5354960E-15	.2119968E-02	-.3989141E-03	.3561048E-14	.3989141E-03
15	-.2487212E-14	-.2121309E-02	.5348843E-15	.2121309E-02	-.4216129E-03	.3556981E-14	.4216129E-03

DESLOCAMENTOS VERTICAIS NAS INTERSECÇÕES (+ PARA BAIXO) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	INT. 1	INT. 2	INT. 3	INT. 4	INT. 5	INT. 6	INT. 7	INT. 8	INT. 4A	INT. 5A	INT. 5B	INT. 6A
0	-.594E-14	-.221E-25	-.942E-14	.317E-25	.594E-14	.942E-14	-.471E-14	.471E-14	-.884E-14	-.581E-15	.581E-15	.884E-14
1	-.870E-03	-.529E-15	.102E-03	.756E-15	.870E-03	-.102E-03	.510E-04	-.510E-04	.538E-03	-.436E-03	.436E-03	-.538E-03
2	-.157E-02	-.974E-15	.128E-03	.139E-14	.157E-02	-.128E-03	.641E-04	-.641E-04	.901E-03	-.773E-03	.773E-03	-.901E-03
3	-.212E-02	-.134E-14	.974E-04	.192E-14	.212E-02	-.974E-04	.487E-04	-.487E-04	.112E-02	-.103E-02	.103E-02	-.112E-02
4	-.254E-02	-.165E-14	.253E-04	.236E-14	.254E-02	-.253E-04	.126E-04	-.126E-04	.123E-02	-.121E-02	.121E-02	-.123E-02
5	-.285E-02	-.189E-14	-.175E-04	.270E-14	.285E-02	.757E-04	-.379E-04	.379E-04	.126E-02	-.133E-02	.133E-02	-.126E-02
6	-.308E-02	-.209E-14	-.195E-03	.298E-14	.308E-02	.195E-03	.976E-04	-.976E-04	.122E-02	-.141E-02	.141E-02	-.122E-02
7	-.323E-02	-.223E-14	-.325E-03	.319E-14	.323E-02	.325E-03	.162E-03	-.162E-03	.113E-02	-.145E-02	.145E-02	-.113E-02
8	-.331E-02	-.234E-14	-.458E-03	.334E-14	.331E-02	.458E-03	.229E-03	-.229E-03	.100E-02	-.146E-02	.146E-02	-.100E-02
9	-.335E-02	-.241E-14	-.588E-03	.345E-14	.335E-02	.588E-03	.294E-03	-.294E-03	.860E-03	-.145E-02	.145E-02	-.860E-03
10	-.335E-02	-.246E-14	-.710E-03	.352E-14	.335E-02	.710E-03	.355E-03	-.355E-03	.708E-03	-.142E-02	.142E-02	-.708E-03
11	-.332E-02	-.248E-14	-.821E-03	.355E-14	.332E-02	.821E-03	.410E-03	-.410E-03	.560E-03	-.138E-02	.138E-02	-.560E-03
12	-.328E-02	-.249E-14	-.914E-03	.357E-14	.328E-02	.914E-03	.457E-03	-.457E-03	.424E-03	-.134E-02	.134E-02	-.424E-03
13	-.324E-02	-.249E-14	-.988E-03	.357E-14	.324E-02	.988E-03	.494E-03	-.494E-03	.313E-03	-.130E-02	.130E-02	-.313E-03
14	-.320E-02	-.249E-14	-.104E-02	.356E-14	.320E-02	.104E-02	.518E-03	-.518E-03	.237E-03	-.127E-02	.127E-02	-.237E-03
15	-.319E-02	-.249E-14	-.105E-02	.356E-14	.319E-02	.105E-02	.526E-03	-.526E-03	.209E-03	-.126E-02	.126E-02	-.209E-03

FORÇAS NORMAIS NAS PAREDES (+COMPRESSÃO) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6	PAREDE 7
0	-.1004893E-05	-.3582520E+06	.1080530E-06	.3582520E+06	.8160730E+05	.3403670E-06	-.8160730E+05
1	-.8496267E-06	-.3145761E+06	.9135771E-07	.3145761E+06	.5232694E+05	.2877768E-06	-.5232694E+05
2	-.7109088E-06	-.2733589E+06	.7644180E-07	.2733589E+06	.2922181E+05	.2407917E-06	-.2922181E+05
3	-.5872123E-06	-.2347425E+06	.6314111E-07	.2347425E+06	.1122387E+05	.1988945E-06	-.1122387E+05
4	-.4772806E-06	-.1984443E+06	.5132049E-07	.1984443E+06	-.2547939E+04	.1616595E-06	-.2547939E+04
5	-.3800942E-06	-.1657598E+06	.4087034E-07	.1657598E+06	-.1281012E+05	.1287416E-06	-.1281012E+05
6	-.2948288E-06	-.1355663E+06	.3170203E-07	.1355663E+06	-.2014375E+05	.9986138E-07	-.2014375E+05
7	-.2208360E-06	-.1083250E+06	.2374581E-07	.1083250E+06	-.2500783E+05	.7479930E-07	-.2500783E+05
8	-.1576126E-06	-.8408352E+05	.1694759E-07	.8408352E+05	-.2776000E+05	.5338490E-07	-.2776000E+05
9	-.1047920E-06	-.6287676E+05	.1126795E-07	.6287676E+05	-.2866263E+05	.3549406E-07	-.2866263E+05
10	-.6212355E-07	-.4472889E+05	.6679951E-08	.4472889E+05	-.2789710E+05	.2104185E-07	-.2789710E+05
11	-.2947209E-07	-.2965334E+05	.3169041E-08	.2965334E+05	-.2556406E+05	.9982480E-08	-.2556406E+05
12	-.6804699E-08	-.1765393E+05	.7316881E-09	.1765393E+05	-.2169244E+05	.2304817E-08	-.2169244E+05
13	.5802301E-08	-.8724362E+04	-.6239033E-09	.8724362E+04	-.1623471E+05	-.1965295E-08	-.1623471E+05
14	.8169269E-08	-.2848665E+04	-.8784160E-09	.2848665E+04	-.9071052E+04	-.2767010E-08	-.9071052E+04
15	-.6262830E-14	.6942816E-02	-.6734226E-15	-.6942816E-02	.2450730E-02	-.2121281E-14	-.2450730E-02

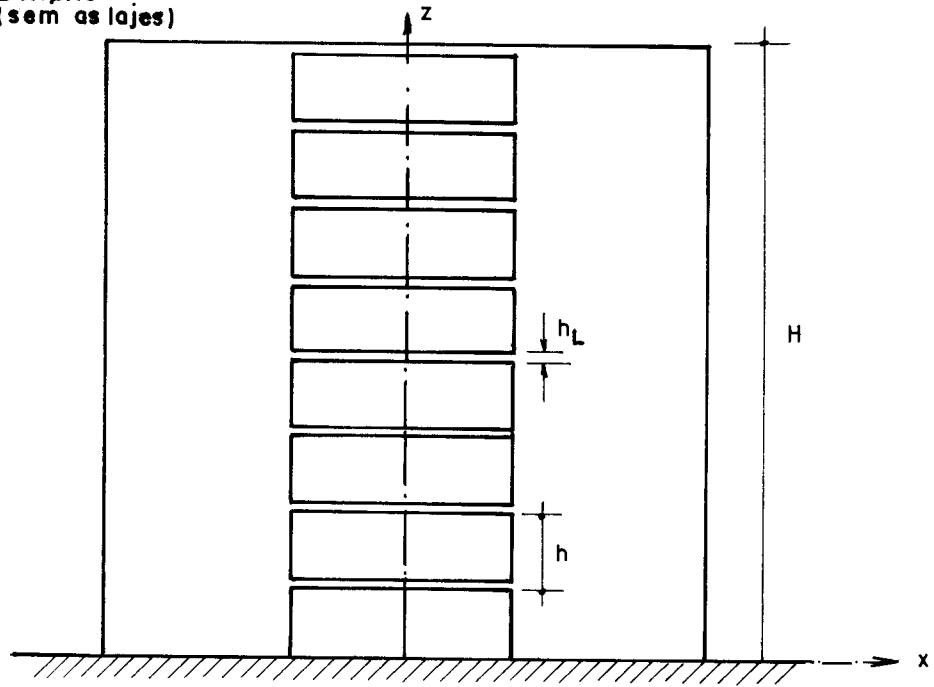
ANDAR	TENSOES LONGITUDINAIS NOS NOYS (TRACAO +) - (CARREGAMENTO NRO= 1)										
	NO 1	NO 2	NO 3	NO 4	NO 5	NO 6	NO 4A	NO 5A	NO 5B	NO 6A	
0	.44502E+05	.264445E-07	-.44502E+05	-.67909E+04	-.37819E-07	.67909E+04	-.29479E+05	.22688E+05	-.22688E+05	.29479E+05	
1	.35907E+05	.22359E-07	-.35907E+05	-.27933E+04	-.31975E-07	.27933E+04	-.20463E+05	.17670E+05	-.17670E+05	.20463E+05	
2	.28538E+05	.18708E-07	-.28538E+05	.23708E+03	-.26755E-07	-.23708E+03	-.13225E+05	.13462E+05	-.13462E+05	.13225E+05	
3	.22232E+05	.15453E-07	-.22232E+05	.24778E+04	-.22099E-07	-.24778E+04	-.74662E+04	.99440E+04	-.99440E+04	.74662E+04	
4	.16855E+05	.12560E-07	-.16855E+05	.40756E+04	-.17962E-07	-.40756E+04	-.29432E+04	.70188E+04	-.70188E+04	.29432E+04	
5	.12299E+05	.10002E-07	-.12299E+05	.51497E+04	-.14305E-07	-.51497E+04	.54368E+03	.46060E+04	-.46060E+04	.54368E+03	
6	.84734E+04	.77587E-08	-.84734E+04	.57968E+04	-.11096E-07	-.57968E+04	.31560E+04	.26408E+04	-.26408E+04	.31560E+04	
7	.53094E+04	.58115E-08	-.53094E+04	.60932E+04	-.83110E-08	-.60932E+04	.50214E+04	.10719E+04	-.10719E+04	.50214E+04	
8	.27523E+04	.41477E-08	-.27523E+04	.60946E+04	-.59317E-08	-.60946E+04	.62392E+04	-.14066E+03	.14066E+03	-.62392E+04	
9	.76215E+03	.27577E-08	-.76215E+03	.58565E+04	-.39438E-08	-.58565E+04	.68825E+04	-.10260E+04	.10260E+04	-.68825E+04	
10	-.68879E+03	.16348E-08	.68879E+03	.53971E+04	-.23280E-08	-.53971E+04	.70016E+04	-.16045E+04	.16045E+04	-.70016E+04	
11	-.16158E+04	.77558E-09	.16158E+04	.47372E+04	-.11092E-08	-.47372E+04	.66246E+04	-.18874E+04	.18874E+04	-.66246E+04	
12	-.20233E+04	.17907E-09	.20233E+04	.38817E+04	-.25609E-09	-.38817E+04	.57594E+04	-.18778E+04	.18778E+04	-.57594E+04	
13	-.19041E+04	-.15269E-09	.19041E+04	.28225E+04	.21837E-09	-.28225E+04	.43929E+04	-.15704E+04	.15704E+04	-.43929E+04	
14	-.12399E+04	-.21498E-09	.12399E+04	.15398E+04	.30745E-09	-.15398E+04	.24918E+04	-.95202E+03	.95202E+03	-.24918E+04	
15	-.20126E-03	.16481E-15	.20126E-03	-.52956E-03	-.23570E-15	.52956E-03	-.55965E-03	.30089E-04	-.30089E-04	.55965E-03	

II.2.4 - Edifício com duas paredes de secção aberta iguais, contra ventadas entre si por lintéis ao nível dos andares

A estrutura a ser analisada é a da figura (II.2-15), submetida ao carregamento constituído de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo. A particularização foi feita tendo em conta que o sistema de equações diferenciais que governa o problema no caso geral contém como incógnitas, além dos deslocamentos dos diafragmas, os deslocamentos verticais das paredes nos seus eixos, cuja solução possui uma manipulação matemática muito trabalhosa, que foge do espírito deste trabalho.

Devido à simetria, as paredes (1), (3), (4) e (6) terão todas o comprimento L_b e espessura e_b ; as paredes (2) e (5) terão comprimento L_a e espessura e_a ; e os lintéis 1 e 2, espaçados de h ao longo da altura, terão dimensões L_L e e_L . Os eixos de coordenadas serão os eixos de simetria da estrutura com os sentidos positivos da figura (II.2-15). Os deslocamentos positivos das paredes têm seus sentidos definidos pelos das setas que levam os seus números.

a) ELEVACÃO
(sem as lajes)



b) PLANTA

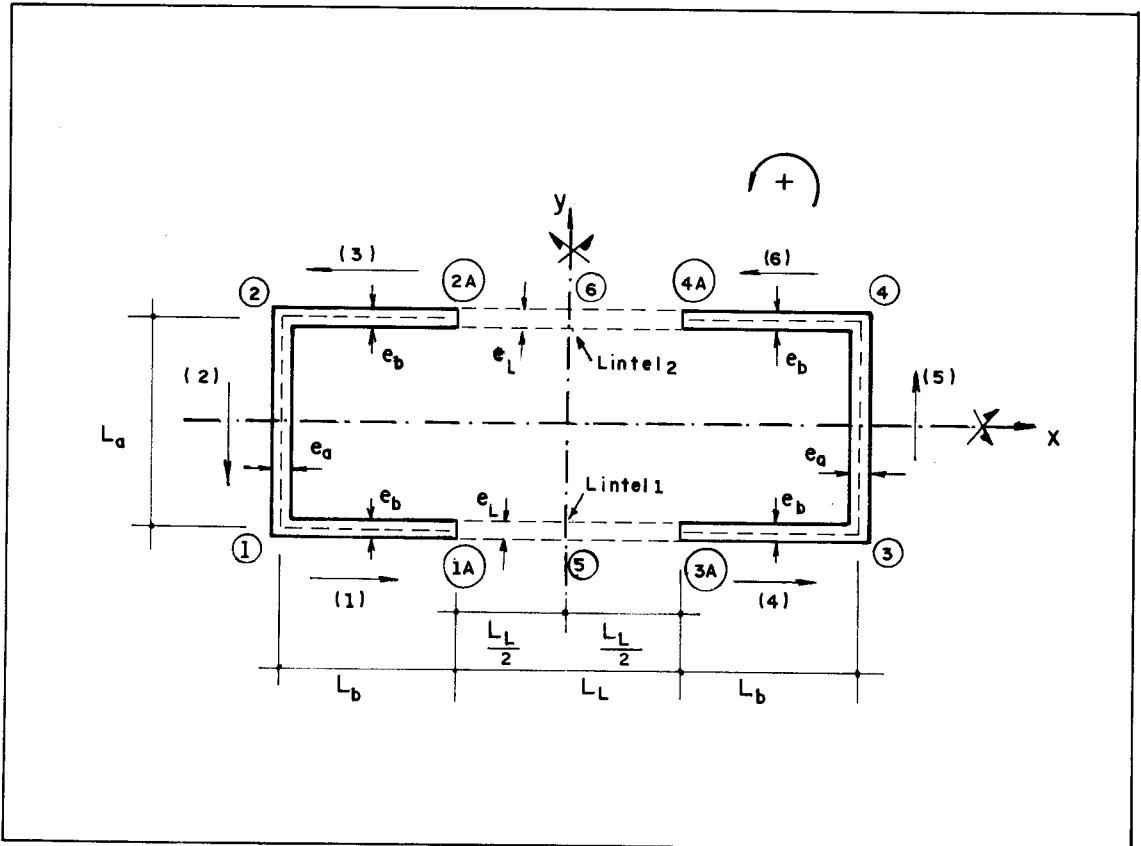


FIG. II. 2-15-EDIFÍCIO COM DUAS PAREDES DE SECÇÃO ABERTA IGUAIS

II.2.4.1 - Montagem da equação diferencial

Será usado aqui o mesmo procedimento dos itens (II.2.2.1) e (II.2.3.1), resultando o comportamento da estrutura descrito por uma *única equação diferencial* nas rotações dos diafragmas em torno de z .

Apresentam-se na figura (II.2-16) os carregamentos das paredes (1), (2) e (3). As paredes (1) e (3) recebem, além dos esforços verticais distribuídos nas suas intersecções, as forças distribuídas nos pontos médios dos lintéis. Devem ser notadas as convenções para os sentidos positivos dos esforços e dos deslocamentos horizontais das paredes nos seus planos.

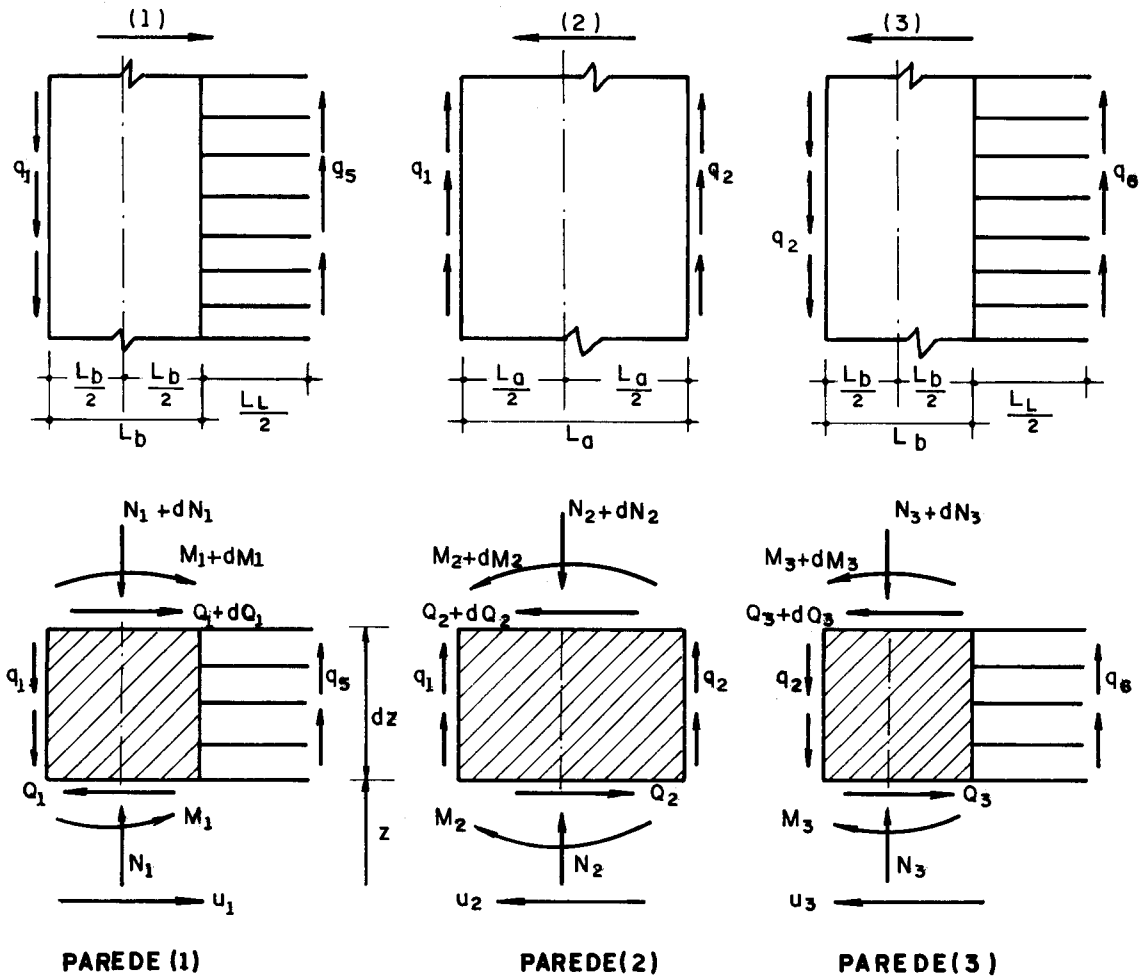


FIG. II. 2-16 - CARREGAMENTOS DAS PAREDES (1), (2) E (3)

As equações de equilíbrio à rotação e à translação vertical dos elementos genéricos das paredes (1), (2) e (3), combinadas

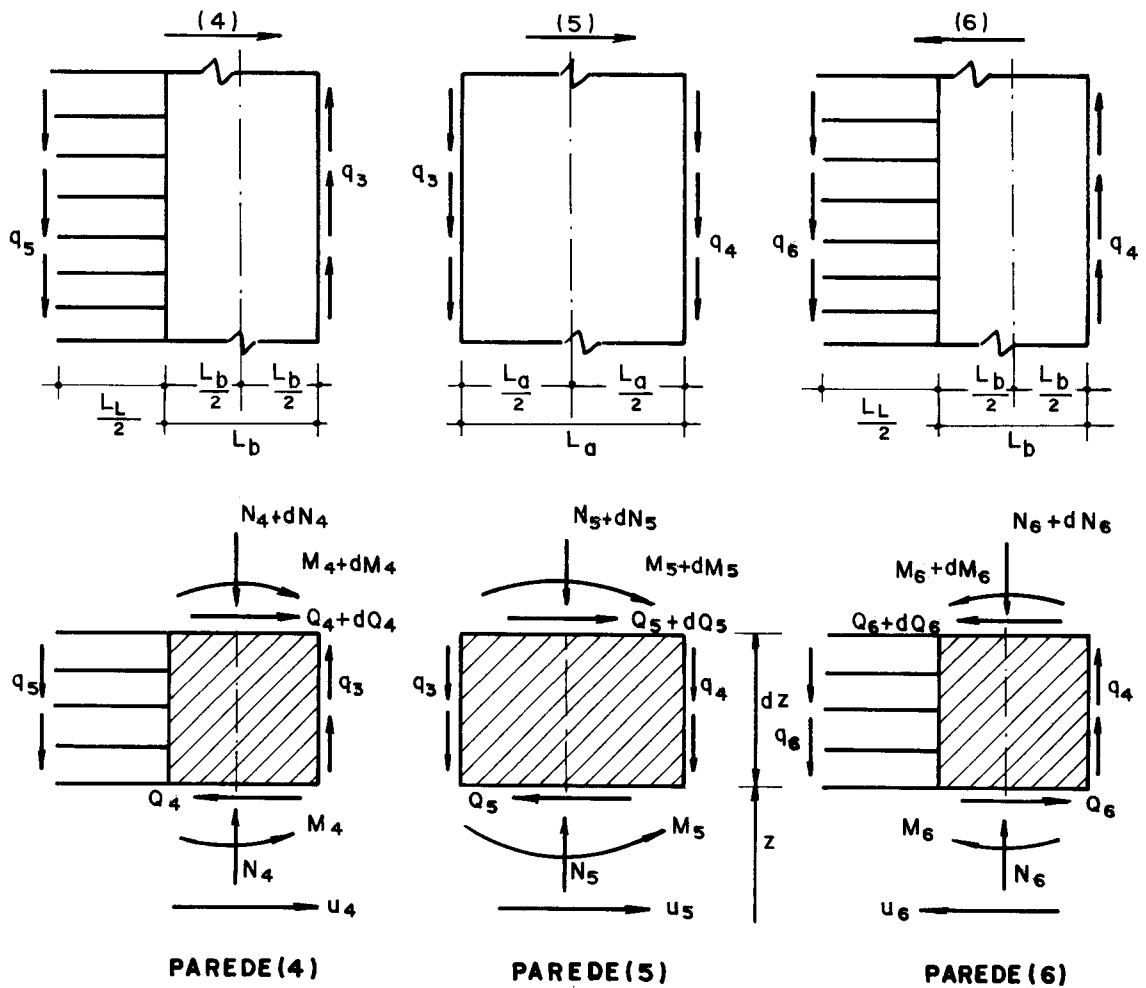


FIG. II. 2-17 - CARREGAMENTOS DAS PAREDES (4), (5) E (6)

Com raciocínio análogo ao anterior, obtêm-se

$$Q_4 = -j_b u_4''' + q_3 \frac{L_b}{2} + q_5 \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) \quad (II.2-195)$$

$$Q_5 = -j_a u_5''' + (q_3 - q_4) \frac{L_a}{2} \quad (II.2-196)$$

$$Q_6 = -j_b u_6''' - q_4 \frac{L_b}{2} - q_6 \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) \quad (II.2-197)$$

$$EA_b \delta_4'' = q_3 - q_5 \quad (II.2-198)$$

$$EA_a \delta_5'' = -q_3 - q_4 \quad (II.2-199)$$

$$EA_b \delta_6'' = q_4 - q_6 \quad (II.2-200)$$

respectivamente, com as das suas elásticas e das deformações verticais nos seus eixos, fornecem

$$Q_1 = -j_b u_1''' + q_1 \frac{L_b}{2} + q_5 \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) \quad (\text{II.2-189})$$

$$Q_2 = -j_\alpha u_2''' + (q_1 - q_2) \frac{L_\alpha}{2} \quad (\text{II.2-190})$$

$$Q_3 = -j_b u_3''' - q_2 \frac{L_b}{2} - q_6 \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) \quad (\text{II.2-191})$$

$$EA_b \delta_1'' = q_5 - q_1 \quad (\text{II.2-192})$$

$$EA_\alpha \delta_2'' = q_1 + q_2 \quad (\text{II.2-193})$$

$$EA_b \delta_3'' = q_6 - q_2 \quad (\text{II.2-194})$$

onde j_α e A_α são respectivamente o produto de rigidez à flexão e a área da secção transversal da parede (2), e j_b e A_b das paredes (1) e (3); u_1 , u_2 e u_3 os deslocamentos horizontais das paredes (1), (2) e (3) nos seus planos; e δ_1 , δ_2 e δ_3 os deslocamentos verticais nos seus eixos.

Os carregamentos das paredes (4), (5) e (6) são os apresentados na figura (II.2-17).

onde j_a e A_a são respectivamente o produto de rigidez à flexão e a área da secção transversal da parede (5), e j_b e A_b das paredes (4) e (6); u_4 , u_5 e u_6 os deslocamentos horizontais das paredes (4), (5) e (6) nos seus planos; e δ_4 , δ_5 e δ_6 os deslocamentos verticais nos seus eixos

Para esta estrutura, submetida a momento torçor, têm-se as seguintes relações entre as forças verticais distribuídas nas intersecções, cujos sentidos positivos são os indicados nas figuras (II.2-16) e (II.2-17):

$$\left. \begin{aligned} q_1 = -q_2 = q_3 = -q_4 \\ q_5 = -q_6 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-201})$$

Como os diafragmas neste caso só terão movimento de rotação em torno do eixo z , o deslocamento horizontal de uma parede genérica no seu plano será dado pelo produto da rotação pela distância do plano à origem dos eixos coordenados. Com isto, a partir da figura (II.2-15), onde estão indicados os sentidos positivos destes deslocamentos, tem-se

$$\left. \begin{aligned} u_1 = u_4 = u_3 = u_6 \\ u_2 = u_5 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-202})$$

Com as equações (II.2-201) e (II.2-202) substituídas em (II.2-189) a (II.2-200), obtém-se

$$\left. \begin{aligned} Q_1 = Q_3 = Q_4 = Q_6 \\ Q_2 = Q_5 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-203})$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_2'' = \delta_5'' = 0 \\ \delta_1'' = -\delta_3'' = -\delta_4'' = \delta_6'' \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-204})$$

Integrando duas vezes as equações (II.2-204) e lembrando que a estrutura é engastada na base e não existem momentos flectores e nem forças normais aplicados no topo, tem-se

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 &= \delta_5 = 0 \\ \delta_1 &= -\delta_3 = -\delta_4 = \delta_6 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-205})$$

Como se pode notar, a análise fica resumida à determinação das forças cortantes, deslocamentos nos seus planos e deslocamentos verticais nos eixos das paredes (1) e (2), além das forças distribuídas nas intersecções 1 e 5.

As equações de compatibilidade de deslocamentos verticais para os pontos 1 e 5, do ponto 1 análoga a equação (II.2-030) e do ponto 5 a da equação (II.2-034), são dadas por

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 + u_2' \frac{L_\alpha}{2} &= \delta_1 - u_1' \frac{L_b}{2} \\ \delta_1 + u_1' \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) - q_5 h \left(\frac{L_L}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_L} &= \delta_4 - u_4' \left(\frac{L_b + L_L}{2} \right) + \\ &+ q_5 h \left(\frac{L_L}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_L} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-206})$$

onde J_L é o momento de inércia dos lintéis, dado por

$$J_L = \frac{e_L h_L^3}{12} \quad (\text{II.2-207})$$

e h o espaçamento dos mesmos.

A equação (II.2-206), combinada com as equações (II.2-202) e (II.2-205), permite escrever

$$\delta_1 = u_1' \frac{L_b}{2} + u_2' \frac{L_\alpha}{2} \quad (\text{II.2-208})$$

$$q_5 = \frac{12EJ_L}{hL_L^3} \left[u_1' (2L_b + L_L) + u_2' L_\alpha \right] \quad (\text{II.2-209})$$

A derivada segunda da equação (II.2-208), juntamente com (II.2-192) conduz a

$$q_1 = q_5 - u_1''' \frac{L_b}{2} EA_b - u_2''' \frac{L_\alpha}{2} EA_b \quad (\text{II.2-210})$$

As equações (II.2-209) e (II.2-210) podem ser escritas como

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \{M_1\} \{U_w'''\} + \{M_2\} \{U_w'\} \\ q_5 &= \{M_2\} \{U_w'\} \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.2-211)}$$

onde

$$\left. \begin{aligned} \{U_w'\} &= \begin{Bmatrix} u_1' \\ u_2' \end{Bmatrix} \\ \{U_w'''\} &= \begin{Bmatrix} u_1''' \\ u_2''' \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad \text{(II.2-212)}$$

$$\{M_1\} = -\frac{EA_b}{2} \begin{Bmatrix} L_b & | & L_a \end{Bmatrix} \quad \text{(II.2-213)}$$

$$\{M_2\} = \frac{12EJ_L}{hL_L^3} \begin{Bmatrix} 2L_b + L_L & | & L_a \end{Bmatrix} \quad \text{(II.2-214)}$$

A representação matricial das forças cortantes nas paredes (1) e (2), $\{Q_w\}$, obtidas de (II.2-189) e (II.2-190), combinadas com (II.2-211), é

$$\{Q_w\} = \left([M_3] + \{M_4\} \{M_1\} \right) \{U_w'''\} + \left(\{M_4\} + \{M_5\} \right) \{M_2\} \{U_w'\} \quad \text{(II.2-215)}$$

onde

$$[M_3] = - \begin{bmatrix} j_b & 0 \\ 0 & j_a \end{bmatrix} \quad \text{(II.2-216)}$$

$$\{M_4\} = \begin{Bmatrix} \frac{L_b}{2} \\ L_a \end{Bmatrix} \quad \text{(II.2-217)}$$

$$\{M_5\} = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} L_b + L_L \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{(II.2-218)}$$

Tem-se ainda que os deslocamentos das paredes (1) e (2) podem ser escritos em função das rotações dos diafragmas (ϕ) como

$$\{U_w\} = \{M_6\} \phi \quad (\text{II.2-219})$$

onde

$$\{M_6\} = \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} L_a \\ 2L_b + L_L \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-220})$$

e

$$\{U_w\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-221})$$

onde c_i é a componente de momento do versor definido no plano da parede i , com os sentidos indicados na figura (II.2-15).

Obtendo-se $\{U'_w\}$ e $\{U'''_w\}$ de (II.2-219) e substituindo-se em (II.2-215), tem-se

$$\{Q_w\} = (\{M_3\} + \{M_4\}\{M_1\})\{M_6\}\phi''' + (\{M_4\} + \{M_5\})\{M_2\}\{M_6\}\phi' \quad (\text{II.2-222})$$

Fazendo-se o equilíbrio a momento torçor do carregamento externo ($M_{t_{ext}}$) com o momento torçor produzido pelas forças cortantes das paredes, levando-se em conta suas rigidezes à torção, tem-se

$$4Q_1c_1 + 2Q_2c_2 + (4GJ_{t_b} + 2GJ_{t_a})\phi' = M_{t_{ext}} \quad (\text{II.2-223})$$

onde J_{t_a} e J_{t_b} são os momentos de inércia à torção das paredes do tipo a e b dados por

$$J_{t_a} = \frac{e_a^3 L_a}{3}$$

$$J_{t_b} = \frac{e_b^3 L_b}{3}$$

e G é o módulo de elasticidade transversal.

Combinando-se a equação anterior com as equações (II.2-220) e (II.2-222), tem-se

$$M_{t_{ext}} = \left\{ M_7 \right\} \left(\left\{ M_3 \right\} + \left\{ M_4 \right\} \left\{ M_1 \right\} \right) \left\{ M_6 \right\} \phi''' + \left\{ M_7 \right\} \left(\left\{ M_4 \right\} + \left\{ M_5 \right\} \right) \left\{ M_2 \right\} \left\{ M_6 \right\} + 2G(2J_{t_b} + J_{t_a}) \left. \right\} \phi' \quad (\text{II.2-224})$$

onde

$$\left\{ M_7 \right\} = \left\{ 4c_1 \quad ; \quad 2c_2 \right\} = \left\{ 2L_a \quad ; \quad 2L_b + L_L \right\} \quad (\text{II.2-225})$$

A equação diferencial (II.2-224) é apresentada normalmente na seguinte forma:

$$M_{t_{ext}} = -J^* \phi''' + S^* \phi' \quad (\text{II.2-226})$$

onde

$$J^* = - \left\{ M_7 \right\} \left(\left\{ M_3 \right\} + \left\{ M_4 \right\} \left\{ M_1 \right\} \right) \left\{ M_6 \right\} \quad (\text{II.2-227})$$

$$S^* = \left\{ M_7 \right\} \left(\left\{ M_4 \right\} + \left\{ M_5 \right\} \right) \left\{ M_2 \right\} \left\{ M_6 \right\} + 2G(2J_{t_b} + J_{t_a}) \quad (\text{II.2-228})$$

Efetuada-se analiticamente as operações matriciais indicadas nas equações (II.2-227) e (II.2-228), tem-se

$$J^* = \frac{E A_b L_a^2}{4} (3L_b + L_L)^2 + \frac{1}{2} \left[2j_b L_a^2 + j_a (2L_b + L_L)^2 \right] \quad (\text{II.2-229})$$

e

$$S^* = \frac{24E J_L}{h(L_L)^3} (2L_b + L_L)^2 L_a^2 + 2G(2J_{t_b} + J_{t_a}) \quad (\text{II.2-230})$$

Derivando-se uma vez a equação (II.2-226), tem-se

$$m_z = S^* \phi_z'' - J^* \phi_z'''' \quad (\text{II.2-231})$$

onde m_z é o momento torçor distribuído.

Com carregamento de momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo, o momento torçor externo em qualquer cota z é dado por

$$M_{t_{ext}} = M_{tH} + m_0(H - z) \quad (\text{II.2-232})$$

onde M_{tH} é o momento torçor concentrado no topo, m_0 o momento torçor uniformemente distribuído e H a altura total do edifício.

Da equação (II.2-232) tem-se

$$m_z = -m_o \quad (\text{II.2-233})$$

A solução completa da equação diferencial (II.2-231) para o valor de m_z anterior é

$$\phi_z = C_1 + C_2 z + C_3 \cosh \alpha z + C_4 \sinh \alpha z - \frac{m_o z^2}{2\alpha^2 J^*} \quad (\text{II.2-234})$$

onde α é um parâmetro da estrutura definido por

$$\alpha = \sqrt{\frac{S^*}{J^*}} \quad (\text{II.2-235})$$

e C_1 , C_2 , C_3 e C_4 são constantes determinadas pelas condições de contorno, que, para uma estrutura com engastamento perfeito na base, sem momentos fletores aplicados no topo, com o conjunto de paredes não degerado e momento torçor concentrado no topo, são

$$\left. \begin{aligned} \phi_o &= \phi_o' = 0 \\ \phi_H'' &= 0 \\ -J^* \phi_H''' + S^* \phi_H' &= M_{tH} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-236})$$

Com (II.2-234) e (II.2-236) tem-se os seguintes valores das constantes

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= -\frac{1}{\alpha^4 C_H J^*} \left[m_o (\alpha H S_H + 1) + M_{tH} \alpha S_H \right] \\ C_2 &= \frac{M_{tH} + m_o H}{\alpha^2 J^*} \\ C_3 &= \frac{1}{\alpha^4 C_H J^*} \left[m_o (\alpha H S_H + 1) + M_{tH} \alpha S_H \right] \\ C_4 &= -\frac{M_{tH} + m_o H}{\alpha^3 J^*} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-237})$$

onde C_H e S_H são respectivamente os valores de $\cosh \alpha z$ e $\sinh \alpha z$, quando z torna-se igual a H .

Substituindo-se as constantes da equação (II.2-237) em

(II.2-234) e derivando-se o resultado obtido uma, duas e três vezes, tem-se

$$\begin{aligned} \phi_z = \frac{m_o H^4}{(\alpha H)^4 J^*} \left\{ \frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} (\cosh \alpha z - 1) - \alpha H \operatorname{senh} \alpha z + (\alpha H)^2 \left[\frac{z}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H} \right)^2 \right] \right\} + \\ + \frac{M_{tH} H^3}{(\alpha H)^3 J^*} \left[\tanh \alpha H (\cosh \alpha z - 1) - \operatorname{senh} \alpha z + \alpha z \right] \end{aligned} \quad (\text{II.2-238})$$

$$\begin{aligned} \phi'_z = \frac{m_o H^3}{(\alpha H)^3 J^*} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \operatorname{senh} \alpha z - \alpha H \cosh \alpha z + \alpha H \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right] + \\ + \frac{M_{tH} H^2}{(\alpha H)^2 J^*} \left[(\tanh \alpha H) \operatorname{senh} \alpha z - \cosh \alpha z + 1 \right] \end{aligned} \quad (\text{II.2-239})$$

$$\begin{aligned} \phi''_z = \frac{m_o H^2}{(\alpha H)^2 J^*} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \cosh \alpha z - \alpha H \operatorname{senh} \alpha z - 1 \right] + \\ + \frac{M_{tH} H}{(\alpha H) J^*} \left[(\tanh \alpha H) \cosh \alpha z - \operatorname{senh} \alpha z \right] \end{aligned} \quad (\text{II.2-240})$$

$$\begin{aligned} \phi'''_z = \frac{m_o H}{(\alpha H) J^*} \left[\frac{(\alpha H S_H + 1)}{C_H} \operatorname{senh} \alpha z - \alpha H \cosh \alpha z \right] + \\ + \frac{M_{tH}}{J^*} \left[(\tanh \alpha H) \operatorname{senh} \alpha z - \cosh \alpha z \right] \end{aligned} \quad (\text{II.2-241})$$

Comparando-se as equações (II.2-238) a (II.2-241) com as equações (II.1-10) a (II.1-13), verifica-se a semelhança entre elas, o que permite escrever

$$\phi_z = \frac{m_o H^4}{8J^*} \beta_{1u} + \frac{M_{tH} H^3}{3J^*} \beta_{1c} \quad (\text{II.2-242})$$

$$\phi'_z = \frac{m_o H^3}{6J^*} \beta_{2u} + \frac{M_{tH} H^2}{2J^*} \beta_{2c} \quad (\text{II.2-243})$$

$$\phi''_z = \frac{m_o H^2}{2J^*} \beta_{3u} + \frac{M_{tH} H}{J^*} \beta_{3c} \quad (\text{II.2-244})$$

$$\phi'''_z = - \frac{m_o H}{J^*} \beta_{4u} - \frac{M_{tH}}{J^*} \beta_{4c} \quad (\text{II.2-245})$$

onde β_{1u} , β_{2u} , β_{3u} , β_{4u} , β_{1c} , β_{2c} , β_{3c} e β_{4c} são as funções definidas nas equações (II.1-21).

Como mencionou-se no item (II.1), as funções β foram colocadas em forma gráfica nas figuras de (II.1-04) a (II.1-11), permitindo a rápida determinação de ϕ_z , ϕ'_z , ϕ''_z e ϕ'''_z .

II.2.4.2 - Determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes

Determinadas as rotações dos diafragmas e suas derivadas até ordem três, os esforços e deslocamentos nas paredes são obtidos com o procedimento descrito a seguir.

Os *deslocamentos das paredes* nos seus planos e as *forças cortantes* são determinados respectivamente das equações (II.2-219) e (II.2-222). Estas equações fornecem apenas os valores para as paredes (1) e (2), que, combinados com as equações (II.2-202) e (II.2-203), permitem a determinação para todas as paredes.

Combinando-se a equação (II.2-003) com (II.2-219), obtêm-se os *momentos fletores nas paredes* (1) e (2) como

$$\left\{ M_w \right\} = - \left[M_3 \right] \left\{ M_6 \right\} \phi'' \quad (\text{II.2-246})$$

onde

$$\left\{ M_w \right\} = \begin{Bmatrix} M_{w1} \\ M_{w2} \end{Bmatrix} \quad (\text{II.2-247})$$

Os momentos fletores nas outras paredes são obtidos dos resultados de (II.2-246) por

$$\left. \begin{aligned} M_{w3} = M_{w4} = M_{w6} = M_{w1} \\ M_{w5} = M_{w2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-248})$$

As equações (II.2-201), (II.2-211) e (II.2-219), combinadas, fornecem as *forças verticais distribuídas nas intersecções*

$$q_1 = -q_2 = q_3 = -q_4 = \{M_1\} \{M_6\} \phi''' + \{M_2\} \{M_6\} \phi' \quad (\text{II.2-249})$$

$$q_5 = -q_6 = \{M_2\} \{M_6\} \phi' \quad (\text{II.2-250})$$

De (II.2-250), as *forças cortantes nos lintéis 1* (Q_{L1}) e 2 (Q_{L2}) são determinadas por

$$Q_{L1} = -Q_{L2} = q_5 \quad h \quad (\text{II.2-251})$$

Os *deslocamentos verticais nos eixos de todas as paredes* são obtidos das equações (II.2-205), (II.2-208) e (II.2-219) como

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 = -\delta_3 = -\delta_4 = \delta_6 = \{M_8\} \{M_6\} \phi' \\ \delta_2 = \delta_5 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-252})$$

onde

$$\{M_8\} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{c} L_b \\ L_a \end{array} \right\} \quad (\text{II.2-253})$$

Lembrando que a força normal em qualquer parede pode ser determinada a partir da deformação vertical do seu eixo, as *forças normais nas paredes*, a partir de (II.2-252), são

$$\left. \begin{aligned} N_1 = -N_3 = -N_4 = N_6 = EA_b \{M_8\} \{M_6\} \phi'' \\ N_2 = N_5 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-254})$$

Os *deslocamentos verticais nas intersecções de 1 a 6* são obtidos das equações de compatibilidade como

$$\left. \begin{aligned} V_1 = -V_2 = -V_3 = V_4 = u_2' \frac{L_a}{2} = \frac{L_a}{2} \left(\frac{2L_b + L_L}{2} \right) \phi' \\ V_5 = V_6 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.2-255})$$

Deve-se lembrar que, com as forças normais e momentos fletores em todas as paredes, é possível a determinação das tensões em qualquer ponto da secção transversal ao longo de toda a altura.

II.2.4.3 - Programas para o cálculo automático

Apesar de ser mencionado no discorrer do item (II.2.4) que este tipo de estrutura pode ser calculado rapidamente através dos gráficos das figuras (II.1-04) a (II.1-11) e das expressões apresentadas no item citado, desenvolveu-se um conjunto de programas para o seu cálculo automático.

a) Descrição do conjunto de programas

Segmento CORE3 - é o segmento principal e tem como funções definir a área de passagem de parâmetros de um segmento para outro, as conexões entre estes e a criação de todos os arquivos na memória auxiliar necessários durante o processamento.

Segmento JS3 - calcula os coeficientes da equação diferencial, conforme (II.2-229) e (II.2-230), gera as matrizes necessárias à determinação dos esforços e deslocamentos nas paredes, e imprime os dados da estrutura.

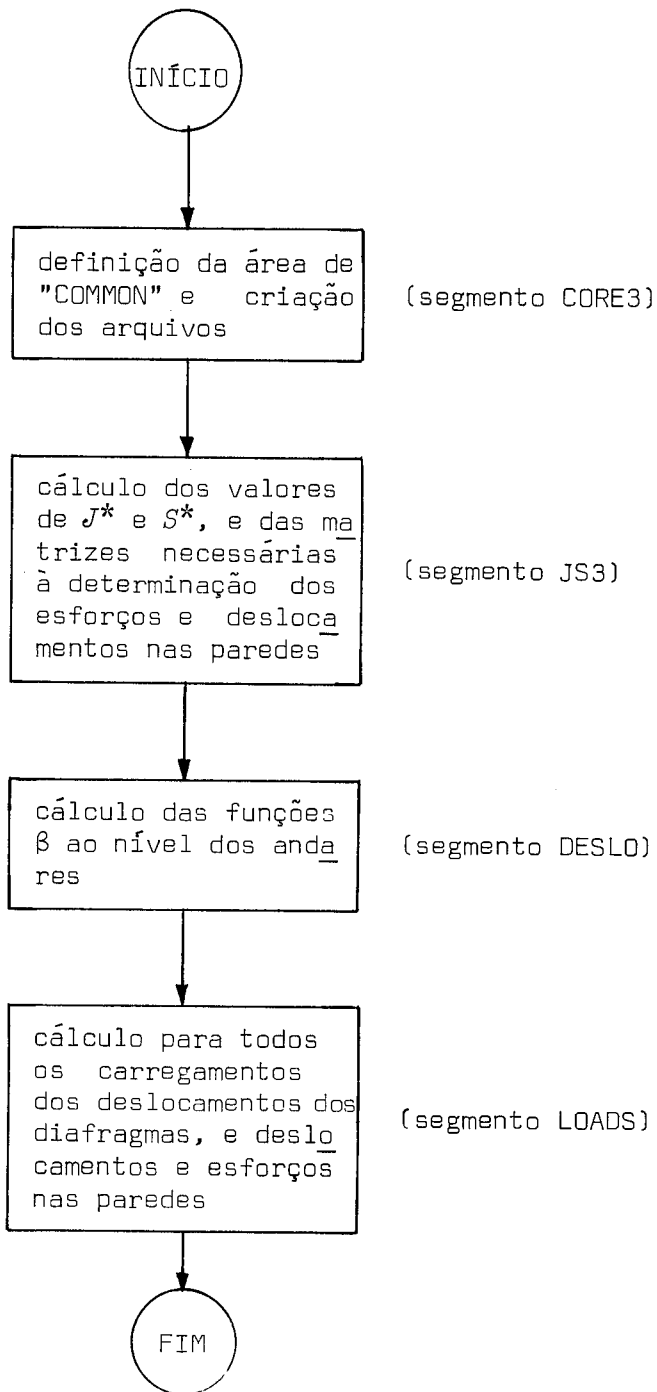
Segmento DESLO - calcula os valores das funções β_{1u} , β_{2u} , β_{3u} , β_{4u} , β_{1c} , β_{2c} , β_{3c} e β_{4c} , definidas nas equações (II.1-21), ao nível de todos os andares.

Segmento LOADS - lê os dados dos carregamentos (momento torçor uniformemente distribuído e concentrado no topo) e calcula os deslocamentos dos diafragmas e suas derivadas até ordem três a partir das funções β .

Subprograma ESFOR - calcula e imprime os deslocamentos e esforços nas paredes, bem como os deslocamentos verticais e tensões normais em vários pontos da secção transversal.

São utilizados também os subprogramas *MULT* e *FOLHA* apresentados no item (II.2.2.3).

b) Passos principais no cálculo de uma estrutura



c) *Descrição dos dados de entrada*

c-1) *Dados sobre a estrutura* (formato livre)

número de andares e altura dos mesmos (*um registro*)

módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (*um registro*)

c-2) *Geometria das paredes* (formato livre)

espessura e comprimento da parede (1), e espessura e comprimento da parede (2) (*um registro*)

c-3) *Dados dos lintéis* (formato livre)

espessura, altura e comprimento dos lintéis (*um registro*)

c-4) *Título da estrutura* (formato 40A2) - (*um registro*)

c-5) *Número de carregamentos atuantes na estrutura* (formato livre) - (*um registro*)

c-6) *Dados dos carregamentos* (formato livre)

valor do momento torçor uniformemente distribuído; e valor do momento torçor concentrado no topo (*O número de registros é igual ao número de carregamento lidos em c-5*)

Para a execução de mais de uma estrutura, basta repetir-se os dados de (c-1) a (c-6), colocando-se após a última um registro com o número de andares igual a zero.

d) Variáveis com dimensões dependentes do número de andares

Tabela (II.2-03) - Variáveis de dimensões dependentes do número de andares

Variáveis	Tipos	Dimensões	Localização
ITRB	I	6 (NAND+7) e múltiplo de 128	segmentos CORE3, JS, DESLO, LOADS subprograma ESFOR
WD, WC, W1D, W1C, W2D, W2C, W3D, W3C	DP	NAND+1	segmento DESLO
AUX	DP	(NAND+1, 8)	segmento DESLO
WD, WC, FI, FI1, FI2, FI3	DP	NAND+1	segmento LOADS
NORM	DP	NAND+1	subprograma ESFOR
MOMEM	DP	(NAND+1, 2)	subprograma ESFOR

Os tipos *I* e *DP* indicam respectivamente os tipos de dados inteiro e precisão estendida, e *NAND* o número de andares do edifício. Caso o número de andares seja maior que cinquenta, número este que se encontram dimensionadas as variáveis da tabela (II.2-03), devem ser feitas as mudanças necessárias, tomando-se cuidado com a capacidade da memória principal da máquina.

e) Listagens dos programas

e.1) Segmento CORE3

```

001 FTN4
002 PROGRAM CORE3(3)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005 C-----          ESTRUT. COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA.IGUAIS
006 C-----          CONTR. POR LINTEIS (2 EIXOS DE SIMETRIA)
007 C-----          CRIACAO DOS ARQUIVOS
008 C-----
009 INTEGER NOTRB(2),SCODE(2),ARDES(3),JS(3)
010 DOUBLE PRECISION H,E,MI,M16,M26,M86,AREA(2),MORE(2),JJ,S,DESLV
011 *,DESLVA,M6(2),MQ1(2),MQ3(2),M36(2)
012 COMMON NAND,N,H,IOTB(128),ITRB(1280),E,MI,M6,M16,M26,MQ1,MQ3,
013 *,M86,M36,AREA,MORE,JJ,S,DESLV,DESLVA
014 DATA ARDES,NOTRB,SCODE,JS/2HAR,2HDE,1HS,1,1,1,0,2HJS,2H3 ,1H /
015 C          LEITURA DO NRO DE ANDARES E ALTURA DO ANDAR
016 READ(5,*)NAND,H
017 IF(NAND.LE.0)GO TO 10
018 N=NAND+1
019 CALL EXEC(24,1,IOTB,128,ITRB,NOTRB,10,IER)
020 CALL TESTE(1)
021 CALL EXEC(24,2,ARDES,0,8,3*N,SCODE,IER)
022 CALL TESTE(2)
023 C          GERACAO DE [J] E [S]
024 CALL EXEC(8,JS)
025 10 END
026 $

```

e.2) Segmento JS3

```

001 FTN4
002 PROGRAM JS3(5)
003 C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
004 C-----          ESTRUT. COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA.IGUAIS
005 C-----          CONTR. POR LINTEIS (2 EIXOS DE SIMETRIA)
006 C-----          GERACAO DE [J] E [S]
007 DOUBLE PRECISION ESPA,LA,ESPB,LB,BL,HL,LL,ESPI,ESP(2),COMPI,
008 *COMP(2),EJ(2),JT(2),JL,AB,C1,M1(1,2),M2(1,2),M3(2,2),JB,JA,
009 *M4(2),M5(2),M7(1,2),M8(1,2)
010 INTEGER CABEC(40),DESLO(3)
011 DOUBLE PRECISION H,E,MI,M16,M26,M86,AREA(2),MORE(2),JJ,S,DESLV
012 *,DESLVA,M6(2,1),MQ1(2,1),MQ3(2,1),M36(2,1)
013 COMMON NAND,N,H,IOTB(128),ITRB(1280),E,MI,M6,M16,M26,MQ1,MQ3,
014 *,M86,M36,AREA,MORE,JJ,S,DESLV,DESLVA
015 EQUIVALENCE (ESP(2),ESPA),(ESP(1),ESPB),(COMP(1),LB),
016 *(COMP(2),LA),(AB,AREA(1)),(JB,EJ(1)),(JA,EJ(2))
017 DATA DESLO/2HDE,2HSL,1HO/
018 C          PROPRIEDADES FISICAS E GEOMETRICAS DOS CANAIS E
019 C          LINTEIS
020 READ(5,*)E,MI
021 READ(5,*)ESPB,LR,ESPA,LA
022 READ(5,*)BL,HL,LL

```

```

023     READ(5,5)CABEC
024     5 FORMAT(40A2)
025     CALL FOLHA
026     WRITE(6,15)CABEC
027     15 FORMAT(" EDIFICIO COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA IGUAIS E"
028     *" SIMETRICAS"/" CONTRAVENTADAS ENTRE SI POR LINTEIS - TECNICA"
029     *" DO MEIO CONTINUO"/" CARREGAMENTO SO DE MOMENTO TORCOR"/
030     *1X,40A2,4/" DADOS DA ESTRUTURA")
031     WRITE(6,25)E,MI,H,NAND
032     25 FORMAT(" MOD.ELASTICIDADE COEF.POISSON ALT.ANDAR NRO ANDARES"
033     */E16.7,F11.3,F14.3,I9/)
034     C     GERACAO DE [M6] (2X1) (EIXOS COORD NOS EIXOS DE SIMET)
035     M6(1,1)=0.5*LA
036     M6(2,1)=LB+0.5*LL
037     WRITE(6,35)
038     35 FORMAT(" PAREDES"/" NUMERO LARGURA COMPRIMENTO"5X"C")
039     DO 10 K=1,2
040     K1=(K-1)*3+1
041     K2=K1+1
042     K3=K1+2
043     10 WRITE(6,45)K1,ESPB,LB,M6(1,1),K2,ESPA,LA,M6(2,1),K3,ESPB,LB,
044     *M6(1,1)
045     45 FORMAT(I5,1X,2F10.4,3X,F10.4)
046     WRITE(6,55)(I,BL,HL,LL,I=1,2)
047     55 FORMAT(/" LINTEIS"/" NUMERO LARGURA ALTURA COMPRIM."/
048     *(I5,1X,3F10.4))
049     DO 20 I=1,2
050     ESPI=ESP(I)
051     COMPI=COMP(I)
052     AREA(I)=ESPI*COMPI
053     EJ(I)=ESPI*COMPI*COMPI*COMPI/12.
054     JT(I)=COMPI*ESPI*ESPI*ESPI/3.
055     20 MORE(I)=2.0*EJ(I)/COMPI
056     JL=BL*HL*HL*HL
057     C     GERACAO DE [M1] (1X2)
058     M1(1,1)=-0.5*AB*LB
059     M1(1,2)=-0.5*AB*LA
060     C     GERACAO DE [M2] (1X2)
061     C1=JL/H/LL/LL/LL
062     M2(1,1)=C1*(2*LB+LL)
063     M2(1,2)=C1*LA
064     C     GERACAO DE [M3] (2X2)
065     M3(1,1)=-JB
066     M3(1,2)=0.
067     M3(2,1)=0.
068     M3(2,2)=-JA
069     C     GERACAO DE [M4] (2X1)
070     M4(1)=0.5*LB
071     M4(2)=LA
072     C     GERACAO DE [M5] (2X1)
073     M5(1)=0.5*(LB+LL)
074     M5(2)=0.
075     C     GERACAO DE [M7] (1X2)
076     M7(1,1)=2.0*LA
077     M7(1,2)=2.0*LB+LL
078     C     GERACAO DE [M8] (1X2)
079     M8(1,1)=0.5*LB
080     M8(1,2)=0.5*LA
081     C     GERACAO DE [J] E [S] (1X1)
082     CALL MULT(M1,M6,M16,1,2,1)
083     CALL MULT(M2,M6,M26,1,2,1)
084     CALL MULT(M8,M6,M86,1,2,1)
085     CALL MULT(M3,M6,M36,2,2,1)
086     DO 120 I=1,2
087     MQ1(I,1)=(M4(I)+M5(I))*M26
088     120 MQ3(I,1)=M36(I,1)+M16*M4(I)
089     CALL MULT(M7,MQ3,JJ,1,2,1)
090     JJ=-JJ
091     CALL MULT(M7,MQ1,S,1,2,1)

```

```

092      S=S+1./(1.+MI)*(2.*JT(1)+JT(2))
093      WRITE(6,65)JJ,S
094      65 FORMAT(//"  J="E16,7"  S="E16,7)
095      C          REARRANJO DE [M36] PARA O CALCULO DE [MW]
096      DO 30 I=1,2
097      30 M36(I,1)=-M36(I,1)
098      C          CALCULO DOS COEFS PARA DESLOCS VERT
099      DESLV=0.25*LA*(2*LB+LL)
100      DESLVA=0.25*LA*(4*LB+LL)
101      C          CALCULO DOS COEFS DOS DESLOCS DO DIAFRAGMA
102      CALL EXEC(8,DESLO)
103      CALL CORE3
104      END
105      S

```

e.3) Segmento DESLO

```

001      FTN4
002      PROGRAM DESLO(5)
003      C-----
004      C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005      C-----          ESTRUT. COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA. IGUAIS
006      C-----          CONTR. POR LINTEIS (2 EIXOS DE SIMETRIA)
007      C-----          CALCULO DE 0(Z), 0'(Z), 0''(Z), 0'''(Z) PARA CARGA
008      C-----          UNIF DISTRIB. E CONC. NO TOPO
009      C-----
010      DOUBLE PRECISION SINH,X,COSH,DELTA,ALFA,HT,ALFAH,SH,CH,TH,
011      *CAUX1,CAUX2,CAUX3,CAUX4,CAUX5,ZH,ALFAHZ,SHZ,CHZ,WD(51),
012      *WC(51),W1C(51),W1C(51),W2D(51),W2C(51),W3D(51),W3C(51),AUX(51,8)
013      INTEGER LOADS(3),ARDES(3)
014      DOUBLE PRECISION H,E,MI,M16,M26,M86,AREA(2),MORE(2),JJ,S,DESLV
015      *,DESLVA,M6(2),MQ1(2),MQ3(2),M36(2)
016      COMMON NAND,N,H,IOTB(128),ITRB(1280),E,MI,M6,M16,M26,MQ1,MQ3,
017      *M86,M36,AREA,MORE,JJ,S,DESLV,DESLVA
018      EQUIVALENCE (AUX(1,1),WD),(AUX(1,2),WC),(AUX(1,3),W1D),(AUX(1,4)
019      *,W1C),(AUX(1,5),W2D),(AUX(1,6),W2C),(AUX(1,7),W3D),(AUX(1,8),
020      *W3C)
021      DATA LOADS/2HLO,2HAD,1HS/,ARDES/2HAR,2HDE,1HS/
022      C          GERACAO DE 0,0',0'' E 0''' PARA TORSOR UNIF E CONC
023      SINH(X)=(DEXP(X)-DEXP(-X))*0.5
024      COSH(X)=(DEXP(X)+DEXP(-X))*0.5
025      DELTA=1.0D0/NAND
026      ALFA=DSQRT(S/JJ)
027      HT=NAND*H
028      ALFAH=ALFA*HT
029      SH=SINH(ALFAH)
030      CH=COSH(ALFAH)
031      TH=SH/CH
032      CAUX1=1./ALFAH
033      CAUX2=1./ALFAH/ALFAH
034      CAUX3=1./ALFAH/ALFAH/ALFAH
035      CAUX4=1./ALFAH/ALFAH/ALFAH/ALFAH
036      CAUX5=(ALFAH*SH+1.)/CH
037      DO 10 J=1,N
038      ZH=(J-1)*DELTA
039      ALFAHZ=ALFAH*ZH
040      SHZ=SINH(ALFAHZ)
041      CHZ=COSH(ALFAHZ)
042      WD(J)=CAUX4*(CAUX5*(CHZ-1.)+ALFAH*(-SHZ+ALFAHZ*(1.-0.5*ZH)))
043      WC(J)=CAUX3*(TH*(CHZ-1.)-SHZ+ALFAHZ)
044      W1D(J)=CAUX3*(CAUX5*SHZ+ALFAH*(-CHZ+1.-ZH))
045      W1C(J)=CAUX2*(TH*SHZ-CHZ+1.)

```



```

046      W2D(J)=CAUX2*(CAUX5*CHZ-ALFAH*SHZ-1.)
047      W2C(J)=CAUX1*(TH*CHZ-SHZ)
048      W3D(J)=CAUX1*(CAUX5*SHZ-ALFAH*CHZ)
049      10 W3C(J)=TH*SHZ-CHZ
050      DO 20 I=1,8
051      CALL EXEC(24,8,ARDES,I,AUX(1,I),IER)
052      CALL TESTE(2)
053      20 CONTINUE
054      C          CARREGAMENTOS NA ESTRUTURA
055      CALL EXEC(8,LOADS)
056      CALL CORE3
057      END
058      $

```

e.4) Segmento LOADS

```

001      FTN4
002      PROGRAM LOADS(5)
003      C-----
004      C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005      C-----          ESTRUT. COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA, IGUAIS
006      C-----          CONTR. POR LINTEIS (2 EIXOS DE SIMETRIA)
007      C-----          CARREGAMENTOS NA ESTRUTURA
008      C-----
009      DOUBLE PRECISION M0,MTH,WD(51),WC(51),C1,C2,C3,C4,W123(51,4)
010      *,F11(51),F12(51),FI(51),FI3(51),ROTAC(4),Z
011      *,HT
012      INTEGER ARDES(3),ANDAR
013      DOUBLE PRECISION H,E,MI,M16,M26,M86,AREA(2),MORE(2),JJ,S,DESLV
014      *,DESLVA,M6(2),MQ1(2),MQ3(2),M36(2)
015      COMMON NAND,N,H,IOTB(128),ITRB(1280),E,MI,M6,M16,M26,MQ1,MQ3,
016      *,M86,M36,AREA,MORE,JJ,S,DESLV,DESLVA
017      EQUIVALENCE (W123(1,1),FI),(W123(1,2),F11),(W123(1,3),F12),
018      *(W123(1,4),F13)
019      DATA ARDES/2HAR,2HDE,1HS/
020      READ(5,*)NCARG
021      HT=NAND*H
022      DO 40 L=1,NCARG
023      CALL FOLHA
024      READ(5,*)M0,MTH
025      C1=M0/JJ
026      C2=MTH/JJ
027      WRITE(6,15)L,M0,MTH
028      15 FORMAT(" CARREGAMENTO NRO="I4/4X"TORCOR UNIF. DISTRIBUIDO  ="/
029      *F10.4/4X"TORCOR CONCENTRADO NO TOPO ="/F10.4)
030      C          CALCULO DA ROTACAO ,DER PRIM, SEG E TERC
031      DO 10 I=1,4
032      CALL EXEC(24,6,ARDES,2*I-1,WD,IER)
033      CALL TESTE(3)
034      CALL EXEC(24,6,ARDES,2*I,WC,IER)
035      CALL TESTE(4)
036      C3=C1*HT**(5-I)
037      C4=C2*HT**(4-I)
038      DO 10 J=1,N
039      10 W123(J,I)=C3*WD(J)+C4*WC(J)
040      WRITE(6,25)L
041      25 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA (CARREGAMENTO NRO="I4")"/
042      *" ANDAR"8X"ROTACAO Z"5X"PRIM DER"7X"SEG. DER"7X"TERC. DER")
043      DO 30 M=1,N
044      ANDAR=M-1
045      DO 20 J=1,4
046      20 ROTAC(J)=W123(M,J)/E

```

```

047     30 WRITE(6,35)ANDAR,ROTAC
048     35 FORMAT(18,4E16,7)
049   C           CALCULO DOS DESLOCS,ESFORCOS E TENSOES NAS PAREDES
050     CALL ESFOR(FI,F11,F12,F13,L)
051     40 CONTINUE
052     CALL CORE3
053     END
054   $

```

e.5) Subprograma ESFOR

```

001   FTN4
002   SUBROUTINE ESFOR(FI,F11,F12,F13,NCAR)
003   C-----
004   C-----          TECNICA DO MEIO CONTINUO
005   C-----          ESTRUT. COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA,IGUAIS
006   C-----          CONTR. POR LINTEIS (2 EIXOS DE SIMETRIA
007   C-----          CALCULO DOS DESLOCS,ESFORCOS E TENSOES NAS PAREDES
008     DOUBLE PRECISION FI(1),F11(1),F12(1),F13(1),UW(2),MW(2),MOMEM(51,
009     *2),QW(2),Q1,Q5,DELTA1,V1,V1A,N1,NORM(51),SIGM1,SIGM1A
010     *,NQ1,NQ5,NDELTA1,NV1,NV1A,NN1,NSIGM1,NSIGM1A
011     INTEGER ANDAR
012     DOUBLE PRECISION H,E,MI,M16,M26,M86,AREA(2),MORE(2),JJ,S,DESLV
013     *,DESLVA,M6(2),MQ1(2),MQ3(2),M36(2)
014     COMMON NAND,N,H,IOTB(128),ITRB(1280),E,MI,M6,M16,M26,MQ1,MQ3,
015     *M86,M36,AREA,MORE,JJ,S,DESLV,DESLVA
016     CALL FOLHA
017     WRITE(6,15)NCAR
018     15 FORMAT(" DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NOS PLANOS DAS PAREDES"
019     *" (CARREGAMENTO NRO="I4)")
020     *"NRO="I4)")
021     WRITE(6,25)(I,I=1,6)
022     25 FORMAT("  ANDAR"6(5X"PAREDE"13,1X))
023     DO 20 M=1,N
024     ANDAR=M-1
025     DO 10 I=1,2
026     10 UW(I)=M6(I)*FI(M)/E
027     20 WRITE(6,35)ANDAR,(UW(1),UW(2),UW(1),I=1,2)
028     35 FORMAT(18,6E15,7)
029     CALL FOLHA
030     WRITE(6,45)NCAR
031     45 FORMAT(" MOMENTOS FLETORES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="I4)")
032     WRITE(6,25)(I,I=1,6)
033     DO 40 M=1,N
034     ANDAR=M-1
035     DO 30 I=1,2
036     MW(I)=M36(I)*FI2(M)
037     30 MOMEM(M,I)=MW(I)
038     40 WRITE(6,35)ANDAR,(MW(1),MW(2),MW(1),I=1,2)
039     CALL FOLHA
040     WRITE(6,55)NCAR
041     55 FORMAT(" FORCAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO="I4)")
042     WRITE(6,25)(I,I=1,6)
043     DO 60 M=1,N
044     ANDAR=M-1
045     DO 50 I=1,2
046     50 QW(I)=MQ1(I)*F11(M)+MQ3(I)*F13(M)

```

```

047 60 WRITE(6,35)ANDAR,(QW(1),QW(2),QW(1),I=1,2)
048 CALL FOLHA
049 WRITE(6,65)NCAR
050 65 FORMAT(" FORCAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS (CARREGAMENTO NRO="I4)")
051 WRITE(6,75)(I,I=1,6)
052 75 FORMAT(" ANDAR"6(4X"INTERSEC"12,1X))
053 DO 90 M=1,N
054 ANDAR=M-1
055 Q5=M26*FI1(M)
056 Q1=M16*FI3(M)+Q5
057 NQ1=-Q1
058 NQ5=-Q5
059 90 WRITE(6,35)ANDAR,(Q1,NQ1,I=1,2),Q5,NQ5
060 CALL FOLHA
061 WRITE(6,175)NCAR
062 175 FORMAT(" DESLOC VERTICAIS NOS EIXOS DAS PAREDES (+PARA BAIXO)"
063 *" (CARREGAMENTO NRO="I4)")
064 WRITE(6,25)(I,I=1,6)
065 DO 100 M=1,N
066 ANDAR=M-1
067 DELTA1=M86*FI1(M)/E
068 NDELTA1=-DELTA1
069 100 WRITE(6,35)ANDAR,(DELTA1,0.,NDELTA1,NDELTA1,0.,DELTA1)
070 CALL FOLHA
071 WRITE(6,85)NCAR,(I,I=1,6)
072 85 FORMAT(" DESLOCAMENTOS VERTICAIS DAS INTERSECCOES (+PARA BAIXO)"
073 *" (CARREGAMENTO NRO="I4")"/" ANDAR"6(4X"INT."12,2X),3X
074 *"INT. 1A"5X"INT. 2A"5X"INT. 3A"5X"INT. 4A"/)
075 DO 110 M=1,N
076 ANDAR=M-1
077 V1=DESLV*FI1(M)/E
078 VIA=DESLVA*FI1(M)/E
079 NV1=-V1
080 NVIA=-VIA
081 110 WRITE(6,95)ANDAR,V1,NV1,NV1,V1,0.,0.,VIA,NVIA,NVIA,VIA
082 95 FORMAT(I8,10E12.5)
083 CALL FOLHA
084 WRITE(6,105)NCAR
085 105 FORMAT(" FORCAS NORMAIS NAS PAREDES(+COMPRESSAO) (CARREGAMENTO"
086 *" NRO="I4)")
087 WRITE(6,25)(I,I=1,6)
088 DO 120 M=1,N
089 ANDAR=M-1
090 N1=AREA(1)*M86*FI2(M)
091 NORM(M)=N1
092 NN1=-N1
093 120 WRITE(6,35)ANDAR,N1,0.,NN1,NN1,0.,N1
094 CALL FOLHA
095 WRITE(6,115)NCAR,(I,I=1,4)
096 115 FORMAT(" TENSOES LONGITUDINAIS NOS NOS (TRACAO +) (CARREGAMENTO"
097 *" NRO="I4")"/" ANDAR"4(6X"NO"12,2X),5X"NO 1A"7X"NO 2A"
098 *7X"NO 3A"7X"NO 4A"/)
099 DO 130 M=1,N
100 ANDAR=M-1
101 SIGM1=-MOMEM(M,2)/MORE(2)
102 SIGM1A=-NORM(M)/AREA(1)-MOMEM(M,1)/MORE(1)
103 NSIGM1=-SIGM1
104 NSIG1A=-SIGM1A
105 130 WRITE(6,125)ANDAR,SIGM1,NSIGM1,NSIGM1,SIGM1,SIGM1A,NSIG1A
106 *,NSIG1A,SIGM1A
107 125 FORMAT(I8,8E12.5)
108 END
109 $

```

f) Exemplo de impressão dos resultados

Os resultados apresentados foram obtidos para um edifício de vinte andares com 10,5 ft de pé direito, formado por duas paredes de secção aberta iguais, contraventadas entre si por lintéis de 2,0 ft de espessura e 2,5 ft de altura (vide figura (II.2-18)). O carregamento atuante é constituído de um momento torçor uniformemente distribuído de 64,0 lb ft/ft, no sentido anti-horário para um observador olhando do topo para a base do edifício.

Para o módulo de elasticidade, foi adotado o valor de $4,32 \times 10^8$ lb/ft² e, para o coeficiente de Poisson, 0,25.

Os números dos nós e intersecções são indicados na figura (II.2-18) pelos números dentro das circunferências, e os das paredes, pelas setas numeradas que indicam também os sentidos dos versores definidos nos seus planos.

PLANTA

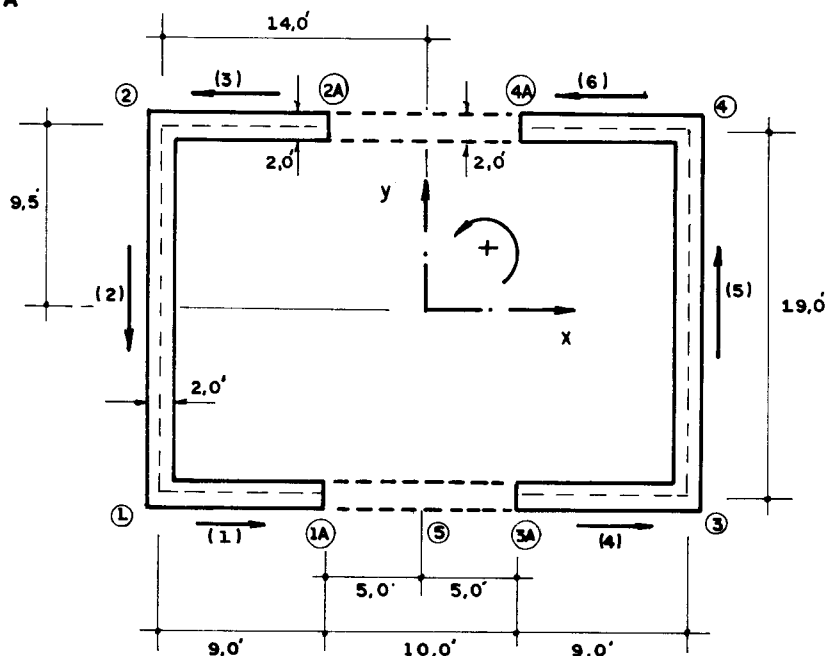


FIG. II.2 -18- EDIFÍCIO COM DUAS PAREDES DE SECÇÃO ABERTA IGUAIS

EDIFICIO COM DUAS PAREDES DE SECCAO ABERTA IGUAIS E SIMETRICAS
 CONTRAVENTADAS ENTRE SI POR LINTEIS - TECNICA DO MEIO CONTINUO
 CARREGAMENTO SO DE MOMENTO TORCOR
 HEIDERRECHT- DAVID SWIFT - ASCE ST5 1971 (UNIDADES LB-FT)

DADOS DA ESTRUTURA
 MOD. ELASTICIDADE .432000E+09 COEF. POISSON .250 ALT. ANDAR 10.500 NRO ANDARES 20

PAREDES	NUMERO	LARGURA	COMPRIMENTO	C
	1	2.0000	9.0000	9.5000
	2	2.0000	19.0000	14.0000
	3	2.0000	9.0000	9.5000
	4	2.0000	9.0000	9.5000
	5	2.0000	19.0000	14.0000
	6	2.0000	9.0000	9.5000

LINTEIS	NUMERO	LARGURA	ALTURA	COMPRIM.
	1	2.0000	2.5000	10.0000
	2	2.0000	2.5000	10.0000

J# .2715923E+07 S# .1763600E+04

CARREGAMENTO NRO= 1
 TORCOR UNIF. DISTRIBUIDO = 64.0000
 TORCOR CONCENTRADO NO TOPO = .0000

ANDAR	ROTACAO Z	PRIM DER	SEG. DER	TERC. DER
0	.000000E+00	.000000E+00	.3663012E-09	-.1145508E-10
1	.1812276E-07	.3267543E-08	.2607979E-09	-.8760526E-11
2	.6522582E-07	.5563463E-08	.1801271E-09	-.6696904E-11
3	.1323620E-06	.7116633E-08	.1184789E-09	-.5115590E-11
4	.2126941E-06	.8102437E-08	.7141332E-10	-.3902609E-11
5	.3010019E-06	.8655396E-08	.3554080E-10	-.2970878E-11
6	.3933069E-06	.8878856E-08	.8277794E-11	-.2253019E-11
7	.4865853E-06	.8852435E-08	-.1233917E-10	-.1697422E-11
8	.5785507E-06	.8637759E-08	-.2779491E-10	-.1264072E-11
9	.6674887E-06	.8282876E-08	-.3920256E-10	-.9217603E-12
10	.7521341E-06	.7825767E-08	-.4738367E-10	-.6458332E-12
11	.8315797E-06	.7297028E-08	-.5292746E-10	-.4164188E-12
12	.9052104E-06	.6722104E-08	-.5623319E-10	-.2169947E-12
13	.9726598E-06	.6123114E-08	-.5753892E-10	-.3319846E-13
14	.1033783E-05	.5520442E-08	-.5693870E-10	.1482068E-12
15	.1088646E-05	.4934207E-08	-.5438931E-10	.3402859E-12
16	.1137533E-05	.4385714E-08	-.4970713E-10	.5568723E-12
17	.1180962E-05	.3898982E-08	-.4255495E-10	.8135644E-12
18	.1219727E-05	.3502483E-08	-.3241769E-10	.1128849E-11
19	.1254951E-05	.3231183E-08	-.1856525E-10	.1525433E-11
20	.1288172E-05	.3129068E-08	.0000000E+00	.2031878E-11

FORCAS CORTANTES NAS PAREDES (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6
0	.7615885E+02	.3766416E+03	.7615885E+02	.7615885E+02	.3766416E+03	.7615885E+02
1	.8953418E+02	.3305100E+03	.8953418E+02	.8953418E+02	.3305100E+03	.8953418E+02
2	.9779995E+02	.2924962E+03	.9779995E+02	.9779995E+02	.2924962E+03	.9779995E+02
3	.1021598E+03	.2606877E+03	.1021598E+03	.1021598E+03	.2606877E+03	.1021598E+03
4	.1035360E+03	.2336195E+03	.1035360E+03	.1035360E+03	.2336195E+03	.1035360E+03
5	.1026359E+03	.2101676E+03	.1026359E+03	.1026359E+03	.2101676E+03	.1026359E+03
6	.1000031E+03	.1894686E+03	.1000031E+03	.1000031E+03	.1894686E+03	.1000031E+03
7	.9605619E+02	.1708573E+03	.9605619E+02	.9605619E+02	.1708573E+03	.9605619E+02
8	.9111929E+02	.1538188E+03	.9111929E+02	.9111929E+02	.1538188E+03	.9111929E+02
9	.8544513E+02	.1379516E+03	.8544513E+02	.8544513E+02	.1379516E+03	.8544513E+02
10	.7923335E+02	.1229386E+03	.7923335E+02	.7923335E+02	.1229386E+03	.7923335E+02
11	.7264489E+02	.1085240E+03	.7264489E+02	.7264489E+02	.1085240E+03	.7264489E+02
12	.6581356E+02	.9449523E+02	.6581356E+02	.6581356E+02	.9449523E+02	.6581356E+02
13	.5885566E+02	.8066756E+02	.5885566E+02	.5885566E+02	.8066756E+02	.5885566E+02
14	.5187840E+02	.6687064E+02	.5187840E+02	.5187840E+02	.6687064E+02	.5187840E+02
15	.4498759E+02	.5293640E+02	.4498759E+02	.4498759E+02	.5293640E+02	.4498759E+02
16	.3829524E+02	.3829524E+02	.3829524E+02	.3829524E+02	.3829524E+02	.3829524E+02
17	.3192769E+02	.2392127E+02	.3192769E+02	.3192769E+02	.2392127E+02	.3192769E+02
18	.2603464E+02	.8401845E+01	.2603464E+02	.2603464E+02	.8401845E+01	.2603464E+02
19	.2080000E+02	-.8163596E+01	.2080000E+02	.2080000E+02	-.8163596E+01	.2080000E+02
20	.1645506E+02	-.2614253E+02	.1645506E+02	.1645506E+02	-.2614253E+02	.1645506E+02

FORCAS VERTICAIS DISTRIBUIDAS (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	INTERSEC 1	INTERSEC 2	INTERSEC 3	INTERSEC 4	INTERSEC 5	INTERSEC 6
0	.1565487E+02	-.1565487E+02	.1565487E+02	-.1565487E+02	.0000000E+00	.0000000E+00
1	.1420741E+02	-.1420741E+02	.1420741E+02	-.1420741E+02	.2335000E+01	-.2235000E+01
2	.1295761E+02	-.1295761E+02	.1295761E+02	-.1295761E+02	.3805409E+01	-.3805409E+01
3	.1185891E+02	-.1185891E+02	.1185891E+02	-.1185891E+02	.4867777E+01	-.4867777E+01
4	.1087562E+02	-.1087562E+02	.1087562E+02	-.1087562E+02	.5542067E+01	-.5542067E+01
5	.9980388E+01	-.9980388E+01	.9980388E+01	-.9980388E+01	.5920291E+01	-.5920291E+01
6	.9152186E+01	-.9152186E+01	.9152186E+01	-.9152186E+01	.6073137E+01	-.6073137E+01
7	.8374817E+01	-.8374817E+01	.8374817E+01	-.8374817E+01	.6055066E+01	-.6055066E+01
8	.7635745E+01	-.7635745E+01	.7635745E+01	-.7635745E+01	.5908224E+01	-.5908224E+01
9	.6925195E+01	-.6925195E+01	.6925195E+01	-.6925195E+01	.5665487E+01	-.5665487E+01
10	.6235441E+01	-.6235441E+01	.6235441E+01	-.6235441E+01	.5352824E+01	-.5352824E+01
11	.5560258E+01	-.5560258E+01	.5560258E+01	-.5560258E+01	.4991167E+01	-.4991167E+01
12	.4894471E+01	-.4894471E+01	.4894471E+01	-.4894471E+01	.4597919E+01	-.4597919E+01
13	.4233580E+01	-.4233580E+01	.4233580E+01	-.4233580E+01	.4188210E+01	-.4188210E+01
14	.3573438E+01	-.3573438E+01	.3573438E+01	-.3573438E+01	.3775982E+01	-.3775982E+01
15	.2909952E+01	-.2909952E+01	.2909952E+01	-.2909952E+01	.3374998E+01	-.3374998E+01
16	.2238789E+01	-.2238789E+01	.2238789E+01	-.2238789E+01	.2999828E+01	-.2999828E+01
17	.1555061E+01	-.1555061E+01	.1555061E+01	-.1555061E+01	.2666904E+01	-.2666904E+01
18	.8529770E+00	-.8529770E+00	.8529770E+00	-.8529770E+00	.2395698E+01	-.2395698E+01
19	.1254238E+00	-.1254238E+00	.1254238E+00	-.1254238E+00	.2210129E+01	-.2210129E+01
20	-.6365467E+00	.6365467E+00	-.6365467E+00	.6365467E+00	-.2140282E+01	.2140282E+01

ANDAR	DESCLOC VERTICAIS NOS EIXOS DAS PAREDES (+PARA BAIXO) (CARREGAMENTO NRO= 1)					
	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6
0	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
1	.5742708E-06	.000000E+00	-.5742708E-06	-.5742708E-06	.000000E+00	.5742708E-06
2	.9777786E-06	.000000E+00	-.9777786E-06	-.9777786E-06	.000000E+00	.9777786E-06
3	.1250748E-05	.000000E+00	-.1250748E-05	-.1250748E-05	.000000E+00	.1250748E-05
4	.1424003E-05	.000000E+00	-.1424003E-05	-.1424003E-05	.000000E+00	.1424003E-05
5	.1521186E-05	.000000E+00	-.1521186E-05	-.1521186E-05	.000000E+00	.1521186E-05
6	.1560459E-05	.000000E+00	-.1560459E-05	-.1560459E-05	.000000E+00	.1560459E-05
7	.1555815E-05	.000000E+00	-.1555815E-05	-.1555815E-05	.000000E+00	.1555815E-05
8	.1518085E-05	.000000E+00	-.1518085E-05	-.1518085E-05	.000000E+00	.1518085E-05
9	.1455716E-05	.000000E+00	-.1455716E-05	-.1455716E-05	.000000E+00	.1455716E-05
10	.1375378E-05	.000000E+00	-.1375378E-05	-.1375378E-05	.000000E+00	.1375378E-05
11	.1282453E-05	.000000E+00	-.1282453E-05	-.1282453E-05	.000000E+00	.1282453E-05
12	.1181410E-05	.000000E+00	-.1181410E-05	-.1181410E-05	.000000E+00	.1181410E-05
13	.1076137E-05	.000000E+00	-.1076137E-05	-.1076137E-05	.000000E+00	.1076137E-05
14	.9702177E-06	.000000E+00	-.9702177E-06	-.9702177E-06	.000000E+00	.9702177E-06
15	.8671870E-06	.000000E+00	-.8671870E-06	-.8671870E-06	.000000E+00	.8671870E-06
16	.7707892E-06	.000000E+00	-.7707892E-06	-.7707892E-06	.000000E+00	.7707892E-06
17	.6852461E-06	.000000E+00	-.6852461E-06	-.6852461E-06	.000000E+00	.6852461E-06
18	.6155613E-06	.000000E+00	-.6155613E-06	-.6155613E-06	.000000E+00	.6155613E-06
19	.5678804E-06	.000000E+00	-.5678804E-06	-.5678804E-06	.000000E+00	.5678804E-06
20	.5499337E-06	.000000E+00	-.5499337E-06	-.5499337E-06	.000000E+00	.5499337E-06

ANDAR	DESCLOCAMENTOS VERTICAIS DAS INTERSECCOES (+PARA BAIXO) (CARREGAMENTO NRO= 1)					
	INT. 1	INT. 2	INT. 3	INT. 4	INT. 5	INT. 6
0	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
1	.43458E-06	-.43458E-06	-.43458E-06	.43458E-06	.00000E+00	.00000E+00
2	.73994E-06	-.73994E-06	-.73994E-06	.73994E-06	.00000E+00	.00000E+00
3	.94651E-06	-.94651E-06	-.94651E-06	.94651E-06	.00000E+00	.00000E+00
4	.10776E-05	-.10776E-05	-.10776E-05	.10776E-05	.00000E+00	.00000E+00
5	.11512E-05	-.11512E-05	-.11512E-05	.11512E-05	.00000E+00	.00000E+00
6	.11809E-05	-.11809E-05	-.11809E-05	.11809E-05	.00000E+00	.00000E+00
7	.11774E-05	-.11774E-05	-.11774E-05	.11774E-05	.00000E+00	.00000E+00
8	.11488E-05	-.11488E-05	-.11488E-05	.11488E-05	.00000E+00	.00000E+00
9	.11016E-05	-.11016E-05	-.11016E-05	.11016E-05	.00000E+00	.00000E+00
10	.10408E-05	-.10408E-05	-.10408E-05	.10408E-05	.00000E+00	.00000E+00
11	.97050E-06	-.97050E-06	-.97050E-06	.97050E-06	.00000E+00	.00000E+00
12	.89404E-06	-.89404E-06	-.89404E-06	.89404E-06	.00000E+00	.00000E+00
13	.81437E-06	-.81437E-06	-.81437E-06	.81437E-06	.00000E+00	.00000E+00
14	.73422E-06	-.73422E-06	-.73422E-06	.73422E-06	.00000E+00	.00000E+00
15	.65625E-06	-.65625E-06	-.65625E-06	.65625E-06	.00000E+00	.00000E+00
16	.58330E-06	-.58330E-06	-.58330E-06	.58330E-06	.00000E+00	.00000E+00
17	.51856E-06	-.51856E-06	-.51856E-06	.51856E-06	.00000E+00	.00000E+00
18	.46583E-06	-.46583E-06	-.46583E-06	.46583E-06	.00000E+00	.00000E+00
19	.42975E-06	-.42975E-06	-.42975E-06	.42975E-06	.00000E+00	.00000E+00
20	.41617E-06	-.41617E-06	-.41617E-06	.41617E-06	.00000E+00	.00000E+00

INT. 1A INT. 2A INT. 3A INT. 4A

.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.71396E-06	-.71396E-06	-.71396E-06	.71396E-06
.12156E-05	-.12156E-05	-.12156E-05	.12156E-05
.15550E-05	-.15550E-05	-.15550E-05	.15550E-05
.17704E-05	-.17704E-05	-.17704E-05	.17704E-05
.18912E-05	-.18912E-05	-.18912E-05	.18912E-05
.19400E-05	-.19400E-05	-.19400E-05	.19400E-05
.19343E-05	-.19343E-05	-.19343E-05	.19343E-05
.18873E-05	-.18873E-05	-.18873E-05	.18873E-05
.18098E-05	-.18098E-05	-.18098E-05	.18098E-05
.17099E-05	-.17099E-05	-.17099E-05	.17099E-05
.15944E-05	-.15944E-05	-.15944E-05	.15944E-05
.14688E-05	-.14688E-05	-.14688E-05	.14688E-05
.13379E-05	-.13379E-05	-.13379E-05	.13379E-05
.12062E-05	-.12062E-05	-.12062E-05	.12062E-05
.10781E-05	-.10781E-05	-.10781E-05	.10781E-05
.95828E-06	-.95828E-06	-.95828E-06	.95828E-06
.85193E-06	-.85193E-06	-.85193E-06	.85193E-06
.76529E-06	-.76529E-06	-.76529E-06	.76529E-06
.70601E-06	-.70601E-06	-.70601E-06	.70601E-06
.68370E-06	-.68370E-06	-.68370E-06	.68370E-06

FORÇAS NORMAIS NAS PAREDES(+COMPRESSAO) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	PAREDE 1	PAREDE 2	PAREDE 3	PAREDE 4	PAREDE 5	PAREDE 6
0	.5005989E+03	.0000000E+00	.5005989E+03	.5005989E+03	.0000000E+00	.5005989E+03
1	.3564148E+03	.0000000E+00	.3564148E+03	.3564148E+03	.0000000E+00	.3564148E+03
2	.2461675E+03	.0000000E+00	.2461675E+03	.2461675E+03	.0000000E+00	.2461675E+03
3	.1619170E+03	.0000000E+00	.1619170E+03	.1619170E+03	.0000000E+00	.1619170E+03
4	.9759573E+02	.0000000E+00	.9759573E+02	.9759573E+02	.0000000E+00	.9759573E+02
5	.4857120E+02	.0000000E+00	.4857120E+02	.4857120E+02	.0000000E+00	.4857120E+02
6	.1131270E+02	.0000000E+00	.1131270E+02	.1131270E+02	.0000000E+00	.1131270E+02
7	-.1686310E+02	.0000000E+00	.1686310E+02	.1686310E+02	.0000000E+00	-.1686310E+02
8	-.3798542E+02	.0000000E+00	.3798542E+02	.3798542E+02	.0000000E+00	-.3798542E+02
9	-.5357547E+02	.0000000E+00	.5357547E+02	.5357547E+02	.0000000E+00	-.5357547E+02
10	-.6475605E+02	.0000000E+00	.6475605E+02	.6475605E+02	.0000000E+00	-.6475605E+02
11	-.7233236E+02	.0000000E+00	.7233236E+02	.7233236E+02	.0000000E+00	-.7233236E+02
12	-.7685007E+02	.0000000E+00	.7685007E+02	.7685007E+02	.0000000E+00	-.7685007E+02
13	-.7863453E+02	.0000000E+00	.7863453E+02	.7863453E+02	.0000000E+00	-.7863453E+02
14	-.7781425E+02	.0000000E+00	.7781425E+02	.7781425E+02	.0000000E+00	-.7781425E+02
15	-.7433017E+02	.0000000E+00	.7433017E+02	.7433017E+02	.0000000E+00	-.7433017E+02
16	-.6793135E+02	.0000000E+00	.6793135E+02	.6793135E+02	.0000000E+00	-.6793135E+02
17	-.5815696E+02	.0000000E+00	.5815696E+02	.5815696E+02	.0000000E+00	-.5815696E+02
18	-.4430305E+02	.0000000E+00	.4430305E+02	.4430305E+02	.0000000E+00	-.4430305E+02
19	-.2537187E+02	.0000000E+00	.2537187E+02	.2537187E+02	.0000000E+00	-.2537187E+02
20	.0000000E+00	.0000000E+00	.0000000E+00	.0000000E+00	.0000000E+00	.0000000E+00

TENSÕES LONGITUDINAIS NOS NOS (TRACAO +) (CARREGAMENTO NRO= 1)

ANDAR	NO 1	NO 2	NO 3	NO 4	NO 1A	NO 2A	NO 3A	NO 4A
0	-.21046E+02	.21046E+02	.21046E+02	-.21046E+02	-.34576E+02	.34576E+02	.34576E+02	-.34576E+02
1	-.14984E+02	.14984E+02	.14984E+02	-.14984E+02	-.24617E+02	.24617E+02	.24617E+02	-.24617E+02
2	-.10349E+02	.10349E+02	.10349E+02	-.10349E+02	-.17003E+02	.17003E+02	.17003E+02	-.17003E+02
3	-.68073E+01	.68073E+01	.68073E+01	-.68073E+01	-.11183E+02	.11183E+02	.11183E+02	-.11183E+02
4	-.41031E+01	.41031E+01	.41031E+01	-.41031E+01	-.67408E+01	.67408E+01	.67408E+01	-.67408E+01
5	-.20420E+01	.20420E+01	.20420E+01	-.20420E+01	-.33548E+01	.33548E+01	.33548E+01	-.33548E+01
6	-.47561E+00	.47561E+00	.47561E+00	-.47561E+00	-.78136E+00	.78136E+00	.78136E+00	-.78136E+00
7	.70896E+00	-.70896E+00	.70896E+00	-.70896E+00	.11647E+01	-.11647E+01	.11647E+01	-.11647E+01
8	.15970E+01	-.15970E+01	.15970E+01	-.15970E+01	.26236E+01	-.26236E+01	.26236E+01	-.26236E+01
9	.22524E+01	-.22524E+01	.22524E+01	-.22524E+01	.37004E+01	-.37004E+01	.37004E+01	-.37004E+01
10	.27225E+01	-.27225E+01	.27225E+01	-.27225E+01	.44726E+01	-.44726E+01	.44726E+01	-.44726E+01
11	.30410E+01	-.30410E+01	.30410E+01	-.30410E+01	.49959E+01	-.49959E+01	.49959E+01	-.49959E+01
12	.32309E+01	-.32309E+01	.32309E+01	-.32309E+01	.53080E+01	-.53080E+01	.53080E+01	-.53080E+01
13	.33060E+01	-.33060E+01	.33060E+01	-.33060E+01	.54312E+01	-.54312E+01	.54312E+01	-.54312E+01
14	.32715E+01	-.32715E+01	.32715E+01	-.32715E+01	.53746E+01	-.53746E+01	.53746E+01	-.53746E+01
15	.31250E+01	-.31250E+01	.31250E+01	-.31250E+01	.51339E+01	-.51339E+01	.51339E+01	-.51339E+01
16	.28560E+01	-.28560E+01	.28560E+01	-.28560E+01	.46920E+01	-.46920E+01	.46920E+01	-.46920E+01
17	.24450E+01	-.24450E+01	.24450E+01	-.24450E+01	.40168E+01	-.40168E+01	.40168E+01	-.40168E+01
18	.18626E+01	-.18626E+01	.18626E+01	-.18626E+01	.30600E+01	-.30600E+01	.30600E+01	-.30600E+01
19	.10667E+01	-.10667E+01	.10667E+01	-.10667E+01	.17524E+01	-.17524E+01	.17524E+01	-.17524E+01
20	.00000E+00	-.00000E+00	.00000E+00	-.00000E+00	.00000E+00	-.00000E+00	.00000E+00	-.00000E+00

III – TRATAMENTO DISCRETO

O processo apresentado, baseado no trabalho de HEIDEBRECHT e SWIFT⁽⁷⁾, utiliza a *Análise Matricial*, através do *processo dos deslocamentos*, para exprimir o comportamento da estrutura. Esta análise conduz a um sistema de equações lineares de grande porte, cuja solução fornece os deslocamentos e esforços ao longo de toda a altura do edifício; sendo os esforços transmitidos pelos elementos de conexões horizontais concentrados ao nível dos pisos. Os carregamentos externos serão aplicados como cargas concentradas ao nível das lajes, podendo-se tratar por esta análise estruturas de geometria variada, quer em planta, quer em elevação.

As paredes de secção aberta serão consideradas como membros lineares, com sete deslocamentos por andar, os seis já conhecidos do tratamento espacial, mais aquele devido ao empenamento. Este deslocamento adicional é incluído na análise através de uma matriz de rigidez especial, obtida através da teoria de flexo-torção, aparecendo então um novo componente de força, o *bimomento*, e o correspondente componente de deslocamento, a derivada da rotação.

Os lintéis terão capacidade de desenvolver resistência a esforços axiais, de flexão, cortantes e torçores. As lajes serão consideradas como diafragmas, com rigidez infinita nos seus planos e rigidez nula fora destes, o que, como será visto no desenvolver deste capítulo, introduz uma simplificação, pois os deslocamentos dos elementos verticais são funções dos deslocamentos dos diafragmas, a menos dos empenamentos.

Como todo tratamento discreto, este processo necessita da utilização de computadores digitais para a obtenção da solução do problema, dada através da solução de um sistema de equações lineares de grande porte. Em vista disso, apresenta-se neste item um conjunto de programas para análise desta estrutura através do tratamento discreto para computadores de pequeno porte (HP2100A).

Apresenta-se, na primeira parte deste capítulo a *formulação do processo*, e, na segunda, uma *análise comparativa dos resultados* obtidos pelos vários processos desenvolvidos no trabalho.

III.1 – FORMULAÇÃO DO PROCESSO

III.1.1 - Nomenclatura

Chamar-se-á ao longo do desenvolvimento de:

a) *parede* a qualquer parede plana sem aberturas, sem intersecções com outras paredes e de espessura constante;

b) *parede de secção aberta ou pilar* a qualquer combinação de paredes continuamente ligadas entre si para formarem uma secção aberta;

c) *lintel* ao elemento linear usado ao nível dos pisos para contraventar duas paredes, pertencentes a uma mesma parede de secção aberta ou não;

d) *nó* à intersecção horizontal de duas ou mais paredes, ou de paredes com lintéis ou secções onde os deslocamentos e tensões longitudinais são requeridos;

e) *laje* ao diafragma rígido no seu plano e sem nenhuma rigidez fora deste, localizado ao nível dos pisos;

f) *andar* ao elemento estrutural formado por todos os pilares de dois pisos consecutivos e pelos lintéis localizados ao nível do piso superior;

g) *estrutura* ao conjunto de todos os andares.

Os nós e as paredes serão numerados independentemente dentro de cada parede de secção aberta.

Na figura (III.1-01) apresenta-se um exemplo de numeração da planta de uma estrutura e um andar genérico conforme a nomenclatura. Os números dos nós são apresentados dentro das circunferências e os das paredes sobre as setas numeradas que indicam também os sentidos dos versores definidos nos seus planos.

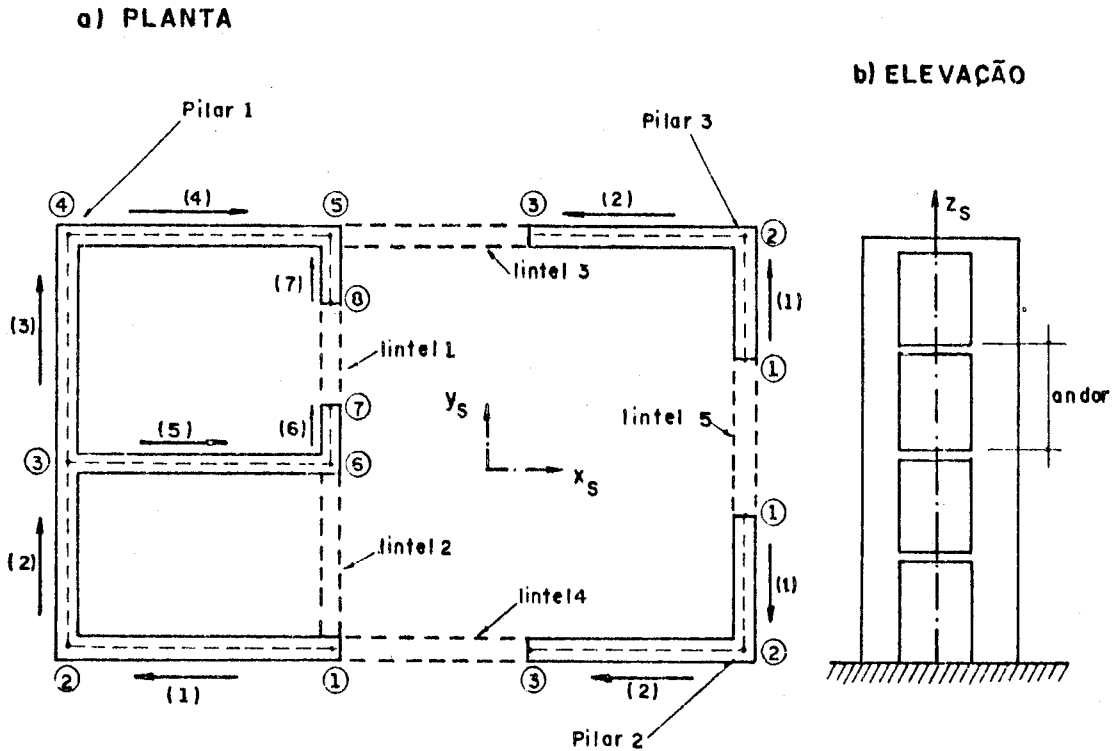


FIG. III.1-01-EXEMPLO DE NUMERAÇÃO DE UMA ESTRUTURA

III.1.2 - Obtenção das matrizes de rigidez das paredes de secção aberta

O tramo da parede de secção aberta ou pilar, compreendido entre dois pisos consecutivos, chamar-se-á *elemento de parede de secção aberta* ou simplesmente *elemento de pilar*. Define-se neste elemento um sistema de coordenadas local, com origem no centro de cisalhamento, constituído dos eixos x e y pertencentes a um plano que contém a sua secção transversal, orientados paralelamente aos seus eixos principais de inércia, e com o eixo z na sua direcção longitudinal, com origem na extremidade inferior. Na figura (III.1-02) apresenta-se a orientação dos eixos e a convenção de esforços positivos, de acordo com a análise matricial, para um elemento de pilar de altura h .

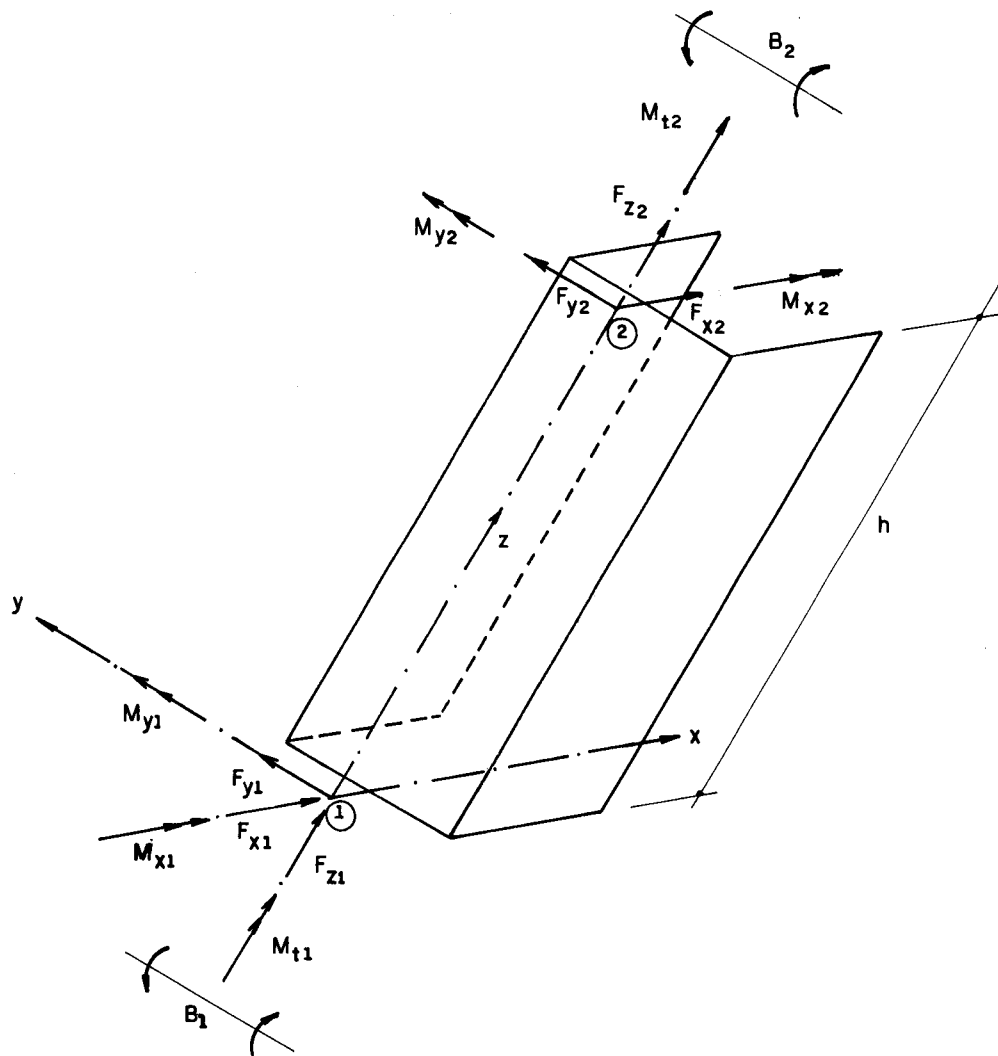


FIG. III.1-02-CONVENÇÃO DE ESFORÇOS POSITIVOS DA ANÁLISE MATRICIAL EM UM ELEMENTO DE PILAR

O vetor de cargas aplicadas no centro de cisalhamento, na extremidade i de um elemento de pilar, é dado por

$$\{F_i\} = \begin{Bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ F_{zi} \\ M_{xi} \\ M_{yi} \\ M_{ti} \\ B_i \end{Bmatrix} \quad (III.1-01)$$

e o vetor deslocamento correspondente ao anterior é

$$\{D_i\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xi} \\ \delta_{yi} \\ \delta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ \phi_i \\ \phi'_i \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-02})$$

onde F_{xi} , F_{yi} e F_{zi} são, respectivamente, as forças nas direções dos eixos x , y e z ; M_{xi} e M_{yi} os momentos fletores em torno dos eixos x e y ; M_{ti} o momento torçor; B_i o bimomento; δ_{xi} , δ_{yi} e δ_{zi} os deslocamentos nas direções dos eixos x , y e z , positivos quando concordantes com os sentidos dos respectivos eixos; θ_{xi} , θ_{yi} e ϕ_i as rotações em torno dos eixos x , y e z , positivas quando concordam em sentido com os parafusos direitos definidos nestes eixos; e ϕ'_i a primeira derivada da rotação em torno do eixo z . Os esforços positivos são aqueles representados na figura (III.1-02).

A matriz de rigidez do pilar é obtida determinando-se os esforços correspondentes aos vários estados de deslocamentos de flexão, dados por δ_{xi} , δ_{yi} , δ_{zi} , θ_{xi} e θ_{yi} , e os esforços correspondentes aos vários estados de deslocamentos à torção dados por ϕ_i e ϕ'_i .

A determinação das propriedades de rigidez das paredes de secção aberta baseia-se na hipótese de que estas se comportam como as vigas de parede de secção delgada. A inclusão do empenamento da secção transversal supõe que esta é indeformável no seu plano e que a deformação por cisalhamento da linha média da secção é desprezível.

III.1-2.1 - Contribuição para a matriz de rigidez dos termos de torção

Como já foi visto, a equação que governa o comportamento à torção das paredes de secção aberta, incluindo as deformações por empenamento, é dada, numa cota genérica z ($0 \leq z \leq h$), na convenção apresentada no apêndice A, por

$$m_z^* = GJ_t \phi_z^{*''} - EJ_\omega \phi_z^{*''''} \quad (\text{III.1-03})$$

onde G é o módulo de elasticidade transversal, E o módulo de elasticidade longitudinal, J_t o momento de inércia à torção da secção transversal, J_ω o momento de inércia setorial, m_z^* o momento torçor distribuído; o símbolo asterisco (*) é usado para indicar os esforços e deslocamentos na convenção da teoria de flexo-torção apresentada no apêndice A. Convém lembrar que, nesta convenção uma rotação em torno do eixo z , ϕ_z^* , é positiva no sentido anti-horário para um observador colocado sobre o eixo z e olhando no seu sentido positivo, isto é, ϕ_z^* é positiva quando discorda em sentido com o parafuso direito definido no eixo z e os esforços positivos nas extremidades de um elemento de pilar M_{t1}^* , M_{t2}^* , B_1^* e B_2^* são os apresentados na figura (III.1-03).

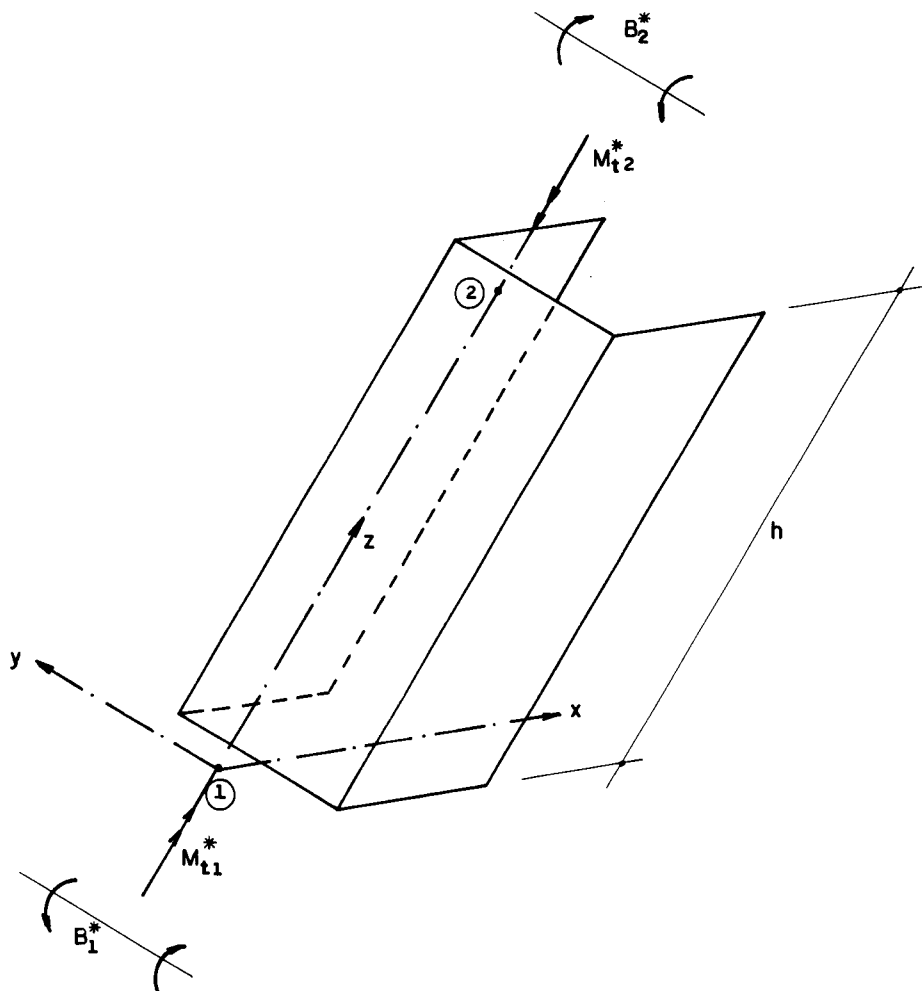


FIG. III.1-03-CONVENÇÃO DE ESFORÇOS POSITIVOS DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO EM UM ELEMENTO DE PILAR

III-7

A solução completa de (III.1-03) para cargas concentradas ao nível dos pisos, isto é, momento torçor distribuído nulo, é da da por

$$\phi_z^* = C_1 + C_2 z + C_3 \cosh \alpha z + C_4 \sinh \alpha z \quad (\text{III.1-04})$$

onde α é um parâmetro de rigidez do pilar definido como

$$\alpha = \sqrt{\frac{GJ_t}{EJ_\omega}}$$

e as constantes C_1 , C_2 , C_3 e C_4 são determinadas a partir das condições de contorno da extremidade inferior (extremidade 1) do elemento de pilar, dadas por

$$\left. \begin{aligned} \phi_0^* &= \phi_1^* \\ \phi_0^{*'} &= \phi_1^{*'} \\ EJ_\omega \phi_0^{*''} &= B_1^* \\ GJ_t \phi_0^{*' } - EJ_\omega \phi_0^{*'''} &= M_{t1}^* \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.1-05})$$

Obtendo-se as derivadas até ordem três da equação (III.1-04) e combinando-se com (III.1-05), chega-se a

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \phi_1^* - \frac{B_1^*}{GJ_t} \\ C_2 &= \frac{M_{t1}^*}{GJ_t} \\ C_3 &= \frac{B_1^*}{GJ_t} \\ C_4 &= \frac{\phi_1^{*' }}{\alpha} - \frac{M_{t1}^*}{\alpha GJ_t} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.1-06})$$

Com os valores das constantes dados por (III.1-06), com a equação (III.1-04) e lembrando-se que

$$\left. \begin{aligned} B_z^* &= EJ_\omega \phi_z^{*''} \\ M_{tz}^* &= GJ_t \phi_z^{*' } - EJ_\omega \phi_z^{*'''} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.1-07})$$

tem-se

$$\phi_z^* = \phi_1^* + \frac{\phi_1^{*'}}{\alpha} \operatorname{senh}\alpha z + \frac{B_1^*}{GJ_t} (\operatorname{cosh}\alpha z - 1) + \frac{M_{t1}^*}{\alpha GJ_t} (\alpha z - \operatorname{senh}\alpha z) \quad (\text{III.1-08})$$

$$\phi_z^{*'} = \phi_1^{*'} \operatorname{cosh}\alpha z + \frac{B_1^*}{GJ_t} \alpha \operatorname{senh}\alpha z + \frac{M_{t1}^*}{GJ_t} (1 - \operatorname{cosh}\alpha z) \quad (\text{III.1-09})$$

$$B_z^* = \frac{\phi_1^{*'} GJ_t \operatorname{senh}\alpha z}{\alpha} + B_1^* \operatorname{cosh}\alpha z - \frac{M_{t1}^* \operatorname{senh}\alpha z}{\alpha} \quad (\text{III.1-10})$$

$$M_{tz}^* = M_{t1}^* \quad (\text{III.1-11})$$

As equações (III.1-08) a (III.1-11) podem ser representadas matricialmente, ao longo de toda a altura do elemento de pilar, como

$$\begin{Bmatrix} \phi_z^* \\ \phi_z^{*'} \\ B_z^* \\ M_{tz}^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\operatorname{senh}\alpha z}{\alpha} & \frac{\operatorname{cosh}\alpha z - 1}{GJ_t} & \frac{\alpha z - \operatorname{senh}\alpha z}{\alpha GJ_t} \\ 0 & \operatorname{cosh}\alpha z & \frac{\alpha \operatorname{senh}\alpha z}{GJ_t} & \frac{1 - \operatorname{cosh}\alpha z}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t \operatorname{senh}\alpha z}{\alpha} & \operatorname{cosh}\alpha z & -\frac{\operatorname{senh}\alpha z}{\alpha} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1^* \\ \phi_1^{*'} \\ B_1^* \\ M_{t1}^* \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-12})$$

Os valores de ϕ_z^* , $\phi_z^{*'}$, B_z^* e M_{tz}^* , determinados de (III.1-12) para z igual a h , extremidade 2 do elemento de pilar, e indicados respectivamente por ϕ_2^* , $\phi_2^{*'}$, B_2^* e M_{t2}^* , são

$$\begin{Bmatrix} \phi_2^* \\ \phi_2^{*'} \\ B_2^* \\ M_{t2}^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{Sh}{\alpha} & \frac{Ch-1}{GJ_t} & \frac{\alpha h - Sh}{\alpha GJ_t} \\ 0 & Ch & \frac{\alpha Sh}{GJ_t} & \frac{1 - Ch}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t Sh}{\alpha} & Ch & -\frac{Sh}{\alpha} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1^* \\ \phi_1^{*'} \\ B_1^* \\ M_{t1}^* \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-13})$$

onde Ch e Sh são os valores de $\cosh \alpha z$ e $\sinh \alpha z$ calculados para z igual a h .

Antes de se calcular a contribuição para a matriz de rigidez dos termos de torção, devem ser efetuadas algumas mudanças de sinais na equação (III.1-13), tendo em vista a convenção de sinais e esforços positivos usados pela teoria de flexo-torção e aquela utilizada neste capítulo. Assim, comparando-se a convenção dos momentos torçores e bimomentos positivos das figuras (III.1-02) e (III.1-03), tem-se que

$$\left. \begin{aligned} M_{t1} &= M_{t1}^* \\ B_1 &= B_1^* \\ M_{t2} &= -M_{t2}^* \\ B_2 &= -B_2^* \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-14)}$$

Além disso, a convenção para rotação e sua primeira derivada utilizada na teoria de flexo-torção, conforme *apêndice A*, é oposta à utilizada por este processo, o que conduz a

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= -\phi_1^* \\ \phi_2 &= -\phi_2^* \\ \phi_1' &= -\phi_1^{*'} \\ \phi_2' &= -\phi_2^{*'} \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-15)}$$

Combinando-se as equações (III.1-13) a (III.1-15), têm-se os deslocamentos e esforços na extremidade 2 do elemento de pilar, em função dos valores na extremidade 1, na convenção usada na figura (III.1-02) ou convenção da análise matricial, como

$$\left\{ \begin{array}{c} -\phi_2 \\ -\phi_2' \\ -B_2 \\ -M_{t2} \end{array} \right\} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{Sh}{\alpha} & \frac{Ch-1}{GJ_t} & \frac{\alpha h - Sh}{\alpha GJ_t} \\ 0 & Ch & \frac{\alpha Sh}{GJ_t} & \frac{1-Ch}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t Sh}{\alpha} & Ch & -\frac{Sh}{\alpha} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{c} -\phi_1 \\ -\phi_1' \\ B_1 \\ M_{t1} \end{array} \right\} \quad \text{(III.1-16)}$$

III-10

A contribuição para a matriz de rigidez dos termos de torção é obtida fazendo-se cada um dos deslocamentos ϕ_1 , ϕ_1' , ϕ_2 e ϕ_2' assumirem sucessivamente valores unitários com todos os outros impedidos e determinando-se os esforços B_1 , M_{t1} , B_2 e M_{t2} necessários aos estados de deslocamentos impostos. Para exemplificar, determinam-se os esforços necessários à imposição de um estado de deslocamentos com ϕ_1 unitário e todos os outros impedidos. Com isto, da equação (III.1-16) tem-se

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -1 + B_1 \left(\frac{Ch-1}{GJ_t} \right) + M_{t1} \left(\frac{\alpha h - Sh}{\alpha GJ_t} \right) \\ 0 &= B_1 \left(\frac{\alpha Sh}{GJ_t} \right) + M_{t1} \left(\frac{1-Ch}{GJ_t} \right) \\ -B_2 &= B_1 Ch - M_{t1} \frac{Sh}{\alpha} \\ -M_{t2} &= M_{t1} \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-17)}$$

Resolvendo-se o sistema de equações dado por (III.1-17), tem-se

$$\left. \begin{aligned} M_{t1} &= \gamma \alpha Sh \\ M_{t2} &= -\gamma \alpha Sh \\ B_1 &= \gamma (Ch - 1) \\ B_2 &= \gamma (Ch - 1) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-18)}$$

onde

$$\gamma = \frac{GJ_t}{2 - 2Ch + \alpha h Sh} \quad \text{(III.1-19)}$$

Os valores dados por (III.1-18) pertencerão à primeira coluna da matriz $[S_{PT}]$, que representa a contribuição dos termos de torção para a matriz de rigidez de um elemento de pilar.

Calculando-se os esforços necessários à imposição dos outros estados de deslocamentos, com raciocínio análogo ao anterior, tem-se

III-11

$$\left[S_{PT} \right] = \gamma \left[\begin{array}{cc|cc} \alpha Sh & Ch-1 & -\alpha Sh & Ch-1 \\ Ch-1 & h Ch - \frac{Sh}{\alpha} & -(Ch-1) & \frac{Sh}{\alpha} - h \\ \hline -\alpha Sh & -(Ch-1) & \alpha Sh & -(Ch-1) \\ Ch-1 & \frac{Sh}{\alpha} - h & -(Ch-1) & h Ch - \frac{Sh}{\alpha} \end{array} \right] \quad (III.1-20)$$

Convém discutir-se também o caso das paredes de secção aberta que possuam momento de inércia setorial nulo, como os pilares (2) e (3) da figura (III.1-01). Paredes de secção aberta com esta particularidade serão submetidas à torção sem empenamento da secção transversal, ou seja, para cargas concentradas ao nível dos pisos, esta torção será uma torção livre governada, de acordo com a convenção mostrada no *apêndice A*, pela equação

$$M_{tz}^* = G J_t \phi_z^{*'} \quad (III.1-21)$$

Como se sabe, na torção livre a derivada do ângulo de giro é constante ao longo do eixo z , o que permite escrever

$$\left. \begin{array}{l} \phi_z^{*'} = C_1 \\ \text{ou} \\ \phi_z^* = C_1 z + C_2 \end{array} \right\} \quad (III.1-22)$$

onde C_1 e C_2 são constantes determinadas a partir das condições de contorno, que, para a extremidade 1 do elemento de pilar, são dadas por

$$\left. \begin{array}{l} \phi_0^* = \phi_1^* \\ G J_t \phi_0^{*'} = M_{t1}^* \end{array} \right\} \quad (III.1-23)$$

Combinando-se as equações (III.1-22) e (III.1-23), chega-se a

$$\left. \begin{array}{l} C_2 = \phi_1^* \\ C_1 = \frac{M_{t1}^*}{G J_t} \end{array} \right\} \quad (III.1-24)$$

III-12

Substituindo-se as constantes C_1 e C_2 em (III.1-23), pode-se escrever o momento torçor e a rotação em torno do eixo z na extremidade 2 do elemento de pilar como

$$\begin{Bmatrix} \phi_2^* \\ M_{t2}^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{h}{GJ_t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1^* \\ M_{t1}^* \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-25})$$

De acordo com o mostrado nas equações (III.1-14) e (III.1-15), tem-se

$$\left. \begin{aligned} M_{t1} &= M_{t1}^* \\ M_{t2} &= -M_{t2}^* \\ \phi_1 &= -\phi_1^* \\ \phi_2 &= -\phi_2^* \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.1-26})$$

Das equações (III.1-25) e (III.1-26), obtêm-se os deslocamentos e esforços na extremidade 2 do elemento de pilar, em função dos valores na extremidade 1, na convenção usada na figura (III.1-02), ou *convenção da análise matricial*, como

$$\begin{Bmatrix} -\phi_2 \\ -M_{t2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{h}{GJ_t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\phi_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-27})$$

A contribuição para a matriz de rigidez dos termos de torção, para um elemento de pilar com J_ω nulo, é obtida fazendo-se cada uma das rotações ϕ_1 e ϕ_2 assumirem sucessivamente valores unitários com todos os outros deslocamentos impedidos, e determinando-se os valores de M_{t1} e M_{t2} necessários aos estados de deslocamentos impostos. Lembrando-se que na torção livre não existem bimomentos e calculando-se os esforços necessários à imposição dos dois estados de deslocamentos de (III.1-27), tem-se a matriz $[S_{PT}]$ para um elemento de parede de secção aberta com *momento de inércia setorial nulo*, dada por

$$[S_{PT}] = \frac{GJ_t}{h} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-28)}$$

III.1.2.2 - Contribuição para a matriz de rigidez dos termos de flexão

A contribuição dos termos de flexão à matriz de rigidez do elemento de pilar é obtida como para qualquer membro prismático, lembrando-se que, como o centro de gravidade não coincide com o centro de cisalhamento, deve-se, após determinar-se a matriz de rigidez com relação a um sistema de eixos no centro de gravidade, efetuar uma mudança conveniente para referi-las aos eixos no centro de cisalhamento.

A matriz de rigidez dos termos de flexão, $[S_{PF}]_{cg}$, para um elemento de pilar com um sistema de eixos paralelos aos definidos na figura (III.1-02) e com origem no centro de gravidade, pode ser escrita da seguinte maneira:

$$[S_{PF}]_{cg} = \begin{bmatrix} [S_{PF11}]_{cg} & [S_{PF12}]_{cg} \\ [S_{PF21}]_{cg} & [S_{PF22}]_{cg} \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-29)}$$

onde as submatrizes são obtidas diretamente de WEAVER e GERE⁽¹²⁾ como

$$[S_{PF11}]_{cg} = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} \\ \frac{12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 \\ \frac{EA}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_x}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_y}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-30)}$$

simétrica

$$[S_{PF12}]_{cg} = \begin{bmatrix} \frac{-12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} \\ 0 & \frac{-12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-EA}{h} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EJ_x}{h^2} & 0 & \frac{2EJ_x}{h} & 0 \\ \frac{-6EJ_y}{h^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EJ_y}{h} \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-31})$$

onde J_x e J_y são os momentos principais de inércia, A a área da secção transversal e $[S_{PF22}]_{cg}$ é igual à $[S_{PF11}]_{cg}$ a menos dos elementos (1,5), (5,1), (2,4) e (4,2) que trocam de sinais, e $[S_{PF21}]_{cg}$ é igual a transposta de $[S_{PF12}]_{cg}$.

Da hipótese da secção transversal do pilar ser indeformável no seu plano, o centro de gravidade e o centro de cisalhamento não apresentam deslocamentos relativos no plano da secção. Na figura (III.1-04) apresentam-se dois sistemas de eixos paralelos, um com origem no centro de cisalhamento e outro no centro de gravidade de coordenadas (x_g, y_g) com relação ao primeiro.

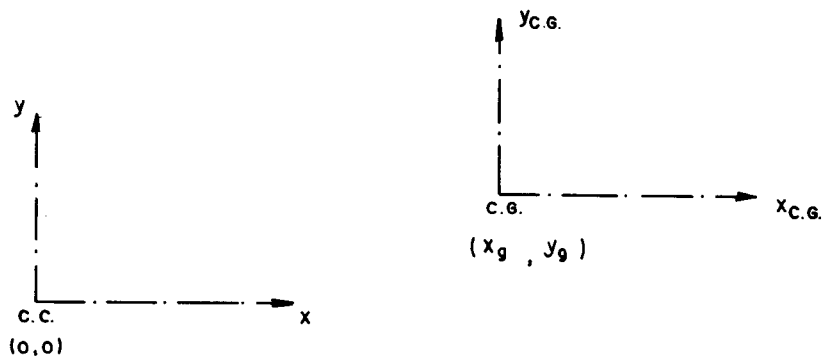


FIG. III.1- 04- SISTEMAS DE EIXOS COORDENADOS

É possível relacionarem-se as componentes de deslocamentos nos dois sistemas de eixos coordenados, definidos anteriormente, como

$$\{D\}_{cg} = [\bar{T}] \{D\}_{cc} \quad (\text{III.1-32})$$

onde $\{D\}_{cg}$ e $\{D\}_{cc}$ são, respectivamente, as componentes de deslocamen

tos para um sistema de eixos com origem no centro de gravidade e para um sistema de eixos no centro de cisalhamento, dadas para uma cota z como

$$\{D\}_{cg} = \begin{Bmatrix} \delta_{xcg} \\ \delta_{ycg} \\ \delta_{zcg} \\ \theta_{xcg} \\ \theta_{ycg} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-33})$$

$$\{D\}_{cc} = \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-34})$$

A matriz $[\bar{T}]$ é dada por

$$[\bar{T}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & y_g & -x_g \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-35})$$

A partir de (III.1-32) tem-se que

$$[S_{PF}]_{cc} = [T]^t [S_{PF}]_{cg} [T] \quad (\text{III.1-36})$$

onde $[S_{PF}]_{cc}$ é a matriz de rigidez dos termos de flexão para um elemento de pilar com um sistema de eixos, conforme o da figura (III.1-02), e $[T]^t$ é a transposta da matriz transformação $[T]$, definida como

$$[T] = \left[\begin{array}{c|c} [\bar{T}] & [0] \\ \hline [0] & [\bar{T}] \end{array} \right] \quad (\text{III.1-37})$$

A matriz $[S_{PF}]_{cc}$ pode ser particionada em

$$[S_{PF}]_{cc} = \left[\begin{array}{c|c} [S_{PF11}]_{cc} & [S_{PF12}]_{cc} \\ \hline [S_{PF21}]_{cc} & [S_{PF22}]_{cc} \end{array} \right] \quad (\text{III.1-38})$$

onde as submatrizes são obtidas da equação (III.1-36) combinada com as equações (III.1-29), (III.1-30), (III.1-31), (III.1-35) e (III.1-37), por

$$[S_{PF11}]_{cc} = \left[\begin{array}{ccccc} \frac{12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} \\ \frac{12EJ_x}{h^3} & 0 & -\frac{6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 \\ \frac{EA}{h} & \frac{EA}{h} y_g & -\frac{EA}{h} x_g & & \\ \frac{4EJ_x}{h} + \frac{EA}{h} y_g^2 & -\frac{EA}{h} x_g y_g & & & \\ \frac{4EJ_y}{h} + \frac{EA}{h} x_g^2 & & & & \end{array} \right] \quad (\text{III.1-39})$$

simétrica

$$[S_{PF12}]_{cc} = \left[\begin{array}{ccccc} -\frac{12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} \\ 0 & -\frac{12EJ_x}{h^3} & 0 & -\frac{6EJ_x}{h^2} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{h} & -\frac{EA}{h} y_g & \frac{EA}{h} x_g \\ 0 & \frac{6EJ_x}{h^2} & -\frac{EA}{h} y_g & \frac{2EJ_x}{h} - \frac{EA}{h} y_g^2 & \frac{EA}{h} x_g y_g \\ -\frac{6EJ_y}{h^2} & 0 & \frac{EA}{h} x_g & \frac{EA}{h} x_g y_g & \frac{2EJ_y}{h} - \frac{EA}{h} x_g^2 \end{array} \right] \quad (\text{III.1-40})$$

$[S_{PF22}]_{cc}$ é igual a $[S_{PF11}]_{cc}$, exceto os elementos (1,5), (5,1), (2,4) e (4,2), que trocam de sinais, e $[S_{PF21}]_{cc}$ é igual à transposta de $[S_{PF12}]_{cc}$.

III.1.2.3 - Matrizes de rigidez das paredes de secção aberta

A matriz de rigidez para um elemento de pilar com relação ao sistema local de coordenadas mostrado na figura (III.1-02) é obtida por uma superposição das contribuições calculadas nos itens (III.1.2.1) e (III.1.2.2). Denominando-se esta matriz por $[S_P]$ e representando-a, na forma particionada, por

$$[S_P] = \begin{bmatrix} [S_{P11}] & [S_{P12}] \\ [S_{P21}] & [S_{P22}] \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-41})$$

pode-se escrever, para um elemento de pilar, das equações (III.1-01) e (III.1-02), que

$$\begin{Bmatrix} \{F_1\} \\ \{F_2\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [S_{P11}] & [S_{P12}] \\ [S_{P21}] & [S_{P22}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D_1\} \\ \{D_2\} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-42})$$

onde $\{F_1\}$ e $\{F_2\}$ são os vetores de cargas aplicadas no centro de cisalhamento do elemento de pilar, respectivamente nas extremidades 1 e 2, e $\{D_1\}$ e $\{D_2\}$ os correspondentes vetores deslocamentos.

As submatrizes da equação (III.1-41) são dadas, para um elemento de parede de secção aberta com o momento de inércia setorial não nulo, pela superposição dos resultados da equação (III.1-20) com (III.1-39) e (III.1-40), como

$$\left[S_{P11} \right] = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h} & 0 & 0 \\ \frac{12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{EA}{h} & \frac{EA}{h} y_g & \frac{-EA}{h} x_g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_x}{h} + \frac{EA}{h} y_g^2 & \frac{-EA}{h} x_g y_g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_y}{h} + \frac{EA}{h} x_g^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{simétrica} & & & & & \gamma \alpha S h & \gamma (Ch - 1) \\ & & & & & \gamma (hCh - \frac{Sh}{\alpha}) & \end{bmatrix} \quad (III.1-43)$$

$$\left[S_{P12} \right] = \begin{bmatrix} \frac{-12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-EA}{h} & \frac{-EA}{h} y_g & \frac{EA}{h} x_g & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EJ_x}{h^2} & \frac{-EA}{h} y_g & \frac{2EJ_x}{h} - \frac{EA}{h} y_g^2 & \frac{EA}{h} x_g y_g & 0 & 0 \\ \frac{-6EJ_y}{h^2} & 0 & \frac{EA}{h} x_g & \frac{EA}{h} x_g y_g & \frac{2EJ_y}{h} - \frac{EA}{h} x_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\gamma \alpha S h & \gamma (Ch-1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\gamma (Ch-1) & \gamma (\frac{Sh}{\alpha} - h) \end{bmatrix} \quad (III.1-44)$$

$[S_{P22}]$ é igual a $[S_{P11}]$, exceto os elementos (1,5), (2,4), (6,7) e seus simétricos que trocam de sinais, e $[S_{P21}]$ é igual à transposta de $[S_{P12}]$.

Para um elemento de parede de secção aberta com o momento de inércia setorial nulo, as submatrizes obtidas pela combinação da equação (III.1-28) com (III.1-39) e (III.1-40) são dadas por

$$\left[S_{P11} \right] = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h} & 0 & 0 \\ \frac{12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{EA}{h} & \frac{EA}{h} y_g & \frac{-EA}{h} x_g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_x}{h} + \frac{EA}{h} y_g^2 & \frac{-EA}{h} x_g y_g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{4EJ_y}{h} + \frac{EA}{h} x_g^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{GJ_t}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-45)}$$

simétrica

$$\left[S_{P12} \right] = \begin{bmatrix} \frac{-12EJ_y}{h^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_y}{h^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EJ_x}{h^3} & 0 & \frac{-6EJ_x}{h^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-EA}{h} & \frac{-EA}{h} y_g & \frac{EA}{h} x_g & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EJ_x}{h^2} & \frac{-EA}{h} y_g & \frac{2EJ_x}{h} - \frac{EA}{h} y_g^2 & \frac{EA}{h} x_g y_g & 0 & 0 \\ \frac{-6EJ_y}{h^2} & 0 & \frac{EA}{h} x_g & \frac{EA}{h} x_g y_g & \frac{2EJ_y}{h} - \frac{EA}{h} x_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-GJ_t}{h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-46)}$$

$[S_{P22}]$ é igual a $[S_{P11}]$, exceto os elementos (1,5), (2,4) e seus simétricos que trocam de sinais, e $[S_{P21}]$ é igual à transposta de $[S_{P12}]$.

Deve-se notar que as submatrizes $[S_{P11}]$ dadas pelas equações (III.1-43) e (III.1-45), respectivamente para um elemento de parede de secção aberta com o momento de inércia setorial não nulo e nulo, diferem apenas nos elementos (6,6), (6,7), (7,6) e (7,7), o que também acontece com $[S_{P12}]$ dada em cada caso por (III.1-44) e (III.1-46).

Como as paredes de secção aberta são combinadas para formarem uma estrutura para a qual define-se um sistema global de coordenadas, chamado *sistema de eixos da estrutura*, é conveniente expressar-se a matriz de rigidez $[S_P]$ em relação a esse sistema; mesmo que a estrutura seja formada por uma única parede de secção aberta, ainda é conveniente esta mudança de eixos, porque os carregamentos e deslocamentos são especificados mais facilmente em função de um sistema global do que em função de um sistema local, com os eixos x e y paralelos aos eixos principais de inércia. Como em ambos os sistemas os eixos z são paralelos, a transformação da matriz de rigidez do pilar, referida aos eixos locais para os eixos da estrutura, é obtida por uma rotação dos eixos locais x e y , para que os mesmos fiquem paralelos aos eixos globais x_S e y_S . Então

$$[S_{PS}] = [T_{PS}]^t [S_P] [T_{PS}] \quad (\text{III.1-47})$$

onde $[S_{PS}]$ é a matriz de rigidez do elemento de pilar com relação aos eixos da estrutura e $[T_{PS}]$ é a matriz de transformação à rotação, dada por

$$[T_{PS}] = \left[\begin{array}{c|c} [\bar{T}_{PS}] & [0] \\ \hline [0] & [\bar{T}_{PS}] \end{array} \right] \quad (\text{III.1-48})$$

onde $[\bar{T}_{PS}]$ é a matriz de rotação dos eixos obtida como

$$[\bar{T}_{PS}] = \begin{bmatrix} \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-49})$$

β é o ângulo entre os eixos x e x_S , conforme figura (III.1-05) e $[T_{PS}]^t$ é a transposta de $[T_{PS}]$.

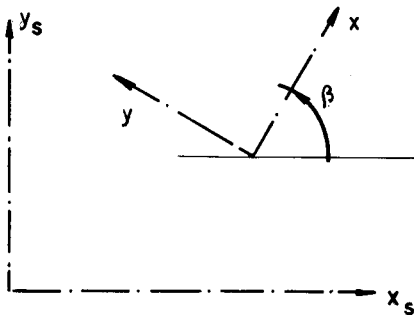


FIG. III.1-05 - ÂNGULO ENTRE OS EIXOS LOCAIS E GLOBAIS

III.1.3 - Obtenção das matrizes de rigidez dos lintéis

Além das paredes de secção aberta, outros elementos a serem considerados na estrutura são os lintéis, usados para conectar duas paredes, sejam elas pertencentes a uma mesma parede de secção aberta ou não. Com isto, após a obtenção das matrizes de rigidez dos lintéis, elas devem ser convenientemente modificadas, tendo em vista estas conexões. Como as secções transversais dos pilares são, por hipótese, indeformáveis nos seus planos, as conexões das extremidades dos lintéis aos centros de cisalhamento das paredes são consideradas rígidas.

A matriz de rigidez de um lintel genérico, $[S_L]$, com relação a um sistema local de coordenadas, com x_L e y_L eixos principais de inércia, conforme figura (III.1-06), pode ser particionada em

$$[S_L] = \begin{bmatrix} [S_{L11}] & [S_{L12}] \\ [S_{L21}] & [S_{L22}] \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-50})$$

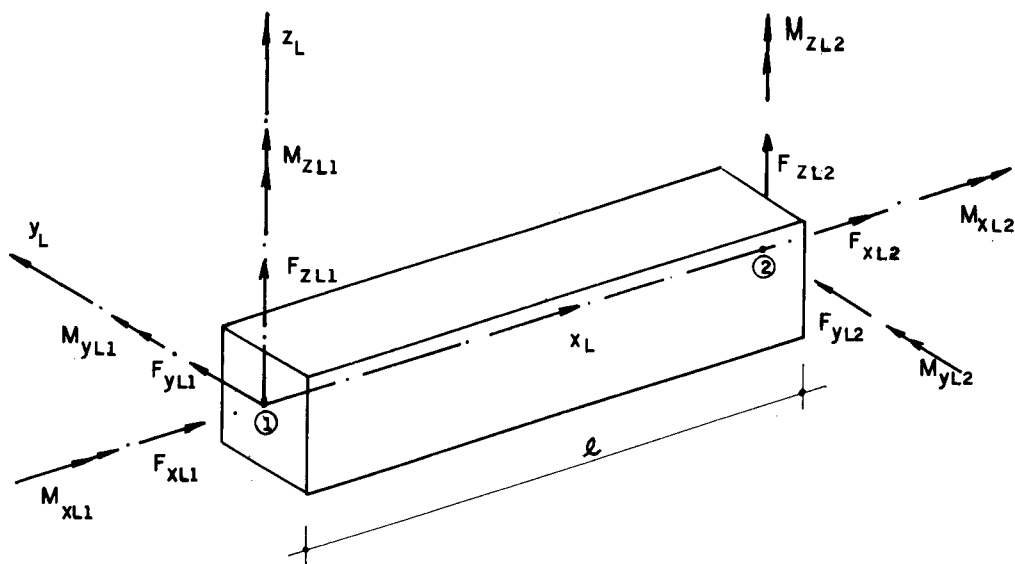


FIG. III.1-06-CONVENÇÃO DE ESFORÇOS POSITIVOS NOS LINTÉIS

As submatrizes de $[S_L]$ são obtidas diretamente da matriz de rigidez de um membro espacial, de WEAVER e GERE⁽¹²⁾, como

$$[S_{L11}] = \begin{bmatrix} \frac{EA_L}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ_{zL}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_{zL}}{l^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EJ_{yL}}{l^3} & 0 & \frac{-6EJ_{yL}}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ_{tL}}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EJ_{yL}}{l} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EJ_{zL}}{l} \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-51)}$$

simétrica

$$[S_{L12}] = \begin{bmatrix} \frac{-EA_L}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EJ_{zL}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EJ_{zL}}{l^2} \\ 0 & 0 & \frac{-12EJ_{yL}}{l^3} & 0 & \frac{-6EJ_{yL}}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-GJ_{tL}}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EJ_{yL}}{l^2} & 0 & \frac{2EJ_{yL}}{l} & 0 \\ 0 & \frac{-6EJ_{zL}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EJ_{zL}}{l} \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-52})$$

onde E é o módulo de elasticidade; G é o módulo de elasticidade transversal; J_{yL} e J_{zL} são os momentos de inércia do lintel com relação aos eixos y_L e z_L ; J_{tL} o momento de inércia à torção; e A_L a área da sua secção transversal. A submatriz $[S_{L22}]$ é igual a $[S_{L11}]$ menos os elementos (2,6), (3,5) e seus simétricos, que trocam de sinais, e $[S_{L21}]$ é a transposta de $[S_{L12}]$.

Na figura (III.1-07) apresenta-se o caso de um lintel ligando duas paredes de pilares diferentes. As coordenadas dos centros de cisalhamentos das paredes de secção aberta A e B , e as das extremidades dos lintéis, são referidas ao sistema global ($Ox_S y_S z_S$).

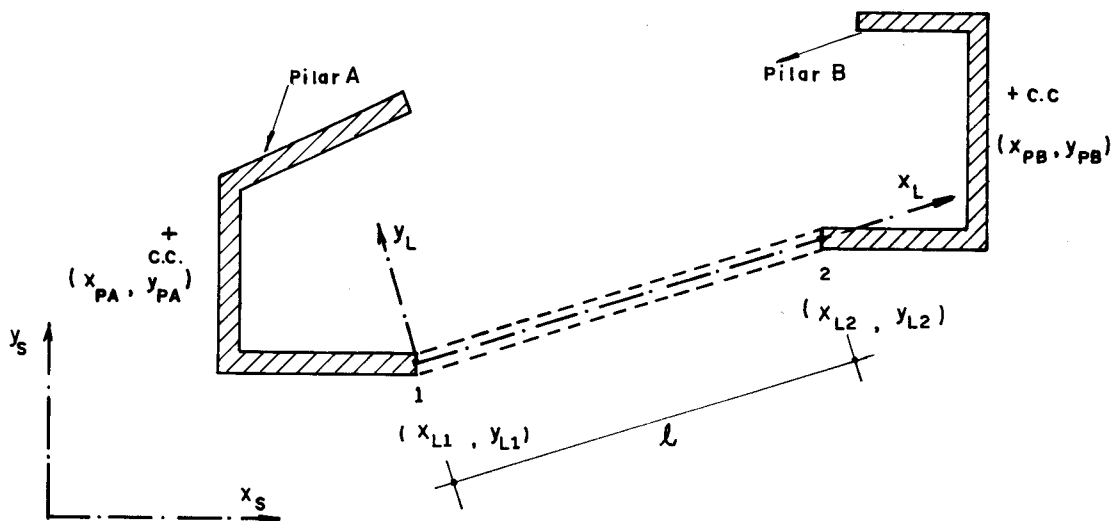


FIG. III.1-07- CONTRAVENTAMENTO DE DOIS PILARES POR LINTÉIS

A matriz de rigidez do lintel para um sistema de eixos paralelos aos da estrutura é obtida por uma rotação dos eixos x_L e y_L como

$$[\bar{S}_L] = [T_L]^t [S_L][T_L] \quad (\text{III.1-53})$$

onde $[\bar{S}_L]$ é a matriz de rigidez de um lintel genérico referida a um sistema de eixos com origem na extremidade inicial do mesmo e paralelos aos eixos da estrutura, $[T_L]^t$ é a transposta da matriz de transformação à rotação $[T_L]$, dada por

$$[T_L] = \begin{bmatrix} [\bar{T}_L] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [\bar{T}_L] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [\bar{T}_L] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [\bar{T}_L] \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-54})$$

onde $[\bar{T}_L]$ é a matriz de rotação, ou

$$[\bar{T}_L] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_L & \text{sen } \alpha_L & 0 \\ -\text{sen } \alpha_L & \cos \alpha_L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-55})$$

onde α_L é o ângulo formado entre os eixos x_L e x_S . A equação (III.1-55) pode ser escrita em função das coordenadas das extremidades do lintel e de seu comprimento como

$$[\bar{T}_L] = \begin{bmatrix} \frac{x_{L2} - x_{L1}}{l} & \frac{y_{L2} - y_{L1}}{l} & 0 \\ -\left(\frac{y_{L2} - y_{L1}}{l}\right) & \frac{x_{L2} - x_{L1}}{l} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-56})$$

Obtida a matriz de rigidez de um lintel genérico para um sistema de eixos paralelos ao da estrutura, passa-se à determinação da mesma em coordenadas globais, compatível com as matrizes de rigidez

dos pilares referidas aos eixos da estrutura. Para isso escrevem-se a seguir os deslocamentos das extremidades 1 e 2 do lintel em função dos deslocamentos dos centros de cisalhamentos dos pilares aos quais estes pertencem. Designar-se-ão os vetores deslocamentos dos centros de cisalhamentos dos pilares A e B, respectivamente, por $\{D_{PA}\}$ e $\{D_{PB}\}$, onde

$$\{D_{PA}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xPA} \\ \delta_{yPA} \\ \delta_{zPA} \\ \theta_{xPA} \\ \theta_{yPA} \\ \phi_{PA} \\ \phi'_{PA} \end{Bmatrix} ; \quad \{D_{PB}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xPB} \\ \delta_{yPB} \\ \delta_{zPB} \\ \theta_{xPB} \\ \theta_{yPB} \\ \phi_{PB} \\ \phi'_{PB} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-57})$$

Os vetores deslocamentos dos pontos 1 e 2 serão designados por $\{D_{L1}\}$ e $\{D_{L2}\}$ e definidos como

$$\{D_{L1}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xL1} \\ \delta_{yL1} \\ \delta_{zL1} \\ \theta_{xL1} \\ \theta_{yL1} \\ \phi_{L1} \end{Bmatrix} ; \quad \{D_{L2}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xL2} \\ \delta_{yL2} \\ \delta_{zL2} \\ \theta_{xL2} \\ \theta_{yL2} \\ \phi_{L2} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-58})$$

Na figura (III.1-08) apresentam-se os sentidos positivos dos deslocamentos dos centros de cisalhamentos dos pilares A e B e dos pontos 1 e 2. Deve-se observar que os deslocamentos são paralelos aos eixos da estrutura e positivos quando concordantes com os sentidos positivos (deslocamentos lineares) ou com os sentidos dos parafusos direitos (rotações) dos respectivos eixos.

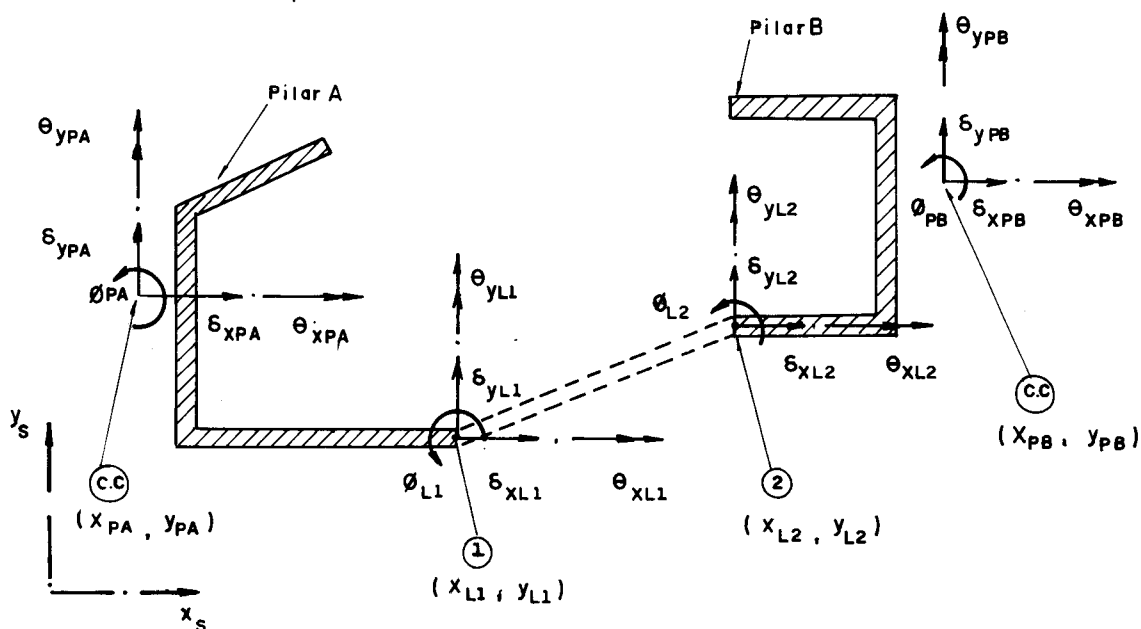


FIG. III.1-08 - CONVENÇÃO PARA DESLOCAMENTOS POSITIVOS

O vetor deslocamento $\{D_{L1}\}$ em função de $\{D_{PA}\}$ e o vetor $\{D_{L2}\}$ em função de $\{D_{PB}\}$ são obtidos por

$$\left. \begin{aligned} \{D_{L1}\} &= [R_{L1}] \{D_{PA}\} \\ \{D_{L2}\} &= [R_{L2}] \{D_{PB}\} \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-59)}$$

onde $[R_{L1}]$ e $[R_{L2}]$ são determinadas com a hipótese de as secções transversais dos pilares serem indeformáveis nos seus planos, o que implica movimento de corpo rígido entre o centro de cisalhamento do pilar A e o ponto 1, e entre o centro de cisalhamento do pilar B e o ponto 2. Como exemplo faz-se a determinação de $[R_{L1}]$, impondo-se todos os deslocamentos possíveis no centro de cisalhamento do pilar A e calculando-se os deslocamentos correspondentes em 1. Assim, para os deslocamentos δ_{xPA} , δ_{yPA} e δ_{zPA} , correspondem respectivamente

$$\left. \begin{aligned} \delta_{xL1} &= \delta_{xPA} \\ \delta_{yL1} &= \delta_{yPA} \\ \delta_{zL1} &= \delta_{zPA} \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-60)}$$

A uma rotação ϕ_{xPA} corresponde uma rotação de mesmo módulo e sinal

no ponto 1, além de um deslocamento na direção z , dadas por

$$\left. \begin{aligned} \theta_{xL1} &= \theta_{xPA} \\ \delta_{zL1} &= \theta_{xPA} (y_{L1} - y_{PA}) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-61)}$$

A rotação θ_{yPA} , de maneira análoga à anterior, tem-se

$$\left. \begin{aligned} \theta_{yL1} &= \theta_{yPA} \\ \delta_{zL1} &= \theta_{yPA} (x_{PA} - x_{L1}) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-62)}$$

A uma rotação ϕ_{PA} correspondem

$$\phi_{L1} = \phi_{PA} \quad \text{(III.1-63)}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{xL1} &= \phi_{PA} (y_{PA} - y_{L1}) \\ \delta_{yL1} &= \phi_{PA} (x_{L1} - x_{PA}) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-64)}$$

Com a derivada primeira do ângulo de giro, de sentido contrário ao da teoria de flexo-torção apresentada no apêndice A, tem-se

$$\delta_{zL1} = -\omega_1 \phi'_{PA} \quad \text{(III.1-65)}$$

onde ω_1 é a área setorial do ponto 1. Derivando-se as equações (III.1-64) em relação a z e lembrando-se que

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(\delta_{xL1})}{dz} &= \theta_{yL1} \\ \frac{d(\delta_{yL1})}{dz} &= -\theta_{xL1} \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-66)}$$

tem-se que a ϕ'_{PA} correspondem ainda

$$\left. \begin{aligned} \theta_{xL1} &= \phi'_{PA} (x_{PA} - x_{L1}) \\ \theta_{yL1} &= \phi'_{PA} (y_{PA} - y_{L1}) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.1-67)}$$

Combinando-se as equações (III.1-60) a (III.1-65) e (III.1-67), tem-se

$$\left[R_{L1} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & (y_{PA} - y_{L1}) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & (x_{L1} - x_{PA}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & (y_{L1} - y_{PA}) & (x_{PA} - x_{L1}) & 0 & -\omega_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & (x_{PA} - x_{L1}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & (y_{PA} - y_{L1}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-68)}$$

Desenvolvendo-se raciocínio análogo para $[R_{L2}]$, obtêm-se

$$\left[R_{L2} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & (y_{PB} - y_{L2}) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & (x_{L2} - x_{PB}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & (y_{L2} - y_{PB}) & (x_{PB} - x_{L2}) & 0 & -\omega_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & (x_{PB} - x_{L2}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & (y_{PB} - y_{L2}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(III.1-69)}$$

Os resultados das equações (III.1-53) e (III.1-59) podem ser combinados para escrever a matriz de rigidez de um lintel genérico em coordenadas da estrutura, compatível com as matrizes de rigidez das paredes de secção aberta contraventadas por este, $[S_{LS}]$, como

$$[S_{LS}] = [R_L]^t [T_L]^t [S_L] [T_L] [R_L] \quad \text{(III.1-70)}$$

onde $[R_L]^t$ é a transposta da matriz de compatibilidade de deslocamentos $[R_L]$ dada por

$$[R_L] = \left[\begin{array}{c|c} [R_{L1}] & [0] \\ \hline [0] & [R_{L2}] \end{array} \right] \quad (\text{III.1-71})$$

Para o caso especial de um lintel ligando duas paredes de uma mesma parede de secção aberta, somente os elementos de empenamento contribuem para a matriz de rigidez da estrutura, isto é, os elementos (7,7), (7,14), (14,7) e (14,14) da matriz $[S_{LS}]$.

A matriz de rigidez $[S_{LS}]$ será incorporada à matriz de rigidez do andar juntamente com as dos pilares A e B , como se mostra no item seguinte.

III.1-4 - Montagem das matrizes de rigidez dos andares

Uma seqüência interessante e conveniente no caso de se terem andares idênticos em uma estrutura, é inicialmente efetuar-se a montagem das matrizes de rigidez dos andares, $[S_A]$, a partir das matrizes de rigidez individuais dos elementos de paredes de secção aberta e lintéis, superpondo-se a seguir as matrizes de rigidez dos andares para formarem a matriz de rigidez de toda a estrutura. Como a matriz de rigidez de um elemento de pilar genérico possui 14 linhas e 14 colunas, a matriz de rigidez de um andar com N elementos de pilares será uma matriz quadrada de $14N \times 14N$.

Apresenta-se a seguir a montagem das matrizes de rigidez de dois andares, o primeiro com dois pilares contraventados por um lintel (vide lintéis 3, 4 e 5 da figura (III.1-01)) e o segundo com três pilares contraventados por dois lintéis, um ligando os pilares 1 e 3 (vide lintéis 3, 4 e 5 da figura (III.1-01)) e o outro ligando duas paredes, ambas pertencentes ao pilar 2 (vide lintéis 1 e 2 da figura (III.1-01)). Representar-se-á, respectivamente, a matriz de rigidez de um pilar genérico i e de um lintel genérico j , referidas ao sistema global, por

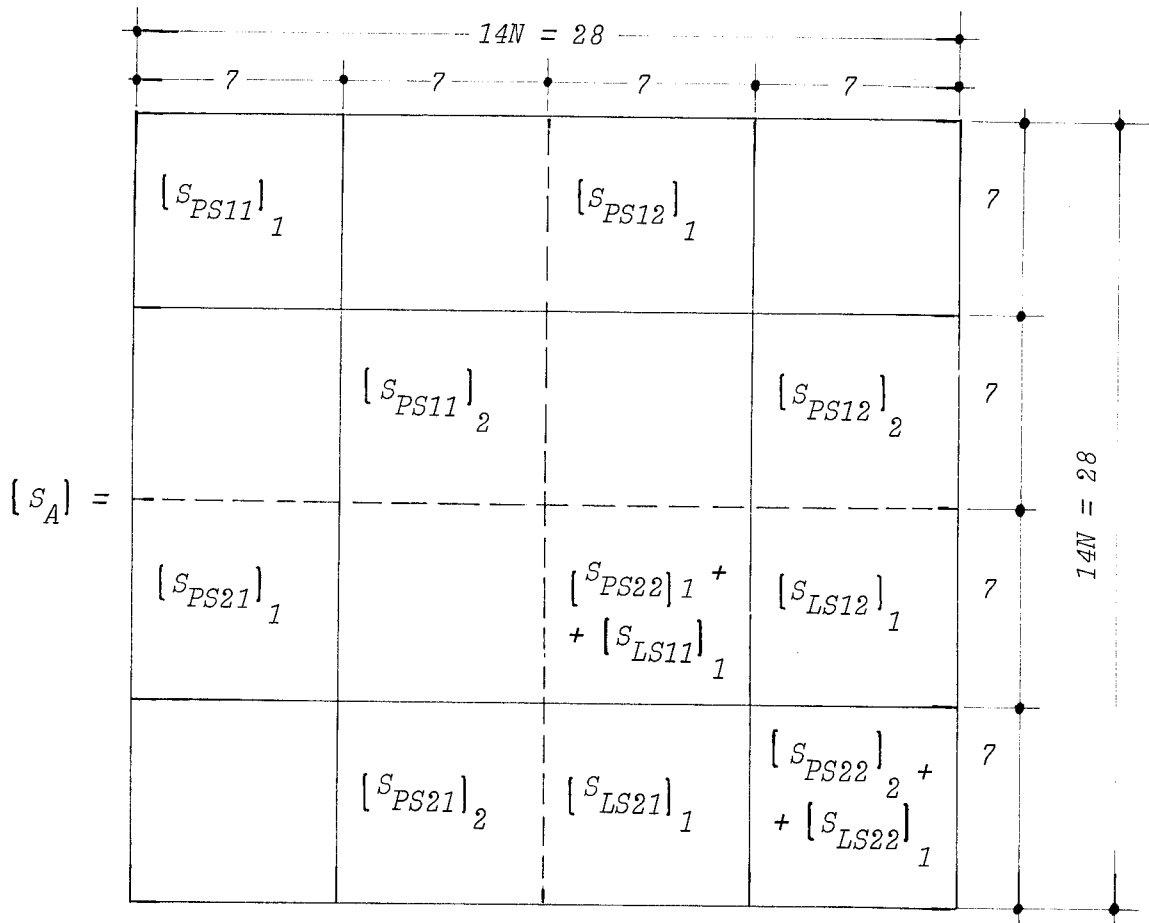
$$[S_{PS}]_i = \left[\begin{array}{c|c} [S_{PS11}]_i & [S_{PS12}]_i \\ \hline [S_{PS21}]_i & [S_{PS22}]_i \end{array} \right] \quad (\text{III.1-72})$$

e

$$[S_{LS}]_j = \begin{bmatrix} [S_{LS11}]_j & | & [S_{LS12}]_j \\ \hline [S_{LS21}]_j & | & [S_{LS22}]_j \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-73})$$

onde as matrizes $[S_{PS}]_i$ e $[S_{LS}]_j$ são obtidas das equações (III.1-47) e (III.1-70).

EXEMPLO 1 - Matriz de rigidez de um andar, $[S_A]$, formada por dois pilares contraventados por um lintel



Como o andar é o elemento estrutural formado por todos os pilares de dois pisos consecutivos e pelos lintéis localizados ao nível do piso superior, deve-se notar a incorporação da matriz de rigidez do único lintel existente no andar somente na parte correspondente aos deslocamentos do piso superior.

III-31

EXEMPLO 2 - Matriz de rigidez de um andar formado por três pilares contraventados por dois lintéis, um contraventando os pilares 1 e 3 e o outro contraventando internamente o pilar 2

42					
$[S_{PS11}]_1$			$[S_{PS12}]_1$		
	$[S_{PS11}]_2$			$[S_{PS12}]_2$	
		$[S_{PS11}]_3$			$[S_{PS12}]_3$
$[S_A] =$					
$[S_{PS21}]_1$			$[S_{PS22}]_1 + [S_{LS11}]_1$		$[S_{LS12}]_1$
	$[S_{PS21}]_2$			$[S_{PS22}]_2 + [S_{LS11}]_2 + [S_{LS12}]_2 + [S_{LS21}]_2 + [S_{LS22}]_2$	
		$[S_{PS21}]_3$	$[S_{LS21}]_1$		$[S_{PS22}]_3 + [S_{LS22}]_1$

As incorporações das matrizes de rigidez dos lintéis na do andar se deram, como se pode notar, na partição correspondente aos deslocamentos do topo do andar, devido à nomenclatura utilizada na análise.

Devido a presença das lajes, ao nível dos pisos, consideradas como diafragmas com rigidez infinita nos seus planos e completamente flexíveis fora destes, uma simplificação pode ser feita no processo de análise, consistindo em diminuir-se o número de deslocamentos por andar através de uma relação entre os deslocamentos dos centros de cisalhamentos nas extremidades dos elementos de pilares e os deslocamentos de um ponto da laje, escolhido como origem.

Designando-se por \bar{O}_z o ponto de intersecção do eixo z_s , do sistema global, com um diafragma genérico, o vetor deslocamento deste ponto será dado por

$$\{\delta_o\} = \begin{Bmatrix} \delta_{x_o} \\ \delta_{y_o} \\ \theta_{x_o} \\ \theta_{y_o} \\ \phi_o \\ \phi'_o \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-74})$$

É importante notar que o deslocamento δ_{z_o} não foi incluído em $\{\delta_o\}$, porque, sendo o diafragma flexível fora do seu plano os deslocamentos na direção z , são independentes de ponto para ponto.

O vetor deslocamento de qualquer ponto, em particular o centro de cisalhamento de um elemento de parede de secção aberta genérica i de coordenadas (x_{Pi}, y_{Pi}) , ao nível de um diafragma, pode ser escrito em função de $\{\delta_o\}$ como

$$\{\delta_{Pi}\} = [Q_{Pi}] \{\delta_o\} \quad (\text{III.1-75})$$

onde $\{\delta_{Pi}\}$ contém todos os deslocamentos que podem ser relacionados com $\{\delta_o\}$, ou seja

$$\{\delta_{Pi}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{xPi} \\ \delta_{yPi} \\ \theta_{xPi} \\ \theta_{yPi} \\ \phi_{Pi} \\ \phi'_{Pi} \end{Bmatrix} \quad (\text{III.1-76})$$

A matriz $[Q_{Pi}]$, chamada matriz de transformação, determinada de maneira análoga às matrizes $[R_{L1}]$ e $[R_{L2}]$ do item (III.1-3), é dada por

$$[Q_{Pi}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -y_{Pi} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_{Pi} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -x_{Pi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -y_{Pi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1-77})$$

Para um andar composto por N elementos de pilares, a relação entre os deslocamentos de todos os pilares com os de um diafragma genérico é dada por

$$\{\delta_P^*\} = [Q^*] \{\delta_S^*\} \quad (\text{III.1-78})$$

onde $\{\delta_P^*\}$ é composto pelos vetores $\{\delta_{Pi}\}$ de todos os pilares, mais os deslocamentos independentes na direção z , ou

$$\begin{matrix} \{\delta_P^*\} \\ \text{"(7N) x (1)"} \end{matrix} = \begin{matrix} \left\{ \begin{matrix} \{\delta_{P1}\} \\ \{\delta_{P2}\} \\ \vdots \\ \{\delta_{PN}\} \\ \{\delta_{zP}^*\} \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad (\text{III.1-79})$$

onde

$$\begin{matrix} \{\delta_{zP}^*\} \\ \text{"(N) x (1)"} \end{matrix} = \begin{matrix} \left\{ \begin{matrix} \delta_{zP1} \\ \delta_{zP2} \\ \vdots \\ \delta_{zPN} \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad (\text{III.1-80})$$

$$\begin{matrix} \{\delta_S^*\} \\ \text{"(N+6) x (1)"} \end{matrix} = \begin{matrix} \left\{ \begin{matrix} \{\delta_O\} \\ \{\delta_{zP}^*\} \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad (\text{III.1-81})$$

e

$$\begin{aligned}
 \{Q^*\} &= \left[\begin{array}{c|c} \{Q_{P1}\} & \\ \{Q_{P2}\} & [0]_1 \\ \vdots & \\ \{Q_{PN}\} & \\ \hline [0]_2 & [I] \end{array} \right] \quad \text{(III.1-82)} \\
 \text{"(7N) x (N+6)"} &
 \end{aligned}$$

Na equação anterior, $[0]_1$ é uma matriz com todos os elementos nulos de dimensão " $(6N) \times (N)$ ", $[0]_2$ é também uma matriz nula de ordem " $(N) \times (6)$ " e $[I]$ é a matriz identidade de ordem " $(N) \times (N)$ ".

Com a equação (III.1-78), pode-se escrever os deslocamentos nas duas extremidades dos pilares em um andar genérico, como

$$\{\delta_P\} = [Q] \{\delta_S\} \quad \text{(III.1-83)}$$

onde

$$\begin{aligned}
 \{\delta_P\} &= \left\{ \begin{array}{c} \{\delta_P^*\}_{base} \\ \hline \{\delta_P^*\}_{topo} \end{array} \right\} \quad \text{(III.1-84)} \\
 \text{"(14N) x (1)"} &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \{\delta_S\} &= \left\{ \begin{array}{c} \{\delta_S^*\}_{base} \\ \hline \{\delta_S^*\}_{topo} \end{array} \right\} \quad \text{(III.1-85)} \\
 \text{"(2N+12) x (1)"} &
 \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned}
 [Q] &= \left[\begin{array}{c|c} \{Q^*\}_{base} & [0] \\ \hline [0] & \{Q^*\}_{topo} \end{array} \right] \quad \text{(III.1-86)} \\
 \text{"(14N) x (2N+12)"} &
 \end{aligned}$$

Como os deslocamentos dos pilares podem ser colocados em função dos deslocamentos dos diafragmas, a matriz de rigidez de um andar genérico, $\{S_A\}$, que relaciona os esforços e deslocamentos dos pi

lares nos seus centros de cisalhamentos, pode ser modificada para relacionar os esforços e deslocamentos em relação aos eixos da estrutura, com exceção daqueles na direção do eixo z , que devem continuar no sistema de eixos antigo. Assim, chamando de $[S_{AS}]$ à nova matriz de rigidez de um andar genérico, tem-se

$$\begin{matrix} \left. \begin{matrix} \{F_S\}_{base} \\ \{F_{zP}\}_{base} \\ \{F_S\}_{topo} \\ \{F_{zP}\}_{topo} \end{matrix} \right\} = \begin{matrix} [S_{AS}] \\ \text{"(2N+12) \times (2N+12)" } \end{matrix} \begin{matrix} \{\delta_S\} \\ \text{"(2N+12) \times (1)" } \end{matrix} \end{matrix} \quad (III.1-87)$$

"(2N+12) \times (1)"

onde

$$\{F_S\}_{base} = \begin{matrix} F_x \\ F_y \\ M_x \\ M_y \\ M_t \\ B \end{matrix} \quad base \quad (III.1-88)$$

$$\{F_{zP}\}_{base} = \begin{matrix} F_{zp1} \\ F_{zp2} \\ \vdots \\ F_{zpN} \end{matrix} \quad base \quad (III.1-89)$$

As matrizes $\{F_S\}_{topo}$ e $\{F_{zP}\}_{topo}$ são análogas às apresentadas nas equações (III.1-88) e (III.1-89) para o topo do andar e $[S_{AS}]$ é dada por

$$[S_{AS}] = [Q]^t [S_A] [Q] \quad (\text{III.1-90})$$

onde $[Q]^t$ é a transposta da matriz $[Q]$ dada por (III.1-86).

Antes de efetuarem-se os produtos matriciais indicados anteriormente, a matriz $[S_A]$ deve ser rearranjada de modo a que as colunas e linhas multiplicadoras dos deslocamentos na direção z fiquem compatíveis com $\{\delta_P\}$.

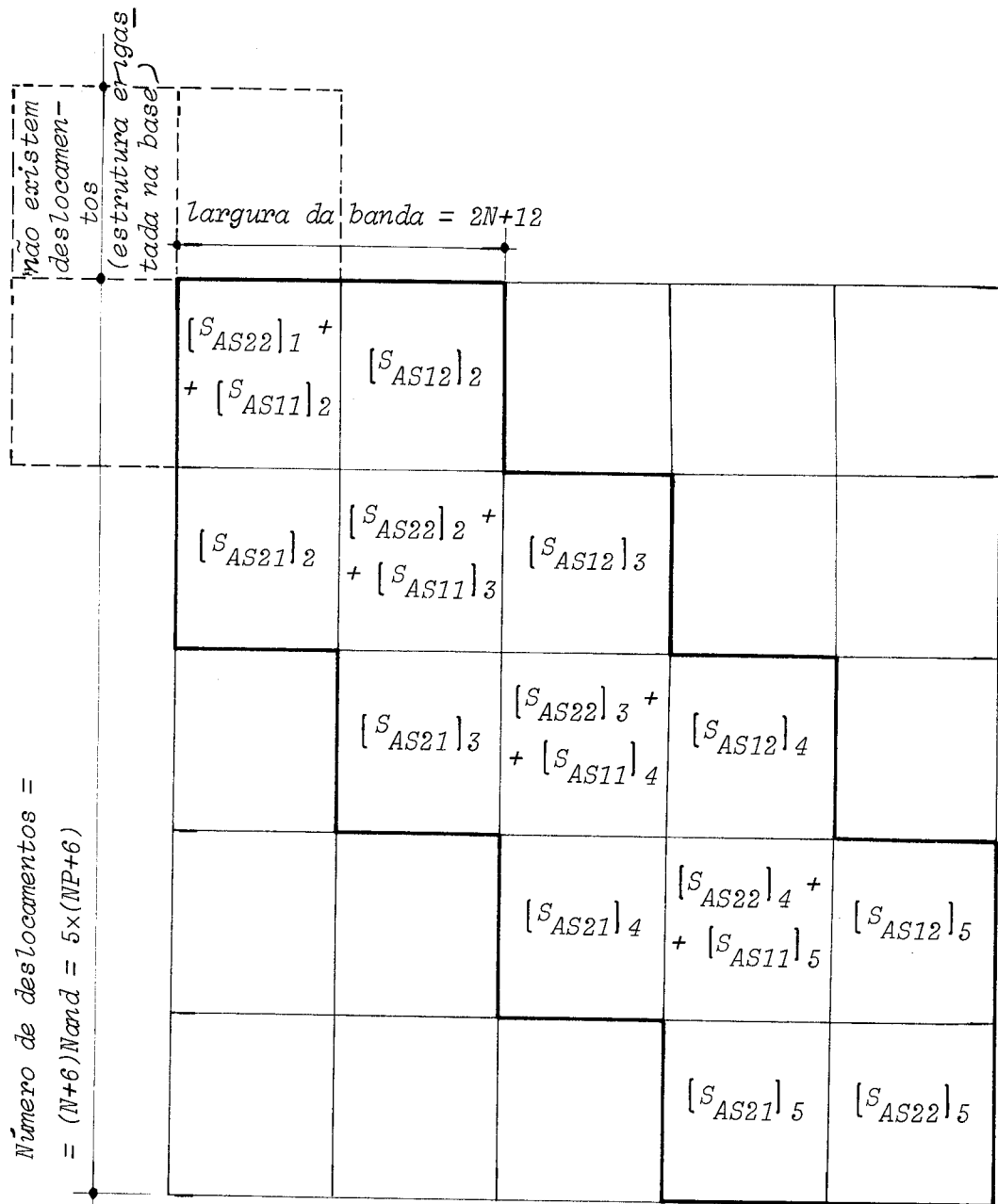
É importante notar-se que a ordem da matriz de rigidez do andar passou de " $(14N) \times (14N)$ " para " $(2N+12) \times (2N+12)$ ", resultando uma diminuição na ordem da matriz da estrutura e conseqüentemente uma redução no tempo de processamento e na memória necessária do computador utilizado para solução. Além disso, deve-se notar que as matrizes $[S_A]$ e $[S_{AS}]$ são ambas simétricas.

III.1-5 - Montagem da matriz de rigidez da estrutura

Após obterem-se as matrizes de rigidez de todos os andares, a matriz de rigidez da estrutura é obtida por uma superposição destas. A matriz $[S_{AS}]$ de um andar genérico k pode ser particionada como

$$[S_{AS}]_k = \left[\begin{array}{c|c} [S_{AS11}]_k & [S_{AS12}]_k \\ \hline [S_{AS21}]_k & [S_{AS22}]_k \end{array} \right] \quad (\text{III.1-91})$$

Apresenta-se a seguir o esquema de montagem da matriz de rigidez de uma estrutura composta por cinco andares.



No esquema anterior, N representa o número de elementos de pilares dentro de um andar genérico e $Nand$ o número de andares da estrutura. Deve-se observar que a matriz de rigidez da estrutura é simétrica, com banda de largura igual a $2N+12$, e que as condições de contorno da *estrutura engastada na base* são satisfeitas pela maneira de montagem da matriz de rigidez da estrutura, isto é, a mesma inclui apenas os deslocamentos livres.

Na análise proposta, pode-se variar a altura do andar e as espessuras das paredes ao longo da altura do edifício; entretanto, a mudança do arranjo físico dos elementos estruturais entre andares não

pode ser tratada diretamente. Esta dificuldade pode ser superada artificialmente, adicionando-se membros rígidos ao nível dos andares em que a mudança de arranjo ocorra.

Com a matriz de rigidez da estrutura montada e com o vetor de cargas do carregamento externo ao nível do topo de todos os andares, formado pelas forças e momentos nas direções x e y , momento torçor, bimomento (todos referidos ao sistema global de coordenadas), e pelas forças na direção z nos centros de cisalhamentos de todos os pilares, obtêm-se os deslocamentos dos diafragmas e deslocamentos na direção z nos centros de cisalhamentos de todos os pilares ao nível de todos os pisos.

Os deslocamentos paralelos aos eixos da estrutura nos centros de cisalhamentos dos pilares são obtidos a partir dos deslocamentos dos diafragmas, a menos dos deslocamentos na direção z , pela aplicação da equação (III.1-75), permitindo então a determinação dos esforços correspondentes. Lembrando-se que as secções transversais das paredes de secção aberta são indeformáveis nos seus planos, pode-se determinar os deslocamentos em qualquer nó, utilizando a equação (III.1-59). Como os lintéis conectam-se sempre aos nós, os esforços nos mesmos podem ser determinados a partir dos deslocamentos das suas extremidades. As tensões longitudinais em qualquer nó são determinadas pela superposição das tensões devidas à força axial, ao bimomento e à flexão.

III.1-6 - Programas para o cálculo automático

Com base no exposto, escreveu-se um conjunto de programas em linguagem FORTRAN IV para o computador *HP-2100A*. Devido às grandes dimensões do programa, foi necessária a utilização da *técnica de segmentação de programas e de memória auxiliar* (disco magnético).

Os programas apresentados permitem qualquer variação em planta das paredes de secção aberta, não permitindo, porém, variações ao longo da altura.

Apresenta-se a seguir uma pequena descrição dos segmentos e subprogramas, esquema de execução do cálculo de uma estrutura, dados de entrada, tabela de erros, variáveis cujas dimensões dependem do

número de andares ou de alguma particularidade da estrutura, listagens dos programas e exemplo de impressão dos resultados.

a) *Descrição dos segmentos e subprogramas*

Segmento CORED - este segmento tem como funções definir a área de passagem de parâmetros de um segmento para o outro (área de COMMON), criar todos os arquivos na memória auxiliar necessários durante o processamento e manter as conexões entre os vários segmentos.

Segmento NOSPI - faz a leitura e impressão dos parâmetros da estrutura, das coordenadas de todos os nós em relação aos eixos da estrutura e das propriedades de todas as paredes; coordena os cálculos das propriedades dos pilares e de suas matrizes de rigidez, que são incluídas na matriz de rigidez do andar (uniforme com a altura).

Segmento LINTE - lê os dados sobre os lintéis e gera as suas matrizes de rigidez com relação ao sistema de eixos global, compatibilizadas com as dos pilares que os lintéis contraventam. Obtidas então as matrizes $[S_{LS}]$, estas são incluídas na matriz de rigidez do andar $[S_A]$ (aqui suposto uniforme com a altura).

Segmento RIAND - efetua a modificação da matriz de rigidez do andar devido à presença dos diafragmas, como mostrado em (III.1-90). Deve-se observar neste segmento o rearranjo das linhas e colunas da matriz $[S_A]$ para o posicionamento correto dos deslocamentos independentes antes de se efetuarem as operações matriciais.

Segmento RIEST - monta a matriz de rigidez da estrutura a partir das matrizes de rigidez dos andares já modificadas devido à presença dos diafragmas. No caso, supõem-se todos os andares da estrutura iguais.

Segmento LOADS - lê cada carregamento na estrutura, montando o correspondente vetor de cargas ao longo de toda a altura do

edifício.

Segmento DESLO - coordena a resolução do sistema de equações lineares e o cálculo dos deslocamentos dos diafragmas e dos deslocamentos verticais independentes para cada carregamento da estrutura.

Segmento ESFOR - imprime os deslocamentos dos diafragmas e coordena o cálculo dos deslocamentos e tensões longitudinais nos nós, esforços nos pilares, e esforços nos lintéis ao longo de toda a altura.

Subprograma PROPI - calcula as propriedades dos pilares:- coordenadas do centro de gravidade e do centro de cisalhamento, valores das áreas setoriais dos nós, momentos principais de inércia, momento de inércia à torção, momento de inércia setorial, localização dos eixos principais de inércia e correções das coordenadas dos nós.

Subprograma RIPIL - gera a matriz de rigidez de cada pilar para um sistema de eixos no centro de cisalhamento, paralelos às direções principais, efetua a rotação desta para eixos paralelos aos da estrutura e inclui a matriz de rigidez obtida na matriz de rigidez do andar ($[S_A]$).

Subprograma DECOM - decompõe a matriz de rigidez da estrutura utilizando o método da raiz quadrada.

Subprograma SOLV - resolve o sistema de equações a partir da matriz da estrutura, já decomposta, e do vetor de cargas para cada carregamento.

Subprograma ESPIL - coordena o cálculo dos deslocamentos dos centros de cisalhamentos dos pilares a partir dos deslocamentos dos diafragmas e dos deslocamentos verticais independentes. Com isto determina os esforços nos pilares e as tensões longitudinais nos nós

ao longo de toda a altura do edifício.

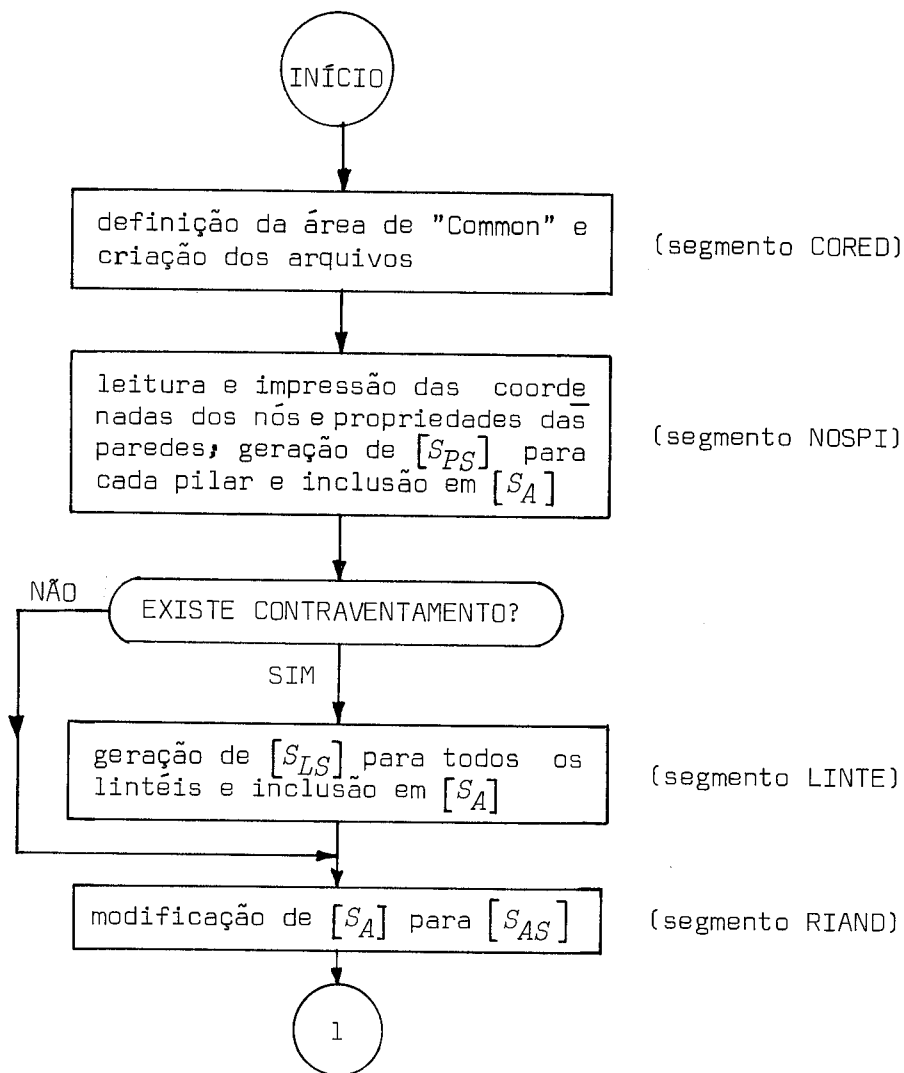
Subprograma ESLIN - calcula os esforços nos lintéis a partir dos deslocamentos de suas extremidades, obtidos dos deslocamentos dos centros de cisalhamentos dos pilares.

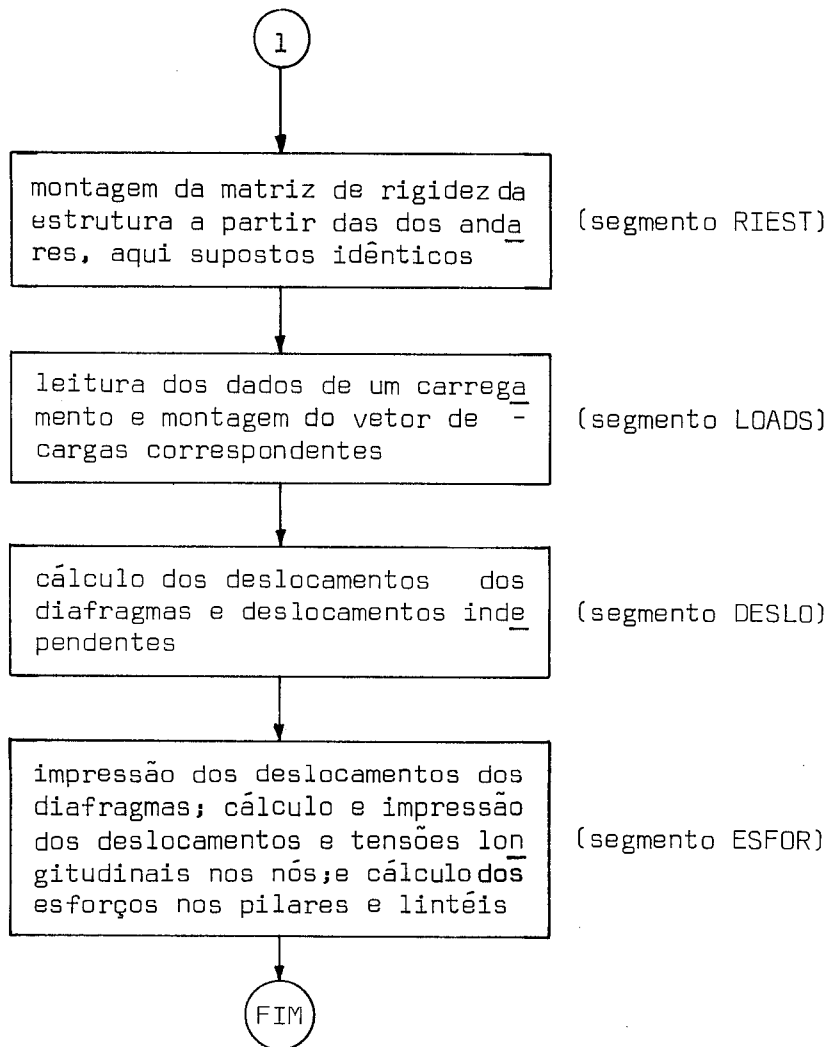
Subprograma DESPI - calcula os deslocamentos do centro de cisalhamento de cada pilar a partir dos deslocamentos do diafragma e dos deslocamentos verticais independentes.

Subprograma GRLE1 e GRLE2 - lêem e escrevem em arquivos específicos, muito utilizados, da memória auxiliar.

Utiliza-se também o subprograma *FOLHA* apresentado no item (II.2.2-3).

b) Passos principais no cálculo de uma estrutura





Os passos do segmento *LOADS* até o segmento *ESFOR* são executados para todos os carregamentos da estrutura.

c) Descrição dos dados de entrada

As coordenadas dos nós, definidas sobre a linha esqueleto, serão relativas a um sistema de eixos global, chamados eixos da estrutura.

A geometria da estrutura é especificada numerando-se cada parede de secção aberta e seus componentes, paredes e nós, de acordo com a nomenclatura definida no início deste capítulo, lembrando-se que os nós e as paredes são numerados independentemente dentro de cada pilar. Uma parede plana fica perfeitamente definida pelo número do pilar ao qual pertence, pela sua espessura e pelos números dos nós de

suas extremidades, chamados no de início e fim. Devido ao procedimento utilizado no cálculo das propriedades setoriais dos pilares, apresentado no apêndice A, surgem as seguintes restrições com relação à numeração das paredes dentro de um pilar: a parede número 1 deverá ter como no de início o no 1 deste pilar, e uma parede genérica j , com j maior que 1, deverá ter como no de início algum dos nos usados como extremidades das paredes de número menor que j (vide figura (III.1-09)).

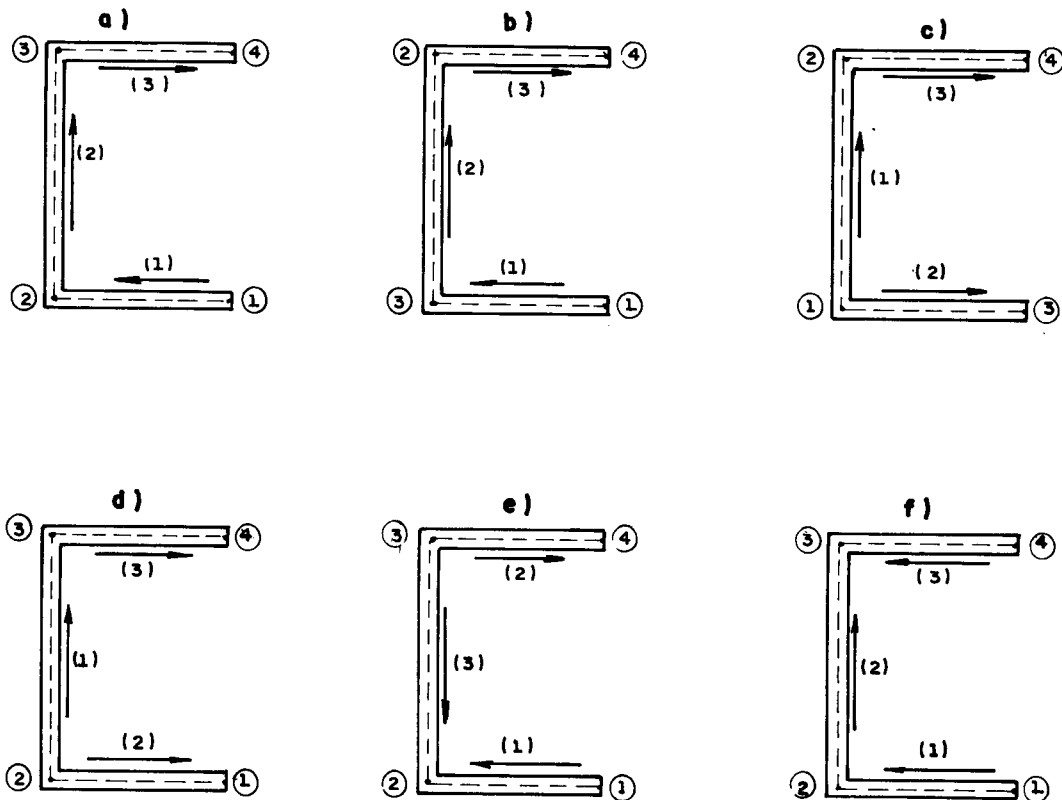


FIG. III.1-09- EXEMPLOS DE NUMERAÇÃO DAS PAREDES COMPONENTES DE UM PILAR

Na figura (III.1-09) os números dentro das circunferências indicam os nos, e as setas numeradas, os números das paredes e suas orientações, orientações estas dos nos de início para os de fim. As figuras (III.1-09-a), (III.1-09-b) e (III.1-09-c) são exemplos de numeração correta das paredes de um pilar; a figura (III.1-09-d) mostra uma numeração incorreta, pois a parede (1) não tem como no de início o de número 1; a numeração das paredes da figura (III.1-09-e) é incorreta, pois a parede (2) tem como no de início o no 3, que não é no de nenhuma das extremidades da parede (1); e a figura (III.1-09-f) também possui numeração incorreta, devido ao fato do no de início da pare

de (3), nó 4, não ser nenhum dos nós extremidades das paredes (1) e (2).

Os carregamentos são aplicados como concentrados ao nível dos pisos, podendo variar ao longo da altura. Deve-se lembrar que as componentes do carregamento na direção z são aplicadas nos centros de cisalhamentos dos pilares e as outras componentes (forças e momentos fletores nas direções x e y , momentos torçores e bimomentos) são dadas em relação aos eixos da estrutura.

Os dados serão fornecidos através de fita de papel perfurada, na ordem especificada a seguir:

c-1) *Dados sobre a estrutura* (formato livre)

número de andares, número de pilares, número de lintéis em planta, número de carregamentos, altura dos andares, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (*um registro*)

c-2) *Título da estrutura* (formato 40A2) - (*um registro*)

c-3) *Coordenadas dos nós em relação aos eixos da estrutura* (formato livre)

número do pilar ao qual o nó pertence, número do nó, coordenadas x e y do mesmo. (*O número de registros é igual ao número total de nós da estrutura*).

Obs.: os nós devem ser fornecidos na seguinte seqüência: todos os nós do pilar 1, todos os nós do pilar 2, e assim até todos os nós do último pilar.

c-4) *Fim de fornecimento das coordenadas dos nós* (formato livre)

qualquer número maior que o número de pilares - (*um registro*)

c-5) *Propriedades das paredes* (formato livre)

número do pilar, número da parede, nó de início, nó de fim e espessura da mesma (*O número de registros é igual ao número total de paredes da estrutura*).

Obs.: devem ser fornecidas em primeiro lugar todas as paredes do pilar 1, seguidas das do pilar 2 e assim até o último pilar.

Na numeração das paredes deve ser observado o mencionado no início deste item, isto é, a parede número 1 de um pilar de verá ter como nó de início o nó 1 deste pilar e as outras paredes deverão ter como nós de inícios alguns dos nós usa dos como extremidades das paredes de menor número.

c-6) *Propriedades dos lintéis* (formato livre)

número do lintel, número do pilar A, número do nó da extremidade 1, número do pilar B, número do nó da extremidade 2 (vide figura (III.1-07)), espessura, altura e momento de inércia à torção do mesmo (o número de registros é igual ao número de lintéis em planta).

Obs.: 1) caso não exista contraventamento (número de lintéis em planta é zero), os dados relativos aos lintéis devem ser ignorados.

2) caso se queira que o momento de inércia à torção de um lintel seja calculado pela fórmula

$$J_{tL} = \frac{3,5 J_{yL} J_{zL}}{J_{yL} + J_{zL}}$$

basta fornecer no lugar do momento de inércia à torção, mencionado em (c-6), qualquer valor menor que zero. Na equação anterior, J_{yL} e J_{zL} são os momentos de inércia em relação aos eixos principais de inércia, y_L e z_L .

c-7) *Dados de um carregamento genérico* (formato livre)

laje de início e de fim, onde as cargas concentradas ao nível dos pisos começam e terminam ao longo da altura do edifício; cargas estas dadas pelas suas componentes: forças nas direções x e y , momentos nas direções x e y , momento torçor, bimomento, e forças na direção z nos centros de cisalhamentos dos pilares (as outras componentes são referidas ao sistema global) (*estes dados são repetidos até que a laje de fim seja a laje de cobertura*).

Obs.: os dados de (c-7) devem ser repetidos para todos os carregamentos.

Para o processamento de várias estruturas, basta repeti rem-se os dados de (c-1) a (c-7) para cada uma delas, colocando-se após a última um registro com o número de andares igual a zero.

d) *Tabela de erros*

Se porventura ocorrer um erro nos dados de entrada, o processamento sofrerá uma interrupção através de um comando *STOP*, cujo número, localização e causa são descritos a seguir.

Tabela III.1-1 - Tabela de erros

<i>número do STOP</i>	<i>Localização</i>	<i>Causa do erro</i>
2222	segmento NOSPI	número de paredes incompatível dentro de um pilar
1111	subprograma DECOM	o método de solução do sistema de equações exige que a matriz seja positiva definida

e) *Variáveis cujas dimensões dependem da estrutura*

Tabela III.1-2 - Variáveis com dimensões dependentes da estrutura

<i>Variáveis</i>	<i>Tipos</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Localização</i>
XCGPIL, YCGPIL, XCCPIL, YCCPIL, AREAPI, IX, IY, IXY, JW	DP	NPIL	<i>segmentos</i> CORED, NOSPI, LINTE, LOADS, RIAND, Riest, DESLO e ESFOR <i>subprogramas</i> RIPIL, GRLE1, GRLE2, SOLV, DECOM, ESPIL, ESLIN e PROPI
IJP	I	NPIL+1	<i>segmentos</i> CORED, NOSPI, LINTE, LOADS, RIAND, Riest, DESLO e ESFOR <i>subprogramas</i> RIPIL, GRLE1, GRLE2, SOLV, DECOM, ESPIL, ESLIN e PROPI
PINIL, PFIML, JINIL, JFIML	I	NLINT	<i>segmentos</i> CORED, NOSPI, LINTE, LOADS, RIAND, Riest, DESLO e ESFOR <i>subprogramas</i> RIPIL, GRLE1, GRLE2, SOLV, DECOM, ESPIL, ESLIN e PROPI

cont.

cont. (Tabela III.1-2)

<i>Variáveis</i>	<i>Tipos</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Localização</i>
ITRB	I	84 NPIL e múltiplo de 128	<i>segmentos</i> CORED, NOSPI, LINTE, LOADS, RIAND, Riest, DESLO e ESFOR <i>subprogramas</i> RIPIL, GRLE1, GRLE2, SOLV, DECOM, ESPIL, ESLIN e PROPI
NINIC, NFIM	I	NPAREDES	<i>segmento</i> NOSPI
X, Y, W	DP	NTNOS	<i>segmentos</i> NOSPI e LINTE <i>subprograma</i> ESPIL
AUX	DP	14 NPIL	<i>segmentos</i> NOSPI, RIAND e Riest
ESPES	DP	NPAREDES	<i>segmento</i> NOSPI
RIGAN	DP	14 NPIL	<i>segmentos</i> LINTE e RIAND <i>subprograma</i> RIPIL
Q, RIGQ	DP	(7 NPIL, NPIL+6)	<i>segmento</i> RIAND
AUX1	DP	(NPIL, 7 NPIL)	<i>segmento</i> RIAND
RIGK	DP	(7 NPIL, 7 NPIL)	<i>segmento</i> RIAND
RIG	DP	NPIL+6	<i>segmento</i> RIAND
RIGQTQ	DP	(LB, LB)	<i>segmento</i> RIAND
RIGAND	DP	(LB, LB)	<i>segmento</i> Riest
RIGEST	DP	NDESL LB-LB (LB-1)/2	<i>segmentos</i> Riest e DESLO
INDI	I	NDESL	<i>segmentos</i> Riest e DESLO
FORCAS	DP	NDESL	<i>segmentos</i> LOADS e DESLO
DESLOC	DP	NDESL	<i>segmentos</i> DESLO e ESFOR
AREA	DP	NPAREDES	<i>subprograma</i> PROPI

Na tabela (III.1-2), *I* e *DP* indicam, respectivamente, os tipos de dados inteiro e precisão estendida, *NPIL* o número de pilares, *NLINT* o número de lintéis, *NTNOS* o número total de nós de todos os pi

lares, *NPAREDES* o maior número de paredes dentro de todos os pilares, *LB* a largura da banda do sistema de equações dada por

$$LB = 2NPIL + 12$$

e *NDESL* o número total de deslocamentos da estrutura obtido como

$$NDESL = \frac{LB}{2} \quad NAND$$

onde *NAND* é o número de andares. Nas listagens apresentadas, as variáveis da tabela anterior estão dimensionadas para uma estrutura composta de no máximo quatro paredes de secção aberta, dez lintéis, quarenta nós, vinte andares e vinte paredes dentro de um pilar genérico. Caso a estrutura a ser calculada exceda alguma das especificações máximas, somente as dimensões das variáveis onde isso ocorre devem ser alteradas, conforme a tabela (III.1-2), tomando-se o cuidado de não ultrapassar a capacidade de memória da máquina utilizada.

f) Listagens dos programas

f.1) Segmento CORED

```

001 FTN4
002 PROGRAM CORED(3)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          CRIACAO DOS ARQUIVOS
006 C-----
007 INTEGER AGNCS(3),AQPI(3),AQLIN(3),AGRAN(3),AGAU(3),AGRES(3),
008 *AQIND(3),NOSPI(3),SCODE(2),NOTRB(2)
009 DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010 *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
011 INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
012 *,ITRB(1024)
013 COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
014 *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015 *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
016 DATA AGNCS,AQPI,AQLIN,AGRAN,AGAU,AGRES,AQIND,NOSPI,SCODE,NOTRB/
017 *2HAQ,2HNC,1HS,2HAQ,2HPI,1HL,2HAQ,2HLI,1HN,2HAQ,2HRA,1HN,2HAQ,2HAU,
018 *1HX,2HAQ,2HRE,1HS,2HAQ,2HIN,1HD,2HNO,2HSP,1HI,1,0,1,1/
019 NTNCS=40
020 C          PARAMETROS DA ESTRUTURA
021 READ(5,*)NAND,NPIL,NLINT,NTCARG,H,E,MI
022 IF(NAND.LE.0)GO TO 10
023 LB=2*NPIL+12
024 NCAR=0
025 NDESL=NAND*(NPIL+6)
026 NP14=14*NPIL

```

```

027 C          CRIACAO DOS ARQUIVOS
028          CALL EXEC(24,1,IOTB,128,ITRB,NOTRB,8,IER)
029          CALL TESTE(1)
030          CALL EXEC(24,2,AGNOS,0,3,3*NTNOS,SCODE,IER)
031          CALL TESTE(2)
032          CALL EXEC(24,2,AQPIL,0,NP14,42,SCODE,IER)
033          CALL TESTE(3)
034          IF(NLINT.EQ.0)GO TO 100
035          CALL EXEC(24,2,AQLIN,0,12*NLINT,42,SCODE,IER)
036          CALL TESTE(4)
037 100        CALL EXEC(24,2,AQRAN,0,NP14,3*NP14,SCODE,IER)
038          CALL TESTE(5)
039          CALL EXEC(24,2,AG AUX,0,21*NPIL,3*(NPIL+6),SCODE,IER)
040          CALL TESTE(6)
041          NROEL=NDESL*LB-LB*(LB-1)/2
042          NREG1=NROEL/50+MINO(1,MOD(NROEL,50))
043          NREG2=NDESL/50+MINO(1,MOD(NDESL,50))
044          CALL EXEC(24,2,AGRES,0,NREG1+NREG2,150,SCODE,IER)
045          CALL TESTE(7)
046          CALL EXEC(24,2,AQIND,0,NREG2,50,SCODE,IER)
047          CALL TESTE(10B)
048 C          PARAMETROS GEOMETRICOS DA ESTRUTURA
049          CALL EXEC(8,NOSPI)
050 10 END
051 $

```

f.2) Segmento NOSPI

```

001 FTN4
002          PROGRAM NOSPI(5)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          LEITURA DOS PARAMETROS GEOMETRICOS DA ESTRUTURA
006 C-----
007          INTEGER CABEC(40),PIL,LINTE(3),AGNOS(3),PILAR,AQRAN(3),PAREDE
008          *,NINIC(20),NFIM(20)
009          *,RIAND(3)
010          DOUBLE PRECISION XX,YY,X(40),Y(40),W(40),AUX(56),ESP,ESPES(20),
011          *IXEP,IYEP,JT,XCGEP,YCGEP,BETA
012          DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
013          *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
014          INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
015          *,ITRB(1024)
016          COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
017          *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
018          *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
019          DATA AGNOS,AQRAN,LINTE/2HAQ,2HNO,1HS,2HAQ,2HRA,1HN,2HLI,2HNT,1HE/
020          *,RIAND/2HRI,2HAN,1HD/
021 C          IMPRESSAO DO CABECALHO E PARAMETROS DA ESTRUTURA
022          CALL FOLHA
023          READ(5,5)CABEC
024          5 FORMAT(40A2)
025          WRITE(6,15)CABEC,NAND,NPIL,NLINT,H,MI,E
026          15 FORMAT(" EDIFICIOS COM PAREDES DE SECCAO ABERTA"
027          *" CONTRAVENTADAS (OU NAO) POR LINTEIS ( UTILIZACAO DA ANALISE"
028          *" MATRICIAL)"/1X,40A2///
029          *" NRO ANDARES NRO PILARES NRO LINTEIS ALT. ANDAR COEF. PO"
030          *"ISSON MOD. ELASTICIDADE"/18,2I13,2F15.3,E19.7)
031 C          COORDENADAS DOS NOS DE TODOS OS PILARES
032          WRITE(6,25)
033          25 FORMAT(4/" COORDENADAS DOS NO'S COM REL. AOS EIXOS DA ESTRUT."
034          */" PILAR JUNTA COORD X COORD Y")

```

```

035      IPOSIC=0
036      KP=0
037  10  READ(5,*)PILAR,NO,XX,YY
038      IF(PILAR.GT.NPIL)GO TO 30
039      IF(PILAR.EG.KP)GO TO 20
040      KP=PILAR
041      IJP(KP)=IPOSIC
042      IJPKP=IPOSIC
043  20  X(IJPKP+NO)=XX
044      Y(IJPKP+NO)=YY
045      IPOSIC=IPOSIC+1
046      WRITE(6,35)PILAR,NO,XX,YY
047  35  FORMAT(2I7,2F10.3)
048      GO TO 10
049  30  IJP(NPIL+1)=IPOSIC
050  C      ZERA ARQUIVO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ANDAR
051      NP14=14*NPIL
052      DO 40 I=1,NP14
053  40  AUX(I)=0.
054      DO 50 I=1,NP14
055      CALL EXEC(24,8,AQRAN,I,AUX,IER)
056      CALL TESTE(11B)
057  50  CONTINUE
058      DO 70 PILAR =1,NPIL
059      CALL FOLHA
060      WRITE(6,45)PILAR
061  45  FORMAT(" *** PILAR NRO ="I4//" PROPRIEDADES DAS PAREDES"/
062      *14X"N 0. S"/" PAREDE INICIAL  FINAL  ESPESSURA")
063      NTPAR=IJP(PILAR+1)-IJP(PILAR)-1
064      IJPIL=IJP(PILAR)
065      NPARED=0
066  60  READ(5,*)PIL,PAREDE,JI,JF,ESP
067      IF(PIL.NE.PILAR)STOP 2222
068      NINIC(PAREDE)=JI+IJPIL
069      NFIM(PAREDE)=JF+IJPIL
070      ESPES(PAREDE)=ESP
071      NPARED=NPARED+1
072      WRITE(6,55)PAREDE,JI,JF,ESP
073  55  FORMAT(I6,2I8,F13.3)
074      IF(NPARED.NE.NTPAR)GO TO 60
075  C      CALCULO DAS PROPRIEDADES GEOMETRICAS DO PILAR
076      CALL PROPI(PILAR,NINIC,NFIM,ESPES,X,Y,W,IXEP,IYEP,JT,XCGEP,
077      *YCGEP,BETA)
078  C      CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO PILAR E SUA INCLUSAO
079  C      NA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ANDAR
080      CALL RIPIL(PILAR,JT,IXEP,IYEP,XCGEP,YCGEP,BETA,AUX)
081  70  CONTINUE
082  C      GRAVACAO DE X,Y,W DOS NOS
083      CALL EXEC(24,8,AGNOS,1,X,IER)
084      CALL TESTE(15B)
085      CALL EXEC(24,8,AGNOS,2,Y,IER)
086      CALL TESTE(16B)
087      CALL EXEC(24,8,AGNOS,3,W,IER)
088      CALL TESTE(17B)
089      IF(NLINT.EQ.0)CALL EXEC(8,RIAND)
090  C      GERACAO DAS MATRIZES DE RIGIDEZ DE TODOS OS
091  C      LINTEIS
092      CALL EXEC(8,LINTE)
093      CALL CORED
094      END
095  S

```

f.3) Segmento LINTE

```

001 FTN4
002 PROGRAM LINTE(5)
003 C----
004 C----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C----          GERACAO DAS MATRIZES DE RIGIDEZ DE TODOS OS LINTEIS E
006 C----          INCLUSOES DESTAS NA MAT DE RIGIDEZ DO ANDAR
007 C----
008 INTEGER P1,P2,PONT1,PONT2,AQLIN(3),AQRAN(3),COLUNA,RIAND(3),
009 *AGNOS(3),DESLIN,DESLCO
010 DOUPLA PRECISION BL,HL,AREA,IYL,IZL,JTL,XLINT,YLINT,COMPLI,C6
011 *,C12,S(12,12),CGAMA,SGAMA,TL(6,6),R(12,14),X1L,X2L,Y1L,Y2L,
012 *TLR(12,14),AUX(14),RIGAN(56),RIGLI(14,14),SOMA,X(40),Y(40),W(40)
013 EQUIVALENCE (AUX,RIGAN)
014 DOUPLA PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
015 *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
016 INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
017 *,ITRB(1024)
018 COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
019 *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
020 *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
021 DATA AQLIN,AQRAN,RIAND/2HAQ,2HLI,1HN,2HAQ,2HRA,
022 *1HN,2HRI,2HAN,1HD/
023 *,AGNOS/2HAQ,2HNO,1HS/
024 CALL EXEC(24,6,AGNOS,1,X,IER)
025 CALL TESTE(508)
026 CALL EXEC(24,6,AGNOS,2,Y,IER)
027 CALL TESTE(518)
028 CALL EXEC(24,6,AGNOS,3,W,IER)
029 CALL TESTE(528)
030 CALL FOLHA
031 WRITE(6,5)
032 5 FORMAT(" ***LINTEIS/" LINTEL PILAR NO PILAR NO LARGURA"
033 *4X"ALTURA"
034 *6X"AREA"4X"MOM INER HOR"4X"MOM INER VERT"3X"MOM INER TORC")
035 DO 160 LI=1,NLINT
036 DO 1 I=1,12
037 DO 1 J=1,12
038 1 S(I,J)=0.
039 DO 2 I=1,12
040 DO 2 J=1,14
041 R(I,J)=0.
042 2 TLR(I,J)=0.
043 DO 3 I=1,6
044 DO 3 J=1,6
045 3 TL(I,J)=0.
046 READ(5,*)LINTEL,P1,N01,P2,N02,BL,HL,JTL
047 AREA=HL*BL
048 IYL=BL*HL*HL*HL/12.
049 IZL=HL*BL*BL*BL/12.
050 IF (JTL.LT.0.DO)JTL=3.5*IYL*IZL/(IYL+IZL)
051 WRITE(6,15)LINTEL,P1,N01,P2,N02,BL,HL,AREA,IYL,IZL,JTL
052 15 FORMAT(I5,2X,4I5,3F10.3,3E16.7)
053 PINIL(LINTEL)=P1
054 PFIML(LINTEL)=P2
055 JINIL(LINTEL)=N01
056 JFIML(LINTEL)=N02
057 NOI=IJP(P1)+N01
058 NOF=IJP(P2)+N02
059 XLINT=X(NOF)+XCCPIL(P2)-X(N01)-XCCPIL(P1)
060 YLINT=Y(NOF)+YCCPIL(P2)-Y(N01)-YCCPIL(P1)

```

```

061      COMPLI=DSORT(XLINT*XLINT+YLINT*YLINT)
062 C      CALCULO DA MATRIZ DE RIG. DO LINTEL EM COORD LOCAIS
063      C12=12./COMPLI/COMPLI/COMPLI
064      C6=6./COMPLI/COMPLI
065 C      GERACAO DE [S11]
066      S(1,1)=AREA/COMPLI
067      S(2,2)=C12*IZL
068      S(2,6)=C6*IZL
069      S(3,3)=C12*IYL
070      S(3,5)=-C6*IYL
071      S(4,4)=JTL/COMPLI*0.5/(1.+MI)
072      S(5,5)=4.*IYL/COMPLI
073      S(6,6)=4.*IZL/COMPLI
074 C      GERACAO DE [S12]
075      DO 10 I=1,4
076      10 S(I,I+6)=-S(I,I)
077      S(5,11)=0.5*S(5,5)
078      S(6,12)=0.5*S(6,6)
079      S(2,12)=S(2,6)
080      S(3,11)=S(3,5)
081      S(5,9)=-S(3,5)
082      S(6,8)=-S(2,6)
083 C      GERACAO DE [S22]
084      DO 20 I=1,6
085      20 S(I+6,I+6)=S(I,I)
086      S(8,12)=-S(2,6)
087      S(9,11)=-S(3,5)
088 C      GERACAO DA PARTE SIMETRICA DE [S]
089      DO 30 I=1,11
090      DO 30 J=I+1,12
091      30 S(J,I)=S(I,J)
092 C      CALCULO DA MATRIZ DE ROTACAO [TL]
093      CGAMA=XLINT/COMPLI
094      SGAMA=YLINT/COMPLI
095      TL(1,1)=CGAMA
096      TL(1,2)=SGAMA
097      TL(2,1)=-SGAMA
098      TL(2,2)=CGAMA
099      TL(3,3)=1.
100      DO 40 I=1,3
101      DO 40 J=1,3
102      40 TL(I+3,J+3)=TL(I,J)
103 C      CALCULO DA MATRIZ DE MOV DE CORPO RIGIDO [R] (12X14)
104      DO 60 I=1,5
105      R(I,I)=1.
106      60 R(I+6,I+7)=1.
107      R(6,6)=1
108      R(12,13)=1
109      X1L=X(NOI)
110      X2L=X(NOF)
111      Y1L=Y(NOI)
112      Y2L=Y(NOF)
113      R(1,6)=-Y1L
114      R(2,6)=X1L
115      R(3,4)=Y1L
116      R(3,5)=-X1L
117      R(3,7)=-W(NOI)
118      R(4,7)=-X1L
119      R(5,7)=-Y1L
120      R(7,13)=-Y2L
121      R(8,13)=X2L
122      R(9,11)=Y2L
123      R(9,12)=-X2L
124      R(9,14)=-W(NOF)
125      R(10,14)=-X2L
126      R(11,14)=-Y2L
127 C      CALCULO DO PRODUTO DE [TL]X[R] COLOCANDO EM[TLR]
128      DESLIN=0
129      DESLCO=0
130      DO 80 I=1,12

```

```

131     IF(I.NE.7)GO TO 71
132     DESLIN=6
133     DESLCO=7
134     71 LINHA=I-DESLIN
135     DO 80 J=1,7
136     COLUNA=J+DESLCO
137     SOMA=0.
138     DO 70 K=1,6
139     70 SOMA=SOMA+TL(LINHA,K)*R(K+DESLIN,COLUNA)
140     80 TLR(I,COLUNA)=SOMA
141     C           CALCULO DE [R]=[S]X[TLR]
142     DO 82 I=1,12
143     DO 82 J=1,14
144     SOMA=0.
145     DO 81 K=1,12
146     81 SOMA=SOMA+S(I,K)*TLR(K,J)
147     82 R(I,J)=SOMA
148     C           GRAVACAO DA MAT. DE RIGIDEZ PARA O CALCULO DOS ESFORCOS
149     INDICF=12*(LINTEL-1)
150     DO 95 I=1,12
151     DO 90 J=1,14
152     90 AUX(J)=R(I,J)
153     CALL EXEC(24,8,AQLIN,INDICE+I,AUX,IER)
154     CALL TESTE(218)
155     95 CONTINUE
156     C           MATRIZ DE RIGIDEZ COM REL. AOS EIXOS DA ESTRUTURA
157     DO 110 I=1,14
158     DO 110 J=1,14
159     SOMA=0.
160     DO 100 K=1,12
161     100 SOMA=SOMA+TLR(K,I)*R(K,J)
162     110 RIGLI(I,J)=SOMA
163     C           INCLUSAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO LINTEL NA DO ANDAR
164     I1=7*NPIL
165     PONT1=I1+7*(P1-1)
166     PONT2=I1+7*(P2-1)-7
167     INDL=PONT1
168     DO 150 INICIO=1,8,7
169     DO 140 I=INICIO,INICIO+6
170     CALL EXEC(24,6,AGRAN,INDL+I,RIGAN,IER)
171     CALL TESTE(228)
172     DO 120 J=1,7
173     120 RIGAN(PONT1+J)=RIGAN(PONT1+J)+RIGLI(I,J)
174     DO 130 J=8,14
175     130 RIGAN(PONT2+J)=RIGAN(PONT2+J)+RIGLI(I,J)
176     CALL EXEC(24,8,AGRAN,INDL+I,RIGAN,IER)
177     CALL TESTE(238)
178     140 CONTINUE
179     150 INDL=PONT2
180     160 CONTINUE
181     C           MODIFICACAO DA MAT DE RIGIDEZ DO ANDAR
182     CALL EXEC(8,RIAND)
183     CALL CORED
184     END
185     $

```

§.4) Segmento RIAND

```

001     FTN4
002     PROGRAM RIAND(5)
003     C-----
004     C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005     C-----          MODIFICACAO DA MAT DE RIGIDEZ DO ANDAR DEVIDO
006     C-----          AO DIAFRAGMA
007     C-----
008     INTEGER PONT,INDLI(3),INDCO(3),COLUNA,AGRAN(3),AGAUX(3),RIEST(3)
009     *,REC

```

```

010     DOUBLE PRECISION Q(28,10),AUX1(4,28),RIGAN(56),RIGK(28,28),SOMA
011     *,RIG(10),RIGG(28,10),RIGQTQ(20,20),AUX(56)
012     EQUIVALENCE (AUX,RIG,RIGAN),(RIGK,RIGQTQ)
013     DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
014     *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
015     INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
016     *,ITRB(1024)
017     COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
018     *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
019     *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
020     DATA INDLI,INDCO/6*0/,AQRAN,AQAUX,RIEST/2HAQ,2HRA,1HN,2HAQ,2HAU,
021     *1HX,2HRI,2HES,1HT/
022     C           CALCULO DE [Q]
023     NP7=7*NPIL
024     NP6=NPIL+6
025     DO 10 I=1,NP7
026     DO 10 J=1,NP6
027     10 Q(I,J)=0.
028     DO 30 I=1,NPIL
029     PCNT=6*(I-1)
030     DO 20 J=1,6
031     20 Q(PCNT+J,J)=1.
032     Q(PCNT+1,5)=-YCCPIL(I)
033     Q(PCNT+2,5)=XCCPIL(I)
034     Q(PCNT+3,6)=-XCCPIL(I)
035     30 Q(PCNT+4,6)=-YCCPIL(I)
036     PCNT=6*NPIL
037     DO 40 I=1,NPIL
038     40 Q(PCNT+I,I+6)=1.
039     C           CALCULO DO PRODUTO DE [RIGAND]X[Q] POR BLOCO
040     INDLI(3)=NP7
041     INDCO(2)=NP7
042     INDCO(3)=NP7
043     DO 80 K=1,3
044     LINHA=INDLI(K)
045     COLUNA=INDCO(K)
046     DO 50 I=1,NP7
047     CALL EXEC(24,6,AQRAN,I+LINHA,RIGAN,IER)
048     CALL TESTE(24B)
049     DO 50 J=1,NP7
050     50 RIGK(I,J)=RIGAN(COLUNA+J)
051     C           REARRANJO DOS DESLOCS INDEPENDENTES
052     CALL POSLI(RIGK,AUX1,NP7)
053     CALL POSCO(RIGK,AUX1,NP7)
054     C           CALCULO DO PRODUTO DE [RIGK]X[Q]
055     REG=NP7*(K-1)
056     DO 80 I=1,NP7
057     DO 70 J=1,NP6
058     SOMA=0.
059     DO 60 L=1,NP7
060     60 SOMA=SOMA+RIGK(I,L)*Q(L,J)
061     70 RIG(J)=SOMA
062     CALL EXEC(24,8,AQAUX,REG+I,RIG,IER)
063     CALL TESTE(25B)
064     80 CONTINUE
065     INDLI(3)=NP6
066     INDCO(2)=NP6
067     INDCO(3)=NP6
068     C           CALCULO DE [Q]TR X [RIGAND] X [Q]
069     DO 110 K=1,3
070     REG=NP7*(K-1)
071     DO 90 I=1,NP7
072     CALL EXEC(24,6,AQAUX,REG+I,RIG,IER)
073     CALL TESTE(26B)
074     DO 90 J=1,NP6
075     90 RIGG(I,J)=RIG(J)
076     LINHA=INDLI(K)
077     COLUNA=INDCO(K)
078     DO 110 I=1,NP6
079     DO 110 J=1,NP6

```



```

080      SOMA=0.
081      DC 100 L=1, NP7
082      100 SOMA=SOMA+Q(L,I)*RIGQ(L,J)
083      110 RIGQTQ(I+LINHA,J+COLUNA)=SOMA
084      DO 120 I=1, NP6
085      DO 120 J=1, NP6
086      120 RIGQTQ(NP6+J,I)=RIGQTQ(I, NP6+J)
087      C          GRAVACAO DA MAT. DE RIGIDEZ DO ANDAR MODIFICADA
088      DO 140 I=1, LB
089      DO 130 J=1, LB
090      130 RIGAN(J)=RIGQTQ(I,J)
091      CALL EXEC(24,8, AGRAN,I, RIGAN, IER)
092      CALL TESTE(278)
093      140 CONTINUE
094      CALL EXEC(8, RIEST)
095      CALL CORED
096      END
097      C
098      C
099      SUBROUTINE POSCO(RIGK,AUX1, NP7)
100      C          POSICIONA OS DESLOCS INDEPS NAS ULTIMAS COLUNAS
101      INTEGER PONT
102      DOUBLE PRECISION RIGK(28,28), AUX1(4,28)
103      NPIL=NP7/7
104      DO 40 I=1, NPIL
105      PCNT=7*(I-1)
106      C          MOVE AS COLUNAS DE (PONT) A (PONT+1) I-1
107      C          PARA TRAS
108      IF(I.EQ.1) GO TO 20
109      NPOSI=I-1
110      DO 10 J=1, 2
111      DO 10 K=1, NP7
112      10 RIGK(K, PONT+J-NPOSI)=RIGK(K, PONT+J)
113      C          SALVA A TERCEIRA COLUNA APOS PONT
114      DO 30 J=1, NP7
115      30 AUX1(I,J)=RIGK(J, PONT+3)
116      C          MOVE COLUNAS DE (PONT+4) A (PONT+7) I PARA TRAS
117      DO 40 J=PONT+4, PONT+7
118      DO 40 K=1, NP7
119      40 RIGK(K, J-I)=RIGK(K, J)
120      C          DEVOLVE AS COLUNAS RETIRADAS
121      PONT=NP7-NPIL
122      DO 50 I=1, NPIL
123      DO 50 J=1, NP7
124      50 RIGK(J, PONT+I)=AUX1(I, J)
125      END
126      C
127      C
128      SUBROUTINE POSLI(RIGK,AUX1, NP7)
129      C          POSICIONA OS DESLOCS INDEPS NAS ULTIMAS LINHAS
130      INTEGER PONT
131      DOUBLE PRECISION RIGK(28,28), AUX1(4,28)
132      NPIL=NP7/7
133      DO 40 I=1, NPIL
134      PONT=7*(I-1)
135      C          MOVE AS LINHAS DE (PONT) A (PONT+1) I-1
136      C          PARA TRAS
137      IF(I.EQ.1) GO TO 20
138      NPOSI=I-1
139      DO 10 J=1, 2
140      DO 10 K=1, NP7
141      10 RIGK(PONT+J-NPOSI, K)=RIGK(PONT+J, K)
142      C          SALVA A TERC LINHA APOS PONT
143      DO 30 J=1, NP7
144      30 AUX1(I, J)=RIGK(PONT+3, J)
145      C          MOVE AS LINHAS DE (PONT+4) A (PONT+7) I PARA TRAS
146      DO 40 J=PONT+4, PONT+7
147      DO 40 K=1, NP7
148      40 RIGK(J-I, K)=RIGK(J, K)

```

```

149 C          DEVOLVE AS LINHAS RETIRADAS
150          PONT=NP7-NPIL
151          DO 50 I=1, NPIL
152          DO 50 J=1, NP7
153          50 RIGK(PONT+I,J)=AUX1(I,J)
154          END
155 $

```

f.5) Segmento RIEST

```

001 FTN4
002          PROGRAM RIEST(5)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
006 C-----
007          DOUBLE PRECISION RIGAND(20,20),AUX(56),
008          *RIGEST(4000)
009          INTEGER AND,AGRAN(3),AGRES(3),AQIND(3),LOADS(3)
010          *,INDI(200)
011          DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
012          *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
013          INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
014          *,ITRB(1024)
015          COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
016          *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
017          *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
018          DATA AGRAN,AGRES,AQIND,LOADS/2HAQ,2HRA,1HN,2HAQ,2HRE,1HS,
019          *2HAQ,2HIN,1HD,2HLO,2HAD,1HS/
020          IBN(K,L)=INDI(MIN0(K,L))+IABS(K-L)
021          LB2=LB/2
022          CALL INBA(INDI)
023          LB1=LB-1
024          DO 10 I=1,NROEL
025          10 RIGEST(I)=0.
026          DO 20 I=1,LB
027          CALL EXEC(24,6,AGRAN,I,AUX,IER)
028          CALL TESTE(208)
029          DO 20 J=1,LB
030          20 RIGAND(I,J)=AUX(J)
031          DO 40 AND=1,NAND
032          INDICE=LB2*(AND-2)
033          DO 40 I=1,LH
034          I1=I+INDICE
035          IF(I1.LE.0)GO TO 40
036          DO 30 J=I,LB
037          IJJ=IBN(I1,J+INDICE)
038          30 RIGEST(IJJ)=RIGEST(IJJ)+RIGAND(I,J)
039          40 CONTINUE
040          NREG=NROEL/50+MIN0(1,MOD(NROEL,50))
041          CALL GRLE1(8,RIGEST,1,NREG)
042          NREG=NDESL/50+MIN0(1,MOD(NDESL,50))
043          CALL GRLE2(8,INDI,NREG)
044          CALL EXEC(8,LOADS)
045          CALL CORED
046          END
047 C
048 C
049          SUBROUTINE INBA(INDI)
050          INTEGER INDI(1)
051          DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
052          *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
053          INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
054          *,ITRB(1024)
055          COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
056          *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,

```

```

057      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
058 C          GERA OS INDICES INICIAIS DAS LINHAS NO VETOR DE
059 C          RIGIDEZ DA ESTRUTURA
060          LB1=LB-1
061          L=0
062          INDIC=-LB1
063          DO 10 I=NDESL-LB1,-LB1+1,-1
064          L=L+1
065          INDIC=INDIC+LB
066          IF(I.LT.0)INDIC=INDIC+I
067      10 INDI(L)=INDIC
068          END
069 $

```

f.6) Segmento LOADS

```

001 FTN4
002      PROGRAM LOADS(5)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          CARREGAMENTOS NA ESTRUTURA
006 C-----
007          INTEGER ANDINI,ANDFIM,DESLO(3),ANDAR
008          DOUBLE PRECISION FX,FY,MX,MY,T,FZ(4),CARGAS(10)
009          *,FORCAS(200),BIMOM
010          DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
011          *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
012          INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
013          *,ITRB(1024)
014          COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
015          *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
016          *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
017          DATA DESLO/2HDE,2HSL,1H0/
018          NREG1=NROEL/50+MIN0(1,MOD(NROEL,50))
019          NREG2=NDESL/50+MIN0(1,MOD(NDESL,50))
020          LB2=LB/2
021          DO 10 I=1,NDESL
022      10 FORCAS(I)=0.
023          NCAR=NCAR+1
024          CALL FOLHA
025          WRITE(6,5)NCAR,(I,I=1,NPIL)
026      5 FORMAT(" ***CARREGAMENTO NRO="I4/" ANDARES CARGAS NO DIAFRAGMA"
027          *" (EIXOS DA ESTRUTURA)"23X"CARGAS NA DIR. Z NO C.C. DOS PILARES"/
028          *" INIC FIM FORC X"4X"FORC Y"5X" MOM X"5X" MOM Y"5X" TORCOR",
029          *,3X,"BIMOMENTO"6(7X,I1,1X))
030      20 READ(5,*)ANDINI,ANDFIM,FX,FY,MX,MY,T,BIMOM,(FZ(I),I=1,NPIL)
031          WRITE(6,15)ANDINI,ANDFIM,FX,FY,MX,MY,T,BIMOM,(FZ(I),I=1,NPIL)
032      15 FORMAT(2I5,12F10.2)
033 C          ACUMULO DA INFLUENCIA DE FZ EM MX E MY
034          DO 30 I=1,NPIL
035          MX=MX+FZ(I)*YCCPIL(I)
036      30 MY=MY-FZ(I)*XCCPIL(I)
037 C          EXPANSAO DAS CARGAS DO ANDAR INICIAL AO FINAL
038          CARGAS(1)=FX
039          CARGAS(2)=FY
040          CARGAS(3)=MX
041          CARGAS(4)=MY
042          CARGAS(5)=T
043          CARGAS(6)=BIMOM
044          DO 40 I=1,NPIL
045      40 CARGAS(I+6)=FZ(I)
046          DO 50 ANDAR=ANDINI,ANDFIM
047          INDICE=LB2*(ANDAR-1)

```

```

048      DO 50 I=1,LR2
049      50 FORCAS(I+INDICE)=CARGAS(I)
050      IF(ANDFIN,NE,NAND)GO TO 20
051      CALL GRLE1(8,FORCAS,NREG1+1,NREG2)
052      CALL EXEC(8,DESLO)
053      CALL CORED
054      END
055 $

```

f.7) Segmento DESLO

```

001 FTN4
002      PROGRAM DESLO(5)
003 C-----
004 C-----      TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----      CALCULO DOS DESLOCS DO DIAFRAGMA
006 C-----
007      INTEGER ESFOR(3),INDI(200)
008      DOUBLE PRECISION RIGEST(4000),FORCAS(200),DESLOC(200)
009      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
011      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),
012      *IOTB(128),ITRB(1024)
013      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP,
014      *XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
016      EQUIVALENCE (FORCAS(1),DESLOC(1))
017      DATA ESFOR/2HES,2HFO,1HR/
018 C
019      LEITURA DA MAT. DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA E SEUS INDICES
020      NREG1=NROEL/50+MINO(1,MOD(NROEL,50))
021      CALL GRLE1(6,RIGEST,1,NREG1)
022      NREG2=NDESL/50+MINO(1,MOD(NDESL,50))
023      CALL GRLE1(6,FORCAS,NREG1+1,NREG2)
024      CALL GRLE2(6,INDI,NREG2)
025      IF(NCAR,NE.1)GO TO 10
026      CALL DECOM(RIGEST,INDI)
027      CALL GRLE1(8,RIGEST,1,NREG1)
028      10 CALL SOLV(RIGEST,INDI,FORCAS,DESLOC)
029      CALL GRLE1(8,DESLOC,NREG1+1,NREG2)
030      CALL EXEC(8,ESFOR)
031      CALL CORED
032      END

```

f.8) Segmento ESFOR

```

001 FTN4
002      PROGRAM ESFOR(5)
003 C-----
004 C-----      TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----      DESLOCAMENTOS DOS NOS, ESFORCOS NOS PILARES
006 C-----      TENSOES LONG NOS N'OS E ESFORCOS NOS LINTEIS
007 C-----
008      DOUBLE PRECISION DESLOC(200),DIAF(6)
009      INTEGER LOADS(3),ANDAR
010      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
011      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
012      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
013      *,ITRB(1024)

```

```

014      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
015      *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
016      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
017      DATA LOADS/2HLO,2HAD,1HS/
018      NREG1=NROEL/50+MIN0(1,MOD(NROEL,50))
019      NREG2=NDESL/50+MIN0(1,MOD(NDESL,50))
020      CALL GRLE1(6,DESLOC,NREG1+1,NREG2)
021      LB2=LB/2
022  C      IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA
023      WRITE(6,25)NCAR
024      25 FORMAT(4/" DESLOCAMENTOS DO DIAFRAGMA (CARREGAMENTO NRO="I4
025      *")"/" ANDAR"5X"DESLOC X"
026      *7X"DESLOC Y"7X"ROTACAO X"7X"ROTACAO Y"7X"ROTACAO Z"7X"DER ROTAC"
027      *" Z"/)
028      DO 70 ANDAR=1,NAND
029      INDICE=LB2*(ANDAR-1)
030      DO 60 J=1,6
031      60 DIAF(J)=DESLOC(J+INDICE)/E
032      70 WRITE(6,35)ANDAR,DIAF
033      35 FORMAT(I6,6E16.7)
034      CALL ESPIL(DESLOC)
035      IF(NLINT.GT.0)CALL ESLIN(DESLOC)
036      IF(NCAR.EQ.NTCARG)CALL CORED
037      CALL EXEC(8,LOADS)
038      END
039  $

```

f.9) Subprograma PROPI

```

001  FTN4
002      SUBROUTINE PROPI(PILAR,NINIC,NFIM,ESPES,X,Y,W,IXEP,IYEP,JT,
003      *XCGEP,YCGEP,ALFA)
004  C-----
005  C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
006  C-----          CALCULO DAS PROPRIEDADES GEOMETRICAS DOS PILARES
007  C-----
008      INTEGER PILAR,NINIC(1),NFIM(1),PARED
009      DOUBLE PRECISION ESP,ESPES(1),X(1),Y(1),XL,YL,COMP,AREAPA,XCGPA,
010      *YCGPA,AREAX,AREAY,IIX,IY,IIXY,SAREA,SAREAX,SAREAY,JJW,JT,XCGPI,
011      *YCGPI,WY,WX,WA,XCC,YCC,W(1),ALFA,IXEP,IYEP,XCGEP,YCGEP,AREA(20)
012      *,REVX,REY,SINALF,COSALF
013      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
014      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
015      *,DIF
016      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
017      *,ITRB(1024)
018      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
019      *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
020      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
021      IY=0.
022      IIX=0.
023      IIXY=0.
024      SAREA=0.
025      SAREAX=0.
026      SAREAY=0.
027      JJW=0.
028      JT=0.
029      WY=0.
030      WX=0.
031      WA=0.
032      NPARED=IJP(PILAR+1)-IJP(PILAR)-1
033      IJPIL=IJP(PILAR)
034      W(IJPIL+1)=0.

```

```

035      DO 10 PARED=1, NPARED
036      NOI=NINIC(PARED)
037      NOF=NFIM(PARED)
038      ESP=ESPES(PARED)
039  C          CALCULO DAS PROPS DO PILAR ADOTANDO-SE COMO ORIG.OS
040  C          EIXOS DA ESTRUTURA
041      XL=X(NOF)-X(NOI)
042      YL=Y(NOF)-Y(NOI)
043      COMP=DSQRT(XL*XL+YL*YL)
044      AREAPA=COMP*ESP
045      AREA(PARED)=AREAPA
046      XCGPA=0.5*(X(NOI)+X(NOF))
047      YCGPA=0.5*(Y(NOI)+Y(NOF))
048      AREAX=AREAPA*XCGPA
049      AREAY=AREAPA*YCGPA
050      IIY=IIY+AREAX*XCGPA+AREAPA*XL*XL/12.
051      IIX=IIX+AREAY*YCGPA+AREAPA*YL*YL/12.
052      IIXY=IIXY+AREAPA*XCGPA*YCGPA+AREAPA*XL*YL/12.
053      SAREA=SAREA+AREAPA
054      SAREAX=SAREAX+AREAX
055      SAREAY=SAREAY+AREAY
056  10  JT=JT+COMP*ESP*ESP*ESP
057      JT=JT/3.
058  C          CALCULO DO C.G. DO PILAR E REVISAO DAS COORDS DOS NOS
059  C          E PARAMETROS DO PILAR ,ADOTANDO-SE COMO ORIGEM O C.G.
060      XCGPI=SAREAX/SAREA
061      YCGPI=SAREAY/SAREA
062      IIX=IIX-SAREA*YCGPI*YCGPI
063      IIY=IIY-SAREA*XCGPI*XCGPI
064      IIXY=IIXY-SAREA*XCGPI*YCGPI
065      NNOS=NPARED+1
066      DO 20 J=1, NNOS
067      JJ=J+IJPIL
068      X(JJ)=X(JJ)-XCGPI
069  20  Y(JJ)=Y(JJ)-YCGPI
070  C          CALCULO DAS PROPIEDADES SETORIAIS USANDO-SE COMO
071  C          POLO O C.G. E COMO ORIGEM DOS RAIOS SETORIAIS O NO 1
072      DO 30 PARED=1, NPARED
073      NOI=NINIC(PARED)
074      NOF=NFIM(PARED)
075      XL=X(NOF)-X(NOI)
076      YL=Y(NOF)-Y(NOI)
077      XCGPA=0.5*(X(NOI)+X(NOF))
078      YCGPA=0.5*(Y(NOI)+Y(NOF))
079      W(NOF)=W(NOI)-Y(NOI)*XL+X(NOI)*YL
080      AREAPA=AREA(PARED)
081      WY=WY+(W(NOI)*YCGPA+0.5*(W(NOF)-W(NOI))*(Y(NOF)-YL/3.))*AREAPA
082  30  WX=WX+(W(NOI)*XCGPA+0.5*(W(NOF)-W(NOI))*(X(NOF)-XL/3.))*AREAPA
083  C          COORDENADAS DO CENTRO DE CIZALHAMENTO
084      XCC=XCGPI+(IIY*WY-IIXY*WX)/(IIX*IIY-IIXY*IIXY)
085      YCC=YCGPI-(IIX*WX-IIXY*WY)/(IIX*IIY-IIXY*IIXY)
086  C          REVISAO DAS COORDENADAS TOMANDO COMO ORIGEM O C.C.
087      REVX=XCC-XCGPI
088      REVY=YCC-YCGPI
089      DO 40 J=1, NNOS
090      INDICE=IJPIL+J
091      X(INDICE)=X(INDICE)-REVX
092  40  Y(INDICE)=Y(INDICE)-REVY
093      XCGPI=XCGPI-XCC
094      YCGPI=YCGPI-YCC
095      XCGPIL(PILAR)=XCGPI
096      YCGPIL(PILAR)=YCGPI
097      XCCPIL(PILAR)=XCC
098      YCCPIL(PILAR)=YCC
099  C          CALCULO DAS PROPIEDADES SETORIAIS, USANDO-SE COMO
100  C          POLO O C.C. E ORIGEM DOS RAIOS SET. O NO 1
101      DO 50 PARED=1, NPARED
102      NOI=NINIC(PARED)
103      NOF=NFIM(PARED)

```

```

104      W(NOF)=W(NOI)-Y(NOI)*(X(NOF)-X(NOI))+X(NOI)*(Y(NOF)-Y(NOI)).
105      50 WA=WA+AREA(PARED)*(W(NOI)+W(NOF))*0.5
106      C          CALCULO DO RAO SETORIAL PRINCIPAL PARA CORRECAO
107      C          DAS AREAS SETORIAIS DEVIDO A DIFER NA ESCOLHA
108      C          DA ORIGEM
109      WA=WA/SAREA
110      WRITE(6,5)
111      5 FORMAT(///" PROPRIEDADES DO PILAR"/8X"COORDS COM REL AO C.C."/
112      *3X,"NO"8X"X"11X"Y"5X"AREA SETORIAL")
113      DO 60 J=1,NNOS
114      JJ=IJPIL+J
115      W(JJ)=W(JJ)-WA
116      60 WRITE(6,15)J,X(JJ),Y(JJ),W(JJ)
117      15 FORMAT(15,3F12.3)
118      C          CALCULO DO MOMENTO DE INERCIA SETORIAL
119      DO 70 PARED=1,NPARED
120      NOI=NINIC(PARED)
121      NOF=NFIM(PARED)
122      70 JJW=JJW+AREA(PARED)*(W(NOI)*W(NOI)+W(NOI)*W(NOF)+W(NOF)*W(NOF))/3.
123      WRITE(6,25)XCC,YCC,SAREA,JT,JJW,XCGPI,YCGPI,IIX,IYY,IIXY
124      25 FORMAT(/" CENTRO CIZALH"6X"X ="F10.3" (COORDS COM RELAC."/
125      *20X"Y ="F10.3" AOS EIXOS DA ESTRUT.)"/
126      *" AREA"17X"="F10.3/" MOM INERCIA TORCAO ="E16.7/
127      *" MOM INERCIA SETORIAL ="E16.7//" CENTRO DE GRAVIDADE"
128      *" (COORDS E MOM DE INERCIAS)"/10X"COORDS COM REL. AO C.C."/
129      *3X"EIXOS"8X"X"11X"Y"9X"IX"14X"Y"14X"IXY"/3X"ESTR"
130      *2F12.3,3E16.7)
131      AREAPI(PILAR)=SAREA
132      IX(PILAR)=IIX
133      IY(PILAR)=IYY
134      IXY(PILAR)=IIXY
135      JW(PILAR)=JJW
136      C          CALCULO DOS EIXOS PRINCIPAIS E MOM. DE INERCIA
137      DIF=IIX-IYY
138      ALFA=.785398163500
139      IF(IIX.LT.0.)ALFA=-.785398163500
140      IF(DABS(DIF).GE.1.E-6)ALFA=0.5D0*ATAN(SNGL(-2.*IIXY/DIF))
141      IF(DIF.GE.0.)GO TO 90
142      IF(ALFA.EQ.0.)ALFA=-1.E-38
143      ALFA=ALFA-DSIGN(1.570796327D0,ALFA)
144      90 SINALF=SIN(SNGL(ALFA))
145      COSALF=COS(SNGL(ALFA))
146      IXEP=IIX*COSALF*COSALF+IYY*SINALF*SINALF-2.*IIXY*SINALF*COSALF
147      IYEP=IIX*SINALF*SINALF+IYY*COSALF*COSALF+2.*IIXY*SINALF*COSALF
148      IXYEP=0.
149      XCGEP=XCGPI*COSALF+YCGPI*SINALF
150      YCGEP=-XCGPI*SINALF+YCGPI*COSALF
151      WRITE(6,35)XCGEP,YCGEP,IXEP,IYEP,IXYEP
152      35 FORMAT(3X"PRIN"2F12.3,3E16.7)
153      END
154      $

```

6.10) Subprograma RIPIL

```

001      FTN4
002      SUBROUTINE RIPIL(PILAR,JT,IXEP,IYEP,XCGEP,YCGEP,BETA,RIGAN)
003      C-----
004      C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005      C-----          GERACAO DA MAT DE RIGIDEZ DE CADA PILAR COM REL
006      C-----          AOS EIXOS PRINCIPAIS E INCLUSAO DESTA NA DO ANDAR
007      C-----
008      INTEGER PILAR,DESLOC,AQPIL(3)
009      *,PONT1,PONT2
010      *,AGRAN(3)
011      DOUBLE PRECISION JT,IXEP,IYEP,XCGEP,YCGEP,BETA,RIGAN(56),C1,C2
012      *,C3,C4,JJW

```

```

013      *,ALFA,ALFAH,CH,SH,GJTB,CB,SB,T(7,7),TEMP(14,14),SOMA,COSH,SINH
014      *,X,RIGPIL(14,14)
015      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
016      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
017      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
018      *,ITRB(1024)
019      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
020      *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
021      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
022      DATA AGPIL/2HAQ,2HPI,1HL/
023      *,AQRAN/2HAQ,2HRA,1HN/
024      COSH(X)=0.5*(DEXP(X)+DEXP(-X))
025      SINH(X)=0.5*(DEXP(X)-DEXP(-X))
026      DO 5 I=1,14
027      DO 5 J=1,14
028      5 RIGPIL(I,J)=0.
029      DO 7 I=1,7
030      DO 7 J=1,7
031      7 T(I,J)=0.
032      C1=0.5/(1.+MI)
033      C2=6./H/H
034      C3=12./H/H/H
035      C4=AREAPI(PILAR)/H
036      JJW=JW(PILAR)
037      IF(JJW.LE.1.0D-6)GO TO 6
038      ALFA=DSGRT(C1*JT/JJW)
039      ALFAH=ALFA*H
040      CH=COSH(ALFAH)
041      SH=SINH(ALFAH)
042      GJTB=C1*JT/(2.-2.*CH+ALFAH*SH)
043      C      GERACAO DE [K11]
044      6 RIGPIL(1,1)=C3*IYEP
045      RIGPIL(1,5)=C2*IYEP
046      RIGPIL(2,2)=C3*IXEP
047      RIGPIL(2,4)=-C2*IXEP
048      RIGPIL(3,3)=C4
049      RIGPIL(3,4)=C4*YCGEP
050      RIGPIL(3,5)=-C4*XCGEP
051      RIGPIL(4,4)=4.*IXEP/H+C4*YCGEP*YCGEP
052      RIGPIL(4,5)=-C4*XCGEP*YCGEP
053      RIGPIL(5,5)=4.*IYEP/H+C4*XCGEP*XCGEP
054      IF(JJW.LE.1.0D-6)GO TO 8
055      RIGPIL(6,6)=+ALFA*SH*GJTB
056      RIGPIL(6,7)=-GJTB*(1.-CH)
057      RIGPIL(7,7)=GJTB*(H*CH-SH/ALFA)
058      GO TO 9
059      8 RIGPIL(6,6)=C1*JT/H
060      C      GERACAO DE [K12]
061      9 RIGPIL(1,8)=-RIGPIL(1,1)
062      RIGPIL(1,12)=RIGPIL(1,5)
063      RIGPIL(2,9)=-RIGPIL(2,2)
064      RIGPIL(2,11)=RIGPIL(2,4)
065      RIGPIL(3,10)=-RIGPIL(3,3)
066      RIGPIL(3,11)=-RIGPIL(3,4)
067      RIGPIL(3,12)=-RIGPIL(3,5)
068      RIGPIL(4,9)=-RIGPIL(2,4)
069      RIGPIL(4,10)=-RIGPIL(3,4)
070      RIGPIL(4,11)=2.*IXEP/H-C4*YCGEP*YCGEP
071      RIGPIL(4,12)=-RIGPIL(4,5)
072      RIGPIL(5,8)=-RIGPIL(1,5)
073      RIGPIL(5,10)=-RIGPIL(3,5)
074      RIGPIL(5,11)=-RIGPIL(4,5)
075      RIGPIL(5,12)=2.*IYEP/H-C4*XCGEP*XCGEP
076      RIGPIL(6,13)=-RIGPIL(6,6)
077      RIGPIL(6,14)=RIGPIL(6,7)
078      RIGPIL(7,13)=-RIGPIL(6,7)
079      IF(JJW.GT.1.0D-6)RIGPIL(7,14)=GJTB*(SH/ALFA-H)

```



```

080 C          GERACAO DE [K22]
081      DC 10 I=1,7
082      DO 10 J=I,7
083      10 RIGPIL(I+7,J+7)=RIGPIL(I,J)
084      RIGPIL(8,12)=-RIGPIL(8,12)
085      RIGPIL(9,11)=-RIGPIL(9,11)
086      RIGPIL(13,14)=-RIGPIL(13,14)
087 C          GERACAO DA PARTE SIMETRICA DE [K]
088      DO 20 I=1,13
089      DO 20 J=I+1,14
090      20 RIGPIL(J,I)=RIGPIL(I,J)
091 C          GERACAO DA MATRIZ DE ROTACAO [T]
092      SB=SIN(SNGL(BETA))
093      CB=COS(SNGL(BETA))
094      T(1,1)=CB
095      T(1,2)=SB
096      T(2,1)=-SB
097      T(2,2)=CB
098      T(3,3)=1.
099      DO 30 I=1,2
100      DO 30 J=1,2
101      30 T(I+3,J+3)=T(I,J)
102      T(6,6)=1.
103      T(7,7)=1.
104 C          CALCULO DE [RIGPIL]X[T] COLOCANDO EM [TEMP]
105      DO 50 I=1,14
106      DESLOC=0
107      DO 50 J=1,14
108      SOMA=0.
109      IF(J.GT.7)DESLOC=7
110      ICT=J-DESLOC
111      DO 40 K=1,7
112      40 SOMA=SOMA+RIGPIL(I,K+DESLOC)*T(K,ICT)
113      50 TEMP(I,J)=SOMA
114 C          CALCULO DE [T]TR X [RIGPIL] X [T] COLOC EM [RIGPIL]
115      DESLOC=0
116      DO 70 I=1,14
117      IF(I.GT.7) DESLOC=7
118      ICT=I-DESLOC
119      DO 70 J=1,14
120      SOMA=0.
121      DO 60 K=1,7
122      60 SOMA=SOMA+T(K,ICT)*TEMP(K+DESLOC,J)
123      70 RIGPIL(I,J)=SOMA
124      INDICE=14*(PILAR-1)
125      DO 80 I=1,14
126      CALL EXEC(24,8,AQPIL,INDICE+I,RIGPIL(1,I),IER)
127      CALL TESTE(128)
128      80 CONTINUE
129 C          INCLUSAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO PILAR NA DO ANDAR
130      PONT1=7*(PILAR-1)
131      PONT2=PONT1+7*(NPIL-1)
132      INDL=PONT1
133      DO 130 INICIO=1,8,7
134      DO 120 LINHA=INICIO,INICIO+6
135      CALL EXEC(24,6,AQRAN,INDL+LINHA,RIGAN,IER)
136      CALL TESTE(138)
137      DO 100 J=1,7
138      100 RIGAN(PONT1+J)=RIGAN(PONT1+J)+RIGPIL(LINHA,J)
139      DO 110 J=8,14
140      110 RIGAN(PONT2+J)=RIGAN(PONT2+J)+RIGPIL(LINHA,J)
141      CALL EXEC(24,8,AQRAN,INDL+LINHA,RIGAN,IER)
142      CALL TESTE(148)
143      120 CONTINUE
144      130 INDL=PONT2
145      END
146 S

```

f.11) Subprograma DECOM

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE DECOM(RIGEST,INDI)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          DECOMPOSICAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
006 C-----
007 DOUBLE PRECISION RIGEST(1),SOMA,AUX
008 INTEGER INDI(1)
009 DCURLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010 *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
011 INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
012 *,ITRB(1024)
013 COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
014 *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015 *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
016 C          METODO UTILIZADO
017 C          U(I,I)=SQRT(X(I,I)-SOMAT DE (U(K,I)**2)), K=1,I-1
018 C          U(I,J)=(X(I,J)-SOMAT DE (U(K,I)*U(K,J))) /U(I,I)
019 C          K=1,I-1
020 IBN(K,L)=INDI(MINO(K,L))+IABS(K-L)
021 LBI=LB-1
022 DO 40 I=1,NDESL
023 MAXCO=MINO(I+LBI,NDESL)
024 KMAX=I-1
025 DO 40 J=I,MAXCO
026 IJ=IBN(I,J)
027 SOMA=RIGEST(IJ)
028 IF(I.EQ.1)GO TO 20
029 KMIN=MAXO(1,J-LBI)
030 IF(KMIN.GT.KMAX)GO TO 30
031 DO 10 K=KMIN,KMAX
032 10 SOMA=SOMA-RIGEST(IBN(K,I))*RIGEST(IBN(K,J))
033 C          VERIFICACAO SE EL. (I,J) PERTENCE A DIAGONAL
034 20 IF(I.NE.J)GO TO 30
035 IF(SOMA.LE.0.)GO TO 50
036 AUX=DSQRT(SOMA)
037 RIGEST(IJ)=AUX
038 GO TO 40
039 30 RIGEST(IJ)=SOMA/AUX
040 40 CONTINUE
041 GO TO 60
042 50 WRITE(6,15)I,SOMA
043 15 FORMAT(" DIAGONAL" I4" NAO E POSITIVA DEF. E TEM COMO VALOR="
044 *E16.7)
045 STOP 1111
046 60 END
047 5

```

f.12) Subprograma SOLV

```

001 FTN4
002 SUBROUTINE SOLV(RIGEST,INDI,FORCAS,DESLOC)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          RESOLUCAO DO SISTEMA A PARTIR DA MAT JA DECOMP.
006 C-----
007 DOUBLE PRECISION RIGEST(1),FORCAS(1),DESLOC(1),SOMA
008 INTEGER INDI(1)
009 DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010 *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)

```

```

011     INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
012     *,ITRB(1024)
013     COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
014     *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015     *JINIL,JFIML,ICTB,ITRB
016     IBN(K,L)=INDI(MINO(K,L))+IABS(K-L)
017 C           SUBSTITUICAO PARA A FRENTE
018 C           DESLOC(I)=(FORCAS(I)-SOMAT DE (U(K,I)*DESLOC(K)))/
019 C                /U(I,I) PARA K=1,I-1
020     LB1=LB-1
021     DO 20 I=1,NDESL
022     SOMA=FORCAS(I)
023     IF(I.EQ.1)GO TO 20
024     KMIN=MAX0(1,I-LB1)
025     KMAX=I-1
026     DO 10 K=KMIN,KMAX
027     10 SOMA=SOMA-RIGEST(IBN(K,I))*DESLOC(K)
028     20 DESLOC(I)=SOMA/RIGEST(IBN(I,I))
029 C           SUBSTITUICAO PARA TRAS
030 C           DESLOC(I)=(DESLOC(I)-SOMAT DE (U(I,K)*DESLOC(K)))/
031 C                /U(I,I) PARA K=I+1,NDESL
032     DO 40 II=1,NDESL
033     I=NDESL-II+1
034     SOMA=DESLOC(I)
035     IF(II.EQ.1)GO TO 40
036     KMIN=I+1
037     KMAX=MIN0(NDESL,I+LB1)
038     DO 30 K=KMIN,KMAX
039     30 SOMA=SOMA-RIGEST(IBN(I,K))*DESLOC(K)
040     40 DESLOC(I)=SOMA/RIGEST(IBN(I,I))
041     END
042 $

```

§.13) Subprograma ESPIL

```

001 FTN4
002     SUBROUTINE ESPIL(DESLOC)
003 C-----
004 C-----     TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----     CALCULO DOS DESLOC. DOS NO'S, ESFORCOS NOS PILARES
006 C-----     E TENSOES LONGITUDINAIS NOS NO'S
007     INTEGER PILAR,ANDAR,AQPIL(3),AGNOS(3)
008     DOUBLE PRECISION XCC,YCC,XX,YY,DESLX,DESLY,DESLZ,ROTX,ROTY,ROTZ,
009     *DESLPI(14),DESLOC(1),IIX,IYY,IIXY,C1,JJW,SOMA,RIGPIL(14,14),
010     *FPIL(14),AREA,XCG,YCG,X(40),Y(40),W(40)
011     DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
012     *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
013     INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
014     *,ITRB(1024)
015     COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
016     *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
017     *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
018     DATA AQPIL,AGNOS/2HAQ,2HPI,1HL,2HAQ,2HNO,1HS/
019     LB2=LB/2
020 C           CALCULO DOS DESLOCAMENTOS DOS NOS
021     CALL EXEC(24,6,AGNOS,1,X,IER)
022     CALL TESTE(548)
023     CALL EXEC(24,6,AGNOS,2,Y,IER)
024     CALL TESTE(558)
025     CALL EXEC(24,6,AGNOS,3,W,IER)
026     CALL TESTE(568)
027     DO 10 PILAR=1,NPIL
028     CALL FOLHA

```

```

029     WRITE(6,5)PILAR,NCAR
030     5 FORMAT(" ***PILAR="I4" (CARREGAMENTO NRO="I4")"/
031     *" DESLOCAMENTOS DOS NOS"/" ANDAR NO"
032     *6X"DESLOC X"7X"DESLOC Y"7X"DESLOC Z"7X"ROTACAO X"7X"ROTACAO Y"
033     *7X"ROTACAO Z")
034     XCC=XCCPIL(PILAR)
035     YCC=YCCPIL(PILAR)
036     IJPIL=IJP(PILAR)
037     NNOS=IJP(PILAR+1)-IJP(PILAR)
038     LINHA=3
039     NNOS1=NNOS+1
040     DO 10 ANDAR=1,NAND
041     INDICE=LB2*(ANDAR-1)
042     LINHA=LINHA+NNOS1
043     IF(LINHA.LE.60)GO TO 6
044     CALL FOLHA
045     WRITE(6,5)PILAR,NCAR
046     LINHA=3+NNOS1
047     6 WRITE(6,15)ANDAR
048     15 FORMAT(/"*"I5)
049     CALL DESPI(DESLOC,XCC,YCC,PILAR,DESLPI,INDICE,0)
050     DO 10 NO=1,NNOS
051     II=IJPIL+NO
052     XX=X(II)
053     YY=Y(II)
054     C     DESLOC DOS NOS = DESLOC DO PILAR X MATRIZ DE CORPO RI
055     DESLX=(DESLPI(1)-YY*DESLPI(6))/E
056     DESLY=(DESLPI(2)+XX*DESLPI(6))/E
057     DESLZ=(DESLPI(3)+YY*DESLPI(4)-XX*DESLPI(5)-W(II)*DESLPI(7))/E
058     ROTX=(DESLPI(4)-XX*DESLPI(7))/E
059     ROTY=(DESLPI(5)-YY*DESLPI(7))/E
060     ROTZ=DESLPI(6)/E
061     10 WRITE(6,25)NO,DESLX,DESLY,DESLZ,ROTX,ROTY,ROTZ
062     25 FORMAT(6X,I4,6E16.7)
063     C     CALCULO DOS ESFORÇOS NOS PILARES E TENS LONG NOS
064     DO 90 PILAR=1,NPIL
065     CALL FOLHA
066     WRITE(6,35)PILAR,NCAR
067     35 FORMAT(" ***PILAR="I4" (CARREGAMENTO NRO="I4")"/39X
068     *"FORÇAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO"
069     *" PILAR"/" ANDAR"10X"FORÇA X"7X"FORÇA Y"7X"FORÇA Z"9X"MMOM X"
070     *9X"MMOM Y"8X"TORCOR"9X"BMOM"2X"N"0 TENS. LONG.")
071     LINHA=3
072     XCC=XCCPIL(PILAR)
073     YCC=YCCPIL(PILAR)
074     XCG=XCGPIL(PILAR)
075     YCG=YCGPIL(PILAR)
076     IIX=IX(PILAR)
077     IIY=IY(PILAR)
078     IIXY=IXY(PILAR)
079     C1=IIX*IIY-IIXY*IIXY
080     JJW=JW(PILAR)
081     AREA=AREAPI(PILAR)
082     IJPIL=IJP(PILAR)
083     I1=14*(PILAR-1)
084     NNOS=IJP(PILAR+1)-IJP(PILAR)
085     NNOS23=2*NNOS+3
086     DO 20 I=1,14
087     CALL EXEC(24,6,AQPIL,I+I1,RIGPIL(1,I),IER)
088     CALL TESTE(44B)
089     20 CONTINUE
090     DO 90 ANDAR=1,NAND
091     C     DESLOCAMENTOS NA BASE DO ANDAR
092     LINHA=LINHA+NNOS23
093     IF(LINHA.LE.60)GO TO 17
094     CALL FOLHA
095     WRITE(6,35)PILAR,NCAR
096     LINHA=3+NNOS23
097     17 INDICE=LB2*(ANDAR-2)

```

```

098     IF(ANDAR.NE.1)GO TO 40
099     DO 30 I=1,7
100     30 DESLPI(I)=0.
101     GO TO 50
102     40 CALL DESPI(DESLOC,XCC,YCC,PILAR,DESLPI,INDICE,0)
103     C      DESLOCAMENTOS NO TOPO DO PILAR
104     50 INDICE=LB2*(ANDAR-1)
105     CALL DESPI(DESLOC,XCC,YCC,PILAR,DESLPI,INDICE,7)
106     C      ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DO PILAR
107     DO 70 I=1,14
108     SOMA=0.
109     DO 60 K=1,14
110     60 SOMA=SOMA+RIGPIL(I,K)*DESLPI(K)
111     70 FPIL(I)=SOMA
112     WRITE(6,45)ANDAR,(FPIL(I),I=1,7)
113     45 FORMAT(/I6" BASE"7E14.6)
114     C      TENS. LONG. EM TODOS OS N'OS NA BASE DO PILAR
115     CALL TENS(PILAR,FPIL,0,AREA,IIX,IY,IIXY,JW,C1,IJPIL,NNOS,XCG
116     *YCG,X,Y,W)
117     WRITE(6,55)ANDAR,(FPIL(I),I=8,14)
118     55 FORMAT(I6" TOPO"7E14.6)
119     C      TENS. LONG. EM TODOS OS N'OS NO TOPO DO PILAR
120     DO 80 I=8,14
121     80 FPIL(I)=-FPIL(I)
122     CALL TENS(PILAR,FPIL,7,AREA,IIX,IY,IIXY,JW,C1,IJPIL,NNOS,XCG,
123     *YCG,X,Y,W)
124     90 CONTINUE
125     END
126     C
127     C
128     SUBROUTINE TENS(PILAR,FPIL,IND,AREA,IIX,IY,IIXY,JW,C1,IJPIL,
129     *NNOS,XCG,YCG,X,Y,W)
130     INTEGER PILAR
131     DOUBLE PRECISION AREA,XCG,YCG,IIX,IY,IIXY,C1,JW,FPIL(14),
132     *C1,SIGAXI,MXCG,MYCG,SIGFLE,SIGEMP,SIGTOT
133     *X(1),Y(1),W(1)
134     DO 10 NO=1,NNOS
135     I1=IJPIL+NO
136     SIGAXI=-FPIL(3+IND)/AREA
137     MXCG=FPIL(4+IND)-FPIL(3+IND)*YCG
138     MYCG=FPIL(5+IND)+FPIL(3+IND)*XCG
139     SIGFLE=(-MXCG*IY-MYCG*IIXY)*(Y(I1)-YCG)/C1
140     *+(MYCG*IIX+MXCG*IIXY)*(X(I1)-XCG)/C1
141     IF(JW.GE.1.0D-6)GO TO 3
142     SIGEMP=0.0
143     GO TO 4
144     3 SIGEMP=FPIL(7+IND)*W(I1)/JW
145     4 SIGTOT=SIGAXI+SIGFLE+SIGEMP
146     10 WRITE(6,5)NO,SIGTOT
147     5 FORMAT(109X,I3,E14.6)
148     END
149     S

```

f.14) Subprograma ESLIN

```

001     FTN4
002     SUBROUTINE ESLIN(DESLOC)
003     C-----
004     C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005     C-----          CALCULO DOS ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DOS LINTEIS
006     C-----
007     INTEGER P1,P2,AQLIN(3),ANDAR
008     DOUBLE PRECISION DESLOC(1),XCC1,YCC1,XCC2,YCC2,AUX(14),RIGLI(12,
009     *14),DESLI(14),FLIN(12),SOMA
010     DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
011     *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)

```

```

012     INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
013     *,ITRB(1024)
014     COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
015     *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
016     *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
017     DATA AQLIN/2HAQ,2HLI,1HN/
018     LB2=LB/2
019     DO 30 LINTEL=1,NLINT
020     P1=PINIL(LINTEL)
021     P2=PFIML(LINTEL)
022     XCC1=XCCPIL(P1)
023     YCC1=YCCPIL(P1)
024     XCC2=XCCPIL(P2)
025     YCC2=YCCPIL(P2)
026     J1=JINIL(LINTEL)
027     J2=JFIML(LINTEL)
028     CALL FOLHA
029     WRITE(6,5)LINTEL,NCAR
030     5 FORMAT(" ***LINTEL="I4" (CARREGAMENTO NRO="I4")"/
031     *20X"ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DO LINTEL"/" ANDAR PILAR NO"
032     *6X"FORC AXIAL"6X"FORC HORIZ"6X"FORC VERT"7X"TORCOR"10X"DOM HORIZ"
033     *8X"DOM VERT")
034     LINHA=3
035     I1=12*(LINTEL-1)
036     DO 40 I=1,12
037     CALL EXEC(24,6,AQLIN,I+I1,AUX,IER)
038     CALL TESTE(45B)
039     DO 40 J=1,14
040     40 RIGLI(I,J)=AUX(J)
041     DO 30 ANDAR=1,NAND
042     LINHA=LINHA+3
043     IF(LINHA.LE.60)GO TO 7
044     CALL FOLHA
045     WRITE(6,5)LINTEL,NCAR
046     LINHA=5
047     7 INDICE=LB2*(ANDAR-1)
048     CALL DESPI(DESLOC,XCC1,YCC1,P1,DESLI,INDICE,0)
049     CALL DESPI(DESLOC,XCC2,YCC2,P2,DESLI,INDICE,7)
050     DO 20 I=1,12
051     SOMA=0.
052     DO 10 K=1,14
053     10 SOMA=SOMA+RIGLI(I,K)*DESLI(K)
054     20 FLIN(I)=SOMA
055     WRITE(6,15)ANDAR,P1,J1,(FLIN(I),I=1,6)
056     30 WRITE(6,25)P2,J2,(FLIN(I),I=7,12)
057     15 FORMAT(2I6,I4,6E16.7 /)
058     25 FORMAT(I12,I4,6E16.7)
059     END
060     $

```

f.15) Subprograma DESPI

```

001     FTN4
002     SUBROUTINE DESPI(DESLOC,XCC,YCC,PILAR,DESLPI,INDICE,ID)
003     C----
004     C----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005     C----          CALCULO DOS DESLOCS DO C.C. DO PILAR A PARTIR
006     C----          DOS DESLOCS DO DIAFRAGMA
007     C----
008     DOUBLE PRECISION DESLOC(1),XCC,YCC,DESLPI(1)
009     INTEGER PILAR
010     I5=INDICE+5
011     I6=INDICE+6
012     DESLPI(1+ID)=DESLOC(INDICE+1)-YCC*DESLOC(I5)

```

```

013      DESLPI(ID+2)=DESLOC(INDICE+2)+XCC*DESLOC(I5)
014      DESLPI(ID+3)=DESLOC(I6+PILAR)
015      DESLPI(ID+4)=DESLOC(INDICE+3)-XCC*DESLOC(I6)
016      DESLPI(ID+5)=DESLOC(INDICE+4)-YCC*DESLOC(I6)
017      DESLPI(ID+6)=DESLOC(I5)
018      DESLPI(ID+7)=DESLOC(I6)
019      END
020 $

```

f.16) Subprograma GRLE1

```

001 FTN4
002      SUBROUTINE GRLE1(CODIG,MAT,INICIO,NREG)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          LE E ESCREVE NO ARQUIVO "AQRES"
006 C-----
007      INTEGER AQRES(3),CODIG
008      DOUBLE PRECISION MAT(1)
009      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
011      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
012      *,ITRB(1024)
013      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
014      *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
016      DATA AQRES/2HAQ,2HRE,1HS/
017      DO 10 I=INICIO,INICIO+NREG-1
018      I1=50*(I-INICIO)+1
019      CALL EXEC(24,CODIG,AQRES,I,MAT(I1),IER)
020      CALL TESTE(40B)
021      10 CONTINUE
022      END
023 $

```

f.17) Subprograma GRLE2

```

001 FTN4
002      SUBROUTINE GRLE2(CODIG,INDI,NREG)
003 C-----
004 C-----          TECNICA DA ANALISE MATRICIAL
005 C-----          LE E ESCREVE NO ARQUIVO "AQIND"
006 C-----
007      INTEGER CODIG,INDI(1)
008      *,AQIND(3)
009      DOUBLE PRECISION H,E,MI,XCGPIL(4),YCGPIL(4),XCCPIL(4),YCCPIL(4),
010      *AREAPI(4),IX(4),IY(4),IXY(4),JW(4)
011      INTEGER IJP(5),PINIL(10),PFIML(10),JINIL(10),JFIML(10),IOTB(128)
012      *,ITRB(1024)
013      COMMON NAND,NPIL,NLINT,H,E,MI,LB,NDESL,NROEL,NTCARG,NCAR,IJP
014      *,XCGPIL,YCGPIL,XCCPIL,YCCPIL,AREAPI,IX,IY,IXY,JW,PINIL,PFIML,
015      *JINIL,JFIML,IOTB,ITRB
016      DATA AQIND/2HAQ,2HIN,1HD/
017      DO 10 I=1,NREG
018      I1=(I-1)*50+1
019      CALL EXEC(24,CODIG,AQIND,I,INDI(I1),IER)
020      CALL TESTE(41B)
021      10 CONTINUE
022      END
023 $

```

g) Exemplo de impressão dos resultados

O edifício a ser calculado é o apresentado na figura (III.1-10) com quinze andares de 12,5 ft de pé direito. A estrutura é composta por uma única parede de secção aberta, uniforme ao longo da altura, formada por um único canal, com as espessuras de todas as paredes iguais a 1,0 ft, e está submetida a uma carga uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft, concordante em direção e sentido com o eixo x e aplicada no centro do canal. Os lintéis do contraventamento possuem 1,0 ft de espessura e 1,5 ft de altura.

Os números dentro das circunferências da figura (III.1-10) representam os nós, e as setas numeradas, as paredes e suas orientações.

O módulo de elasticidade foi adotado igual a $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e o coeficiente de Poisson, 0,15.

PLANTA

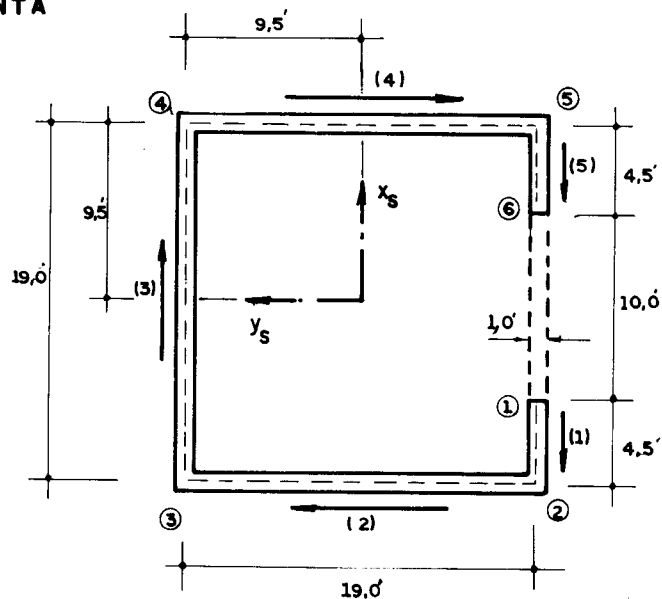


FIG. III. 1-10- EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA

EDIFICIOS COM PAREDES DE SECCAO ABERTA CONTRAVENTADAS (OU NAO) POR LINTEIS (UTILIZACAO DA ANALISE MATRICIAL)
 PAREDE COM 1 CANAL (TARAN-STAF-7466 - UNID(LB-FT))

NRO ANDARES NRO PILARES NRO LINTEIS ALT. ANDAR COEF. POISSON MOD. ELASTICIDADE
 15 1 1 12.500 .150 .5760000E+09

COORDENADAS DOS NO'S COM REL. AOS EIXOS DA ESTRUT.

PILAR	JUNTA	COORD X	COORD Y
1	1	-5.000	-9.500
1	2	-9.500	-9.500
1	3	-9.500	9.500
1	4	9.500	9.500
1	5	9.500	-9.500
1	6	5.000	-9.500

*** PILAR NRO = 1

PROPRIEDADES DAS PAREDES

PAREDE	INICIAL	FINAL	ESPESSURA
1	1	2	1.000
2	2	3	1.000
3	3	4	1.000
4	4	5	1.000
5	5	6	1.000

PROPRIEDADES DO PILAR
COORDS COM REL AO C.C.

NO	X	Y	AREA SETORIAL
1	-5.000	-29.438	213.811
2	-9.500	-29.438	81.341
3	-9.500	-10.438	-99.159
4	9.500	-10.438	99.159
5	9.500	-29.438	-81.341
6	5.000	-29.438	-213.811

CENTRO CIZALH X = -0.000 (COORDS COM RELAC.
Y = 19.938 AOS EIXOS DA ESTRUT.)

AREA	=	66.000
MOM INERCIA TORCAO	=	.2200000E+02
MOM INERCIA SETORIAL	=	.3776288E+06

CENTRO DE GRAVIDADE (COORDS E MOM DE INERCIAS)
COORDS COM REL. AO C.C.

EIXOS	X	Y	IX	IY	IXY
ESTR	.000	-18.498	.3533424E+04	.4489333E+04	.0000000E+00
PRIN	-18.498	-0.000	.4489333E+04	.3533426E+04	.0000000E+00

**LINTEIS

LINTEL	PILAR NO	PILAR NO	LARGURA	ALTURA	AREA	MOM INER HOR	MOM INER VERT	MOM INER TORC
1	1	1	1.000	1.500	1.500	.2812509E+00	.1250000E+00	.3028846E+00

***CARREGAMENTO NRO= 1
 ANDARES CARGAS NO DIAFRAGMA (EIXOS DA ESTRUTURA)
 INIC FIM FORC X MOM X FORC Y MOM Y TORCOR BIMOMENTO
 1 14 15625.00 .00 .00 .00 .00
 15 15 7812.50 .00 .00 .00 .00

CARGAS NA DIR. Z NO C.C. DOS PILARES

ANDAR	DESLOC X	DESLOC Y	DESLOC Z	ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z	DER ROTAC Z
1	.1752865E-02	.3782072E-14	.5688422E-15	-.5688422E-15	.2674538E-03	.5605128E-04	.8430388E-05
2	.6434967E-02	.1355671E-13	-.9616426E-15	-.9616426E-15	.4696723E-03	.2009139E-03	.1425179E-04
3	.1331003E-01	.2737132E-13	-.1217969E-14	-.1217969E-14	.6192911E-03	.4056500E-03	.1805061E-04
4	.2178397E-01	.4371466E-13	-.1368888E-14	-.1368888E-14	.7264344E-03	.6478624E-03	.2028727E-04
5	.3137713E-01	.6142267E-13	-.1438905E-14	-.1438905E-14	.7992868E-03	.9102997E-03	.2132494E-04
6	.4170279E-01	.7960602E-13	-.1447484E-14	-.1447484E-14	.8445441E-03	.1179782E-02	.2145209E-04
7	.5245087E-01	.9759472E-13	-.1410266E-14	-.1410266E-14	.8677715E-03	.1446379E-02	.2090050E-04
8	.6337556E-01	.1148964E-12	-.1340036E-14	-.1340036E-14	.8736916E-03	.1702793E-02	.1985967E-04
9	.7428627E-01	.1311655E-12	-.1247526E-14	-.1247526E-14	.8664193E-03	.1943906E-02	.1848865E-04
10	.8504127E-01	.1461821E-12	-.1142079E-14	-.1142079E-14	.8496597E-03	.2166456E-02	.1692590E-04
11	.9554365E-01	.1598378E-12	-.1032233E-14	-.1032233E-14	.8268796E-03	.2368837E-02	.1529796E-04
12	.1057393E+00	.1721293E-12	-.9262530E-15	-.9262530E-15	.8014650E-03	.2551001E-02	.1372731E-04
13	.1156169E+00	.1831581E-12	-.8326428E-15	-.8326428E-15	.7768732E-03	.2714450E-02	.1233998E-04
14	.1252098E+00	.1931366E-12	-.7606775E-15	-.7606775E-15	.7567889E-03	.2862335E-02	.1127344E-04
15	.1345997E+00	.2024018E-12	-.7209803E-15	-.7209803E-15	.7452950E-03	.2999647E-02	.1068511E-04

***PILAR= 1 (CARREGAMENTO NRO= 1)
 DESLOCAMENTOS DOS NO'S
 ANDAR NO

	DESLOC X	DESLOC Y	DESLOC Z	ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z
1	1	.2285352E-02	-.2802564E-03	-.1305657E-02	.4215194E-04	.5605128E-04
	2	.2285352E-02	-.5324872E-03	.2582838E-03	.8008868E-04	.5605128E-04
	3	.1220378E-02	-.5324872E-13	.1779969E-02	.8008868E-04	.5605128E-04
	4	.1220378E-02	.5324872E-03	-.1779969E-02	-.8008868E-04	.5605128E-04
	5	.2285352E-02	.5324872E-03	-.2582838E-03	.8008868E-04	.5605128E-04
	6	.2285352E-02	.2802564E-03	.1305657E-02	-.4215194E-04	.5605128E-04
2	1	.8343648E-02	-.1004569E-02	-.2119575E-02	.7125895E-04	.2009139E-03
	2	.8343648E-02	-.1908682E-02	.6032145E-03	.1353920E-03	.2009139E-03
	3	.4526285E-02	-.1908682E-02	.3175663E-02	.1353920E-03	.2009139E-03
	4	.4526285E-02	.1908682E-02	-.3175663E-02	-.1353920E-03	.2009139E-03
	5	.8343648E-02	.1908682E-02	-.6032145E-03	.1353920E-03	.2009139E-03
	6	.8343648E-02	.1004569E-02	.2119575E-02	-.7125895E-04	.2009139E-03
3	1	.1716370E-01	-.2028250E-02	-.2562410E-02	.9025303E-04	.4056500E-03
	2	.1716370E-01	-.3853675E-02	.9960633E-03	.1714808E-03	.4056500E-03
	3	.9456352E-02	-.3853675E-02	.4254198E-02	.1714808E-03	.4056500E-03
	4	.9456352E-02	.3853675E-02	-.4254198E-02	-.1714808E-03	.4056500E-03
	5	.1716370E-01	.3853675E-02	-.9960633E-03	.1714808E-03	.4056500E-03
	6	.1716370E-01	.2028250E-02	.2562410E-02	-.9025303E-04	.4056500E-03
4	1	.2793867E-01	-.3239312E-02	-.2727888E-02	.1014364E-03	.6478624E-03
	2	.2793867E-01	-.6154693E-02	.1408347E-02	.1927291E-03	.6478624E-03
	3	.1562928E-01	-.6154693E-02	.5070200E-02	.1927291E-03	.6478624E-03
	4	.1562928E-01	.6154693E-02	-.5070200E-02	-.1927291E-03	.6478624E-03
	5	.2793867E-01	.6154693E-02	-.1408347E-02	.1927291E-03	.6478624E-03
	6	.2793867E-01	.3239312E-02	.2727888E-02	-.1014364E-03	.6478624E-03
5	1	.4002497E-01	-.4551498E-02	-.2688935E-02	.1066247E-03	.9102997E-03
	2	.4002497E-01	-.8647847E-02	.1819496E-02	.2025869E-03	.9102997E-03
	3	.2272928E-01	-.8647847E-02	.5668648E-02	.2025869E-03	.9102997E-03
	4	.2272928E-01	.8647847E-02	-.5668648E-02	-.2025869E-03	.9102997E-03
	5	.4002497E-01	.8647847E-02	-.1819496E-02	.2025869E-03	.9102997E-03
	6	.4002497E-01	.4551498E-02	.2688935E-02	-.1066247E-03	.9102997E-03

***PILAR= 1 (CARREGAMENTO NRO= 1)

DESLOCAM ANDAR NO	DOS NO'S	DESLOC X	DESLOC Y	DESLOC Z	ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z
6	1	.5291072E-01	-.5898908E-02	-.2502510E-02	.1072605E-03	.1048333E-02	.1179782E-02
	2	.5291072E-01	-.1120793E-01	.2215015E-02	.2037949E-03	.1048333E-02	.1179782E-02
	3	.3049487E-01	-.1120793E-01	.6087117E-02	.2037949E-03	.6407492E-03	.1179782E-02
	4	.3049487E-01	.1120793E-01	-.6087117E-02	-.2037949E-03	.6407492E-03	.1179782E-02
	5	.5291072E-01	.1120793E-01	-.2215015E-02	-.2037949E-03	.1048333E-02	.1179782E-02
	6	.5291072E-01	.5898908E-02	.2502510E-02	-.1072605E-03	.1048333E-02	.1179782E-02
7	1	.6619147E-01	-.7231894E-02	-.2213449E-02	.1045025E-03	.1066326E-02	.1446379E-02
	2	.6619147E-01	-.1374060E-01	.2585019E-02	.1985548E-03	.1066326E-02	.1446379E-02
	3	.3871027E-01	-.1374060E-01	.6357559E-02	.1985548E-03	.6692168E-03	.1446379E-02
	4	.3871027E-01	.1374060E-01	-.6357559E-02	-.1985548E-03	.6692168E-03	.1446379E-02
	5	.6619147E-01	.1374060E-01	-.2585019E-02	-.1985548E-03	.1066326E-02	.1446379E-02
	6	.6619147E-01	.7231894E-02	.2213449E-02	-.1045025E-03	.1066326E-02	.1446379E-02
8	1	.7955210E-01	-.8513967E-02	-.1857550E-02	.9929837E-04	.1062359E-02	.1702793E-02
	2	.7955210E-01	-.1617654E-01	.2923064E-02	.1886669E-03	.1062359E-02	.1702793E-02
	3	.4719902E-01	-.1617654E-01	.6507735E-02	.1886669E-03	.6850247E-03	.1702793E-02
	4	.4719902E-01	.1617654E-01	-.6507735E-02	-.1886669E-03	.6850247E-03	.1702793E-02
	5	.7955210E-01	.1617654E-01	-.2923064E-02	-.1886669E-03	.1062359E-02	.1702793E-02
	6	.7955210E-01	.8513967E-02	.1857550E-02	-.9929837E-04	.1062359E-02	.1702793E-02
9	1	.9275338E-01	-.9719530E-02	-.1464095E-02	.9244325E-04	.1042061E-02	.1943906E-02
	2	.9275338E-01	-.1846711E-01	.3225182E-02	.1756422E-03	.1042061E-02	.1943906E-02
	3	.5581916E-01	-.1846711E-01	.6562383E-02	.1756422E-03	.6907772E-03	.1943906E-02
	4	.5581916E-01	.1846711E-01	-.6562383E-02	-.1756422E-03	.6907772E-03	.1943906E-02
	5	.9275338E-01	.1846711E-01	-.3225182E-02	-.1756422E-03	.1042061E-02	.1943906E-02
	6	.9275338E-01	.9719530E-02	.1464095E-02	-.9244325E-04	.1042061E-02	.1943906E-02
10	1	.1056226E+00	-.1083228E-01	-.1057972E-02	.8462951E-04	.1010456E-02	.2166456E-02
	2	.1056226E+00	-.2058133E-01	.3489079E-02	.1607961E-03	.1010456E-02	.2166456E-02
	3	.6445994E-01	-.2058133E-01	.6544204E-02	.1607961E-03	.6888636E-03	.2166456E-02
	4	.6445994E-01	.2058133E-01	-.6544204E-02	-.1607961E-03	.6888636E-03	.2166456E-02
	5	.1056226E+00	.2058133E-01	-.3489079E-02	-.1607961E-03	.1010456E-02	.2166456E-02
	6	.1056226E+00	.1083228E-01	.1057972E-02	-.8462951E-04	.1010456E-02	.2166456E-02

***PILAR= 1 (CARREGAMENTO NRO= 1)		DESLOCAMENTOS DOS NO'S					
ANDAR	NO	DESLOC X	DESLOC Y	DESLOC Z	ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z
11	1	.1180476E+00	-.1184418E-01	-.6615136E-03	.7648982E-04	.9722102E-03	.2368837E-02
	2	.1180476E+00	-.2250395E-01	.3713432E-02	.1453306E-03	.9722102E-03	.2368837E-02
	3	.7303970E-01	-.2250395E-01	.6474715E-02	.1453306E-03	.6815489E-03	.2368837E-02
	4	.7303970E-01	.2250395E-01	-.6474715E-02	-.1453306E-03	.6815489E-03	.2368837E-02
	5	.1180476E+00	.2250395E-01	-.3713432E-02	-.1453306E-03	.9722102E-03	.2368837E-02
	6	.1180476E+00	.1184418E-01	.6615136E-03	-.7648982E-04	.9722102E-03	.2368837E-02
12	1	.1299738E+00	-.1275500E-01	-.2961862E-03	.6863655E-04	.9318745E-03	.2551001E-02
	2	.1299738E+00	-.2423451E-01	.3897249E-02	.1304094E-03	.9318745E-03	.2551001E-02
	3	.8150481E-01	-.2423451E-01	.6375028E-02	.1304094E-03	.6710556E-03	.2551001E-02
	4	.8150481E-01	.2423451E-01	-.6375028E-02	-.1304094E-03	.6710556E-03	.2551001E-02
	5	.1299738E+00	.2423451E-01	-.3897249E-02	-.1304094E-03	.9318745E-03	.2551001E-02
	6	.1299738E+00	.1275500E-01	.2961862E-03	-.6863655E-04	.9318745E-03	.2551001E-02
13	1	.1414042E+00	-.1357225E-01	.1578198E-04	.6169991E-04	.8941030E-03	.2714450E-02
	2	.1414042E+00	-.2578728E-01	.4039246E-02	.1172298E-03	.8941030E-03	.2714450E-02
	3	.8982965E-01	-.2578728E-01	.6266612E-02	.1172298E-03	.6596434E-03	.2714450E-02
	4	.8982965E-01	.2578728E-01	-.6266612E-02	-.1172298E-03	.6596434E-03	.2714450E-02
	5	.1414042E+00	.2578728E-01	-.4039246E-02	-.1172298E-03	.8941030E-03	.2714450E-02
	6	.1414042E+00	.1357225E-01	.1578198E-04	-.6169991E-04	.8941030E-03	.2714450E-02
14	1	.1524020E+00	-.1431167E-01	.2497216E-03	.5636719E-04	.8638865E-03	.2862335E-02
	2	.1524020E+00	-.2719218E-01	.4137211E-02	.1070977E-03	.8638865E-03	.2862335E-02
	3	.9801761E-01	-.2719218E-01	.6172066E-02	.1070977E-03	.6496912E-03	.2862335E-02
	4	.9801761E-01	.2719218E-01	-.6172066E-02	-.1070977E-03	.6496912E-03	.2862335E-02
	5	.1524020E+00	.2719218E-01	-.4137211E-02	-.1070977E-03	.8638865E-03	.2862335E-02
	6	.1524020E+00	.1431167E-01	.2497216E-03	-.5636719E-04	.8638865E-03	.2862335E-02
15	1	.1630964E+00	-.1499823E-01	.3766917E-03	.5342557E-04	.8468036E-03	.2999647E-02
	2	.1630964E+00	-.2849665E-01	.4187308E-02	.1015086E-03	.8468036E-03	.2999647E-02
	3	.1061031E+00	-.2849665E-01	.6115971E-02	.1015086E-03	.6437864E-03	.2999647E-02
	4	.1061031E+00	.2849665E-01	-.6115971E-02	-.1015086E-03	.6437864E-03	.2999647E-02
	5	.1630964E+00	.2849665E-01	-.4187308E-02	-.1015086E-03	.8468036E-03	.2999647E-02
	6	.1630964E+00	.1499823E-01	.3766917E-03	-.5342557E-04	.8468036E-03	.2999647E-02

**PILAR= 1 (CARGAMENTO NRO= 1)		FORÇAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO PILAR						BIOM	Nº	TENS.	LONG.
ANDAR		FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOM X	MOM Y	TORCOR				
1	BASE	-.226562E+06	.325239E-13	.693889E-14	-.493650E-11	-.219726E+08	-.451716E+07	-.174825E+09	1	-.745126E+05	
									2	.883980E+04	
									3	.924030E+05	
									4	-.924030E+05	
									5	-.883980E+04	
									6	.745126E+05	
1	TOPO	.226562E+06	-.325239E-13	-.693889E-14	.452971E-11	.191406E+08	.451716E+07	.118669E+09	1	-.458719E+05	
									2	.149427E+05	
									3	.716646E+05	
									4	-.716646E+05	
									5	-.149427E+05	
									6	.458719E+05	
2	BASE	-.210937E+06	.328252E-13	.677236E-14	-.451372E-11	-.191406E+08	-.420563E+07	-.127219E+09	1	-.507126E+05	
									2	.131012E+05	
									3	.739095E+05	
									4	-.739095E+05	
									5	-.131012E+05	
									6	.507126E+05	
2	TOPO	.210937E+06	-.328252E-13	-.677236E-14	.410516E-11	.165039E+08	.420563E+07	.754465E+08	1	-.243361E+05	
									2	.186732E+05	
									3	.547354E+05	
									4	-.547354E+05	
									5	-.186732E+05	
									6	.243361E+05	
3	BASE	-.195312E+06	.330370E-13	.666134E-14	-.409628E-11	-.165039E+08	-.389410E+07	-.898998E+08	1	-.325194E+05	
									2	.155600E+05	
									3	.585305E+05	
									4	-.585305E+05	
									5	-.155600E+05	
									6	.325194E+05	
3	TOPO	.195312E+06	-.330370E-13	-.666134E-14	.368416E-11	.140625E+08	.389410E+07	.423515E+08	1	-.831705E+04	
									2	.206355E+05	
									3	.408788E+05	
									4	-.408788E+05	
									5	-.206355E+05	
									6	.831705E+04	

***PILAR= 1 (CAREGAMENTO NRO= 1)		FORÇAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO PILAR		TORCOR	BINOM	Nº	TENS.	LONG.
ANDAR	FORÇA X	FORÇA Y	MOM X					
4	BASE	-.179687E+06	.310787E-13	.666134E-14	-.368416E-11	-.140625E+08	-.358257E+07	-.606573E+08
4	TOPO	.179687E+06	-.310787E-13	-.666134E-14	.329337E-11	.118164E+08	.358257E+07	.172096E+08
5	BASE	-.164062E+06	.290828E-13	.621725E-14	-.332179E-11	-.118164E+08	-.327104E+07	-.377837E+08
5	TOPO	.164062E+06	-.290828E-13	-.621725E-14	.296296E-11	.976562E+07	.327104E+07	-.165846E+07
6	BASE	-.148437E+06	.212307E-13	.510703E-14	-.298073E-11	-.976562E+07	-.295952E+07	-.199679E+08
6	TOPO	.148437E+06	-.212307E-13	-.510703E-14	.271783E-11	.791015E+07	.295952E+07	-.155413E+08

1	-.186816E+05
2	.166925E+05
3	.456856E+05
4	-.456856E+05
5	-.166925E+05
6	.186816E+05
1	.341655E+04
2	.212981E+05
3	.295240E+05
4	-.295240E+05
5	-.212981E+05
6	-.341655E+04
1	-.823234E+04
2	.168664E+05
3	.349264E+05
4	-.349264E+05
5	-.168664E+05
6	.823234E+04
1	.118155E+05
2	.210225E+05
3	.202298E+05
4	-.202298E+05
5	-.210225E+05
6	-.118155E+05
1	-.429227E+03
2	.163642E+05
3	.259085E+05
4	-.259085E+05
5	-.163642E+05
6	.429227E+03
1	.176093E+05
2	.200865E+05
3	.126580E+05
4	-.126580E+05
5	-.200865E+05
6	-.176093E+05

***PILAR=	1 (CARREGAMENTO NRO=	1)	FORCAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO PILAR						BIMOM	Nº	TENS. LONG.
ANDAR	FORCA X	FORCA Y	FORCA Z	MON X	MON Y	TORCOR					
7	BASE	-.132812E+06	.182932E-13	.421885E-14	-.271072E-11	-.791015E+07	-.264799E+07	-.621400E+07	1	.529161E+04	
									2	.154004E+05	
									3	.183706E+05	
									4	-.183706E+05	
									5	-.154004E+05	
									6	-.529161E+04	
7	TOPO	.132812E+06	-.182932E-13	-.421885E-14	.247979E-11	.625000E+07	.264799E+07	-.254170E+08	1	.213519E+05	
									2	.187006E+05	
									3	.655171E+04	
									4	-.655171E+04	
									5	-.187006E+05	
									6	-.213519E+05	
8	BASE	-.117187E+06	.208635E-13	.466294E-14	-.250111E-11	-.625000E+07	-.233646E+07	.422108E+07	1	.935089E+04	
									2	.141350E+05	
									3	.121174E+05	
									4	-.121174E+05	
									5	-.141350E+05	
									6	-.935089E+04	
8	TOPO	.117187E+06	-.208635E-13	-.466294E-14	.223821E-11	.478515E+07	.233646E+07	-.320141E+08	1	.234556E+05	
									2	.170218E+05	
									3	.171963E+04	
									4	-.171963E+04	
									5	-.170218E+05	
									6	-.234556E+05	
9	BASE	-.101562E+06	.384412E-13	.466294E-14	-.230216E-11	-.478515E+07	-.202493E+07	.118737E+08	1	.120523E+05	
									2	.126836E+05	
									3	.700816E+04	
									4	-.700816E+04	
									5	-.126836E+05	
									6	-.120523E+05	
9	TOPO	.101562E+06	-.384412E-13	-.466294E-14	.182609E-11	.351562E+07	.202493E+07	-.358569E+08	1	.242175E+05	
									2	.151631E+05	
									3	-.197592E+04	
									4	.197592E+04	
									5	-.151631E+05	
									6	-.242175E+05	

***PILAR= 1 (CARREGAMENTO NRO= 1)		FORÇAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO PILAR				BIMOM N.º		TENS. LONG.	
ANDAR	FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOM X	MOM Y	TORCOR			
10 BASE	-.859375E+05	.437230E-13	.310862E-14	-.189004E-11	-.351562E+07	-.171340E+07	.171069E+08	1	.136014E+05
								2	.111243E+05
								3	.294751E+04
								4	-.294751E+04
								5	-.111243E+05
								6	-.136014E+05
10 TOPO	.859375E+05	-.437230E-13	-.310862E-14	.134648E-11	.244141E+07	.171340E+07	-.372983E+08	1	.238372E+05
								2	.132003E+05
								3	-.462760E+04
								4	.462760E+04
								5	-.132003E+05
								6	-.238372E+05
11 BASE	-.703125E+05	.408514E-13	.222045E-14	-.135714E-11	-.244140E+07	-.140188E+07	.201332E+08	1	.141184E+05
								2	.950299E+04
								3	-.120315E+03
								4	.120315E+03
								5	-.950299E+04
								6	-.141184E+05
11 TOPO	.703125E+05	-.408514E-13	-.222045E-14	.838440E-12	.156250E+07	.140188E+07	-.365416E+08	1	.224298E+05
								2	.111775E+05
								3	-.628877E+04
								4	.628877E+04
								5	-.111775E+05
								6	-.224298E+05
12 BASE	-.546875E+05	.286308E-13	.111022E-14	-.888178E-12	-.156250E+07	-.109035E+07	.210274E+08	1	.136458E+05
								2	.783573E+04
								3	-.221500E+04
								4	.221500E+04
								5	-.783573E+04
								6	-.136458E+05
12 TOPO	.546875E+05	-.286308E-13	-.111022E-14	.532907E-12	.878906E+06	.109035E+07	-.336531E+08	1	.200330E+05
								2	.910872E+04
								3	-.697687E+04
								4	.697687E+04
								5	-.910872E+04
								6	-.200330E+05

**PILAR= 1 (CARREGAMENTO NRO= 1)		FORCAS NO CENTRO DE CIZALHAMENTO DO PILAR				BIMOM N°O		TENS. LONG.	
ANDAR	FORCA X	FORCA Y	FORCA Z	MOM X	MOM Y	TORCOR			
13 BASE	-.390625E+05	.298924E-13	.666134E-15	-.582645E-12	-.878906E+06	-.778819E+06	.197317E+08		
								1	.121509E+05
								2	.611008E+04
								3	-.332135E+04
								4	.332135E+04
								5	-.611008E+04
								6	-.121509E+05
13 TOPO	.390625E+05	-.298924E-13	-.666134E-15	.206057E-12	.390625E+06	.778819E+06	-.285664E+08		
								1	.166092E+05
								2	.697980E+04
								3	-.667447E+04
								4	.667447E+04
								5	-.697980E+04
								6	-.166092E+05
14 BASE	-.234375E+05	.342233E-13	.000000E+00	-.376588E-12	-.390625E+06	-.467292E+06	.160520E+08		
								1	.952363E+04
								2	.428421E+04
								3	-.338839E+04
								4	.338839E+04
								5	-.428421E+04
								6	-.952363E+04
14 TOPO	.234375E+05	-.342233E-13	.000000E+00	-.568434E-13	.976562E+05	.467292E+06	-.210784E+08		
								1	.120432E+05
								2	.474693E+04
								3	-.532819E+04
								4	.532819E+04
								5	-.474693E+04
								6	-.120432E+05
15 BASE	-.781249E+04	.629389E-14	.000000E+00	-.213163E-13	-.976562E+05	-.155764E+06	.964563E+07		
								1	.557006E+04
								2	.228431E+04
								3	-.232613E+04
								4	.232613E+04
								5	-.228431E+04
								6	-.557006E+04
15 TOPO	.781249E+04	-.629389E-14	.000000E+00	-.598434E-13	.673828E-01	.155764E+06	-.108361E+08		
								1	.613536E+04
								2	.233410E+04
								3	-.284539E+04
								4	.284539E+04
								5	-.233410E+04
								6	-.613536E+04

***LINTEL=		1 (CARGAMENTO NRO=		1)		ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DO LINTEL									
ANDAR	PILAR	NO	FORC AXIAL	FORC HORIZ	FORC VERT	TORCOR	MOM HORIZ	MOM VERT							
1	1	1	.0000000E+00	.4588051E-09	-.1183262E+05	.6394689E+03	.5916311E+05	-.3725290E-08							
1	1	6	.0000000E+00	-.4588051E-09	.1183262E+05	-.6394689E+03	-.5916311E+05	-.3725290E-08							
2	1	1	.9536743E-06	.1644571E-08	-.2000336E+05	.1081039E+04	.1000168E+06	-.1117587E-07							
1	1	6	-.9536743E-06	-.1644571E-08	.2000336E+05	-.1081039E+04	-.1000168E+06	-.1117587E-07							
3	1	1	.0000000E+00	.3320429E-08	-.2533525E+05	.1369190E+04	.1266763E+06	-.2980232E-07							
1	1	6	.0000000E+00	-.3320429E-08	.2533525E+05	-.1369190E+04	-.1266763E+06	-.2980232E-07							
4	1	1	.0000000E+00	.5303047E-08	-.2847457E+05	.1538847E+04	.1423728E+06	-.4470348E-07							
1	1	6	.0000000E+00	-.5303047E-08	.2847457E+05	-.1538847E+04	-.1423728E+06	-.4470348E-07							
5	1	1	.7629395E-05	.7451215E-08	-.2993101E+05	.1617557E+04	.1496550E+06	-.5960464E-07							
1	1	6	-.7629395E-05	-.7451215E-08	.2993101E+05	-.1617557E+04	-.1496550E+06	-.5960464E-07							
6	1	1	.0000000E+00	.9657046E-08	-.3010947E+05	.1627202E+04	.1505473E+06	-.8940697E-07							
1	1	6	.0000000E+00	-.9657046E-08	.3010947E+05	-.1627202E+04	-.1505473E+06	-.8940697E-07							
7	1	1	.7629395E-05	.1183926E-07	-.2933527E+05	.1585362E+04	.1466764E+06	-.8940697E-07							
1	1	6	-.7629395E-05	-.1183926E-07	.2933527E+05	-.1585362E+04	-.1466764E+06	-.8940697E-07							
8	1	1	.1525879E-04	.1393813E-07	-.2787440E+05	.1506413E+04	.1393720E+06	-.1192093E-06							
1	1	6	-.1525879E-04	-.1393813E-07	.2787440E+05	-.1506413E+04	-.1393720E+06	-.1192093E-06							
9	1	1	.1525879E-04	.1591175E-07	-.2595008E+05	.1402417E+04	.1297504E+06	-.1192093E-06							
1	1	6	-.1525879E-04	-.1591175E-07	.2595008E+05	-.1402417E+04	-.1297504E+06	-.1192093E-06							
10	1	1	.0000000E+00	.1773342E-07	-.2375665E+05	.1283878E+04	.1187833E+06	-.1490116E-06							
1	1	6	.0000000E+00	-.1773342E-07	.2375665E+05	-.1283878E+04	-.1187833E+06	-.1490116E-06							
11	1	1	.1525879E-04	.1939000E-07	-.2147173E+05	.1160394E+04	.1073587E+06	-.1788139E-06							
1	1	6	-.1525879E-04	-.1939000E-07	.2147173E+05	-.1160394E+04	-.1073587E+06	-.1788139E-06							
12	1	1	.0000000E+00	.2088109E-07	-.1926721E+05	.1041255E+04	.9633606E+05	-.1788139E-06							
1	1	6	.0000000E+00	-.2088109E-07	.1926721E+05	-.1041255E+04	-.9633606E+05	-.1788139E-06							
13	1	1	.0000000E+00	.2221900E-07	-.1732000E+05	.9360227E+03	.8660001E+05	-.1788139E-06							
1	1	6	.0000000E+00	-.2221900E-07	.1732000E+05	-.9360227E+03	-.8660001E+05	-.1788139E-06							
14	1	1	.1525879E-04	.2342950E-07	-.1582304E+05	.8551223E+03	.7911518E+05	-.1788139E-06							
1	1	6	-.1525879E-04	-.2342950E-07	.1582304E+05	-.8551223E+03	-.7911518E+05	-.1788139E-06							
15	1	1	.1525879E-04	.2455347E-07	-.1499729E+05	.8104963E+03	.7498643E+05	-.1788139E-06							
1	1	6	-.1525879E-04	-.2455347E-07	.1499729E+05	-.8104963E+03	-.7498643E+05	-.1788139E-06							

III.2 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELOS VÁRIOS PROCESSOS DE ANÁLISE

Apresenta-se neste item a comparação dos resultados obtidos pelos vários processos de análise, para diversos edifícios com paredes de secção aberta, contraventadas ou não por lintéis, e submetidos a carregamentos laterais.

Far-se-á referência aos processos usando a seguinte nomenclatura:

a) *Pc1* - processo de tratamento contínuo, usando a teoria de flexo-torção, desenvolvido no item (II.1);

b) *Pc2* - processo de tratamento contínuo, com subdivisão da estrutura em painéis paredes, apresentado no item (II.2);

c) *Pd* - processo de tratamento discreto, desenvolvido no item (III.1);

d) *Pt* - processo apresentado no trabalho de SMITH e TARANATH⁽⁸⁾.

Para a comparação dos resultados utilizar-se-á a seguinte convenção de sinais:

a) *rotações* horárias, para um observador colocado sobre o eixo *z* e olhando no seu sentido positivo, são positivas;

b) *tensões longitudinais* de tração são positivas;

c) *bimomentos* concordantes em sentido com o definido no apêndice A são positivos;

d) *deslocamentos* (δx , δy e δz) são positivos quando concordantes com os sentidos positivos dos respectivos eixos;

e) *momentos torçores* são positivos se forem no sentido anti-horário para um observador olhando do topo para a base do edifício.

As unidades inglesas serão aqui utilizadas para permitir a comparação direta dos resultados, obtidos pelos vários trabalhos encontrados na bibliografia.

Os valores apresentados pelo processo *Pd* foram calculados considerando-se as rigidezes à torção dos lintéis, obtidas como mostrado no item (III.1-6-c-6).

III.2-1 - Edifício com uma parede de secção aberta constituída por um único canal, sujeito a momentos torçores

A figura (III.2-01) mostra a planta e elevação de uma estrutura de quinze andares de 12,5 ft de pé direito, composta por uma única parede de secção aberta uniforme ao longo de toda a altura. Todas as paredes componentes do canal possuem espessuras constantes de 1,0 ft.

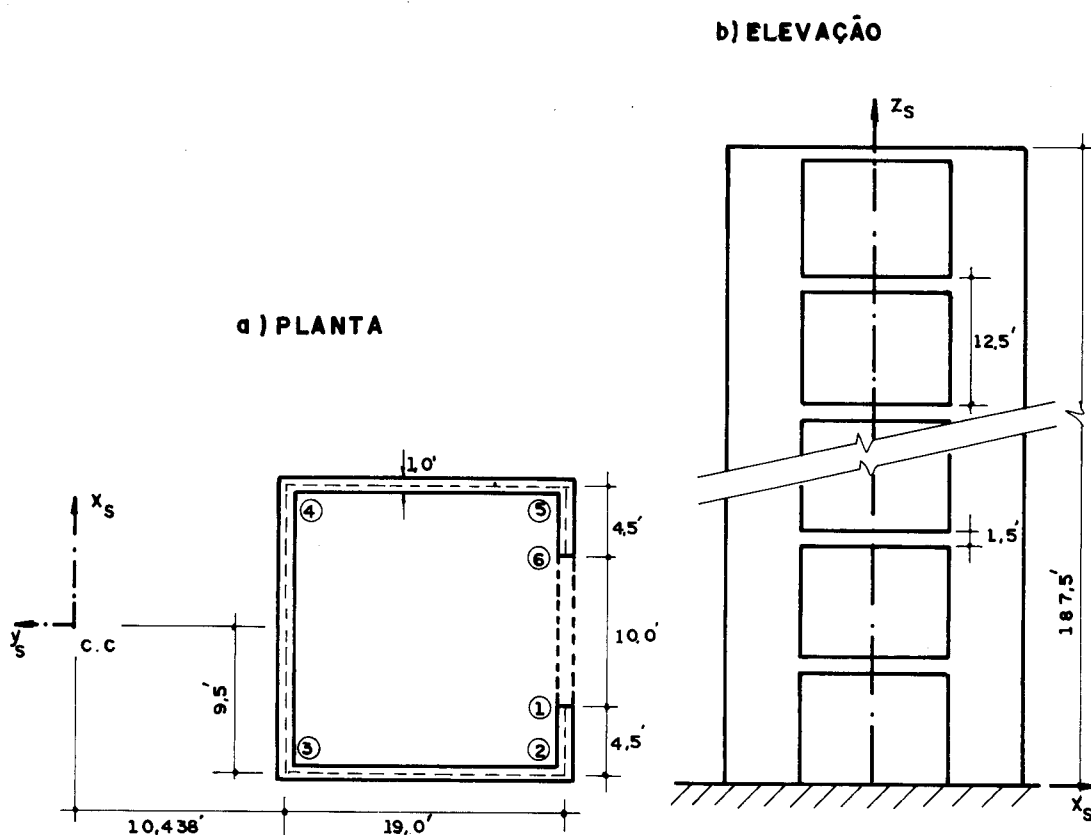


FIG. III. 2- 01- EDIFÍCIO COM UM PARE DE DE SECÇÃO ABERTA

Serão apresentadas duas análises desta estrutura: a primeira, com a parede de secção aberta sem nenhum contraventamento, e a segunda, com contraventamento ao nível dos andares por lintéis de mesma espessura que as paredes e com 1,5 ft de altura.

Como neste item pretende-se comparar os resultados obtidos pelo processo contínuo que utiliza a teoria de flexo-torção, pelo

processo contínuo com subdivisão da estrutura e pelo processo discreto, o sistema de eixos de coordenadas, denominado sistema da estrutura, foi localizado no centro de cisalhamento da parede de secção aberta.

Para o módulo de elasticidade tomar-se-á o valor $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e, para o coeficiente de Poisson, o valor 0,15.

Os números apresentados dentro das circunferências na figura (III.2-01) indicam os números dos nós referidos no discorrer deste item.

a) Parede de secção aberta sem contraventamento

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos para a estrutura da figura (III.2-01), admitindo-se a inexistência dos lintéis, isto é, a estrutura sem contraventamento, para carregamentos atuantes de momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft e momento torçor concentrado no topo de 155765,0 lb ft.

Os resultados apresentados nas tabelas (III.2-01) a (III.2-06) foram obtidos dos itens (II.1-5) para o processo *Pc1* e da execução do conjunto de programas apresentados em (III.1) para o processo *Pd*.

a-1) Carregamento A

Mostram-se a seguir os resultados obtidos para a estrutura apresentada na figura (III.2-01), submetida a um carregamento de momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft.

Tabela III.2-01 - Rotações dos diafragmas e bimomentos ao nível de todos os andares

Andar	Rotações (10^{-2} x rad)		Bimomentos (10^8 x lb ft ²)	
	Pc1	Pd	Pc1	Pd
base	0,000	0,000	-3,664	-3,653
1	0,014	0,013	-3,075	-3,095
2	0,046	0,047	-2,592	-2,589
3	0,100	0,100	-2,139	-2,131
4	0,172	0,169	-1,709	-1,721
5	0,248	0,250	-1,362	-1,357
6	0,342	0,341	-1,041	-1,037
7	0,444	0,440	-0,751	-0,761
8	0,536	0,544	-0,536	-0,526
9	0,650	0,651	-0,360	-0,352
10	0,761	0,762	-0,171	-0,179
11	0,867	0,874	-0,062	-0,065
12	0,984	0,986	0,009	0,009
13	1,101	1,098	0,044	0,045
14	1,204	1,209	0,040	0,042
15	1,319	1,320	0,000	0,000

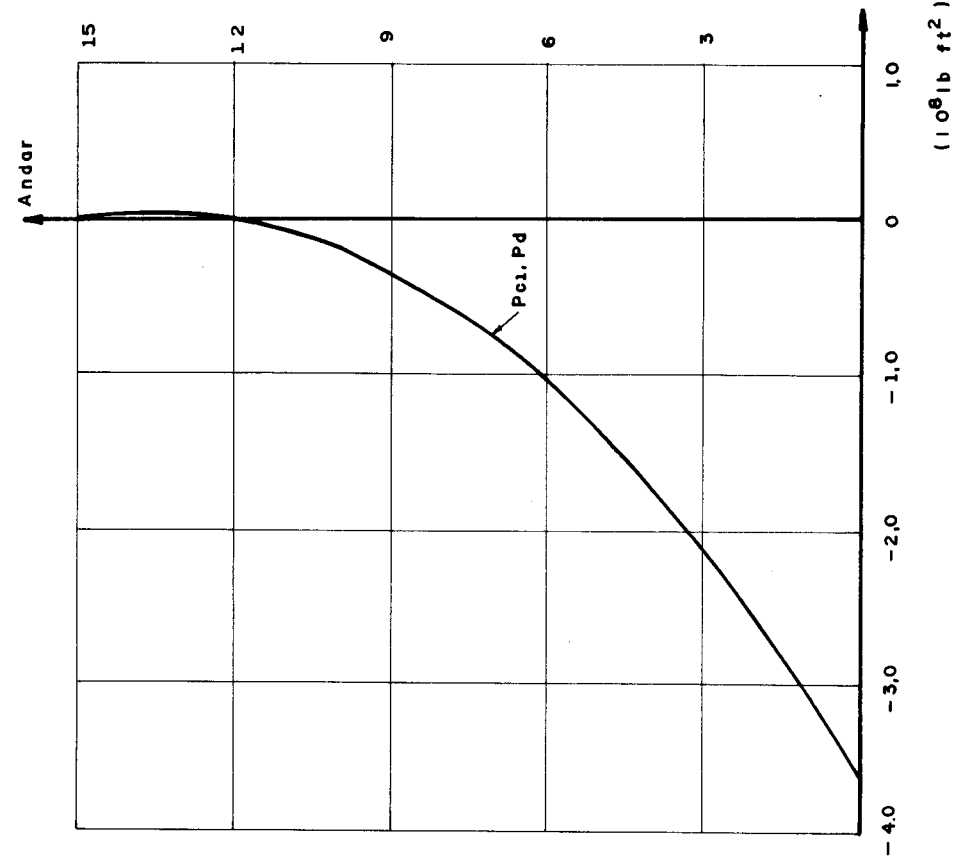


FIG. III. 2-03- BIMOMENTOS

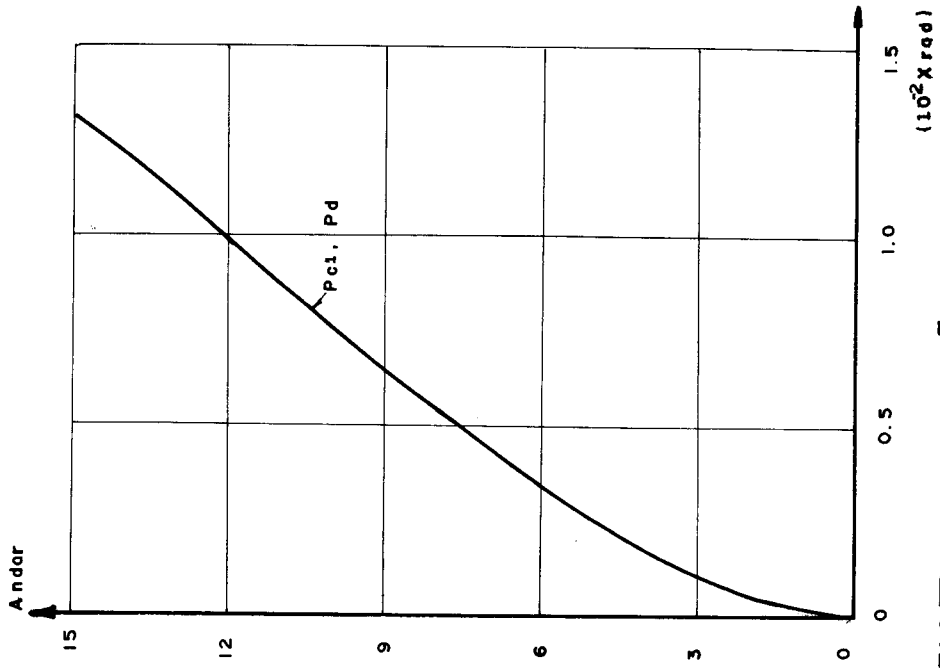


FIG. III. 2-02- ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS

Tabela III.2-02 - Deslocamentos e tensões longitudinais no nó 1

Andar	Deslocamentos (10^{-2} x ft)		Tensões (10^5 x lb/ft ²)	
	Pc1	Pd	Pc1	Pd
base	0,000	0,000	-2,0745	-2,0684
1	-0,404	-0,414	-1,7410	-1,7525
2	-0,767	-0,764	-1,4676	-1,4657
3	-1,052	-1,053	-1,2111	-1,2067
4	-1,278	-1,290	-0,9676	-0,9747
5	-1,480	-1,479	-0,7712	-0,7685
6	-1,626	-1,626	-0,5894	-0,5874
7	-1,723	-1,736	-0,4252	-0,4307
8	-1,811	-1,816	-0,3035	-0,2978
9	-1,865	-1,868	-0,2038	-0,1881
10	-1,895	-1,899	-0,0968	-0,1012
11	-1,911	-1,915	-0,0351	-0,0368
12	-1,914	-1,918	0,0051	0,0054
13	-1,911	-1,914	0,0249	0,0256
14	-1,903	-1,909	0,0226	0,0238
15	-1,900	-1,907	0,0000	0,0000

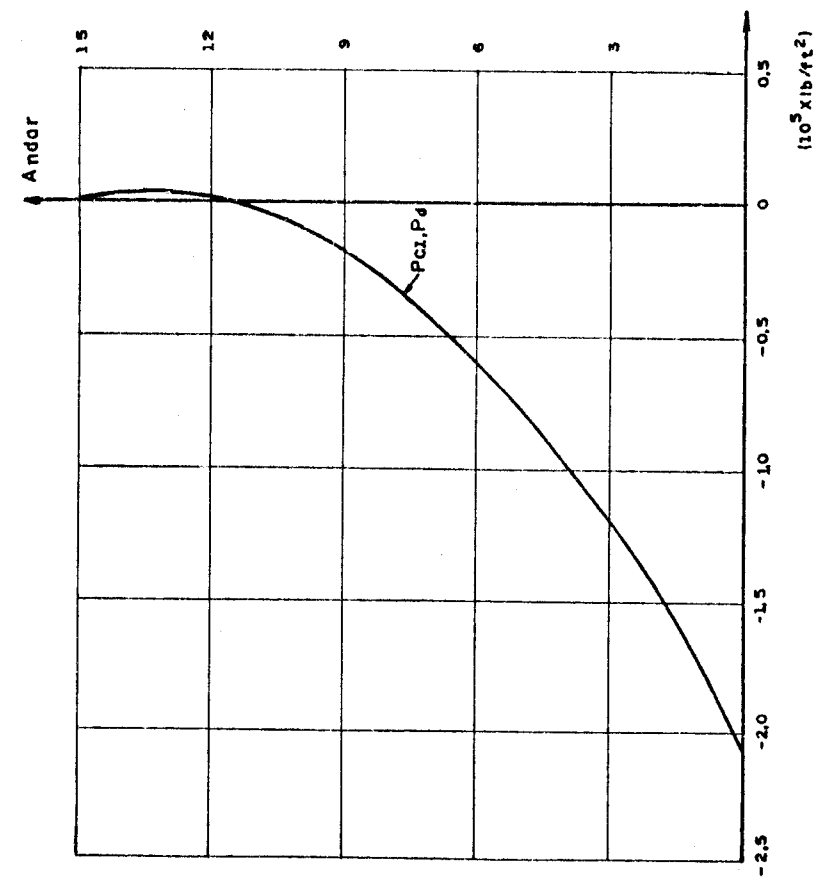


FIG. III.2 - 05 - TENSÕES LONGITUDINAIS NO N° 1

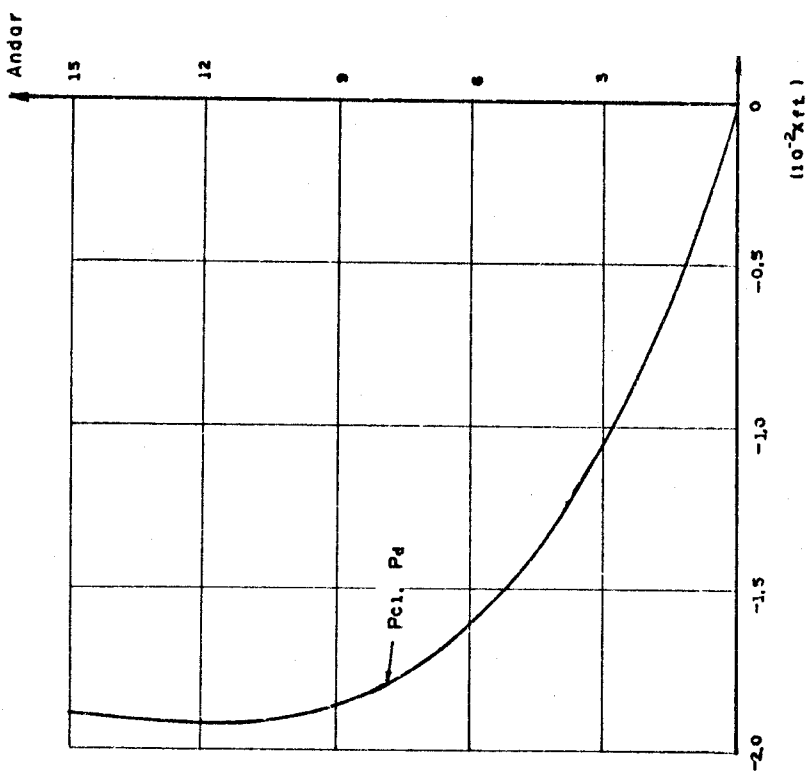


FIG. III.2-04 - DESLOCAMENTOS LONGITUDINAIS NO N° 1

Tabela III.2-03 - Tensões longitudinais na base da estrutura

N ^o	Tensões (10 ⁵ x lb/ft ²)	
	Pc1	Pd
1	-2,0745	-2,0684
2	-0,7892	-0,7869
3	0,9621	0,9592
4	-0,9621	-0,9592
5	0,7892	0,7869
6	2,0745	2,0684

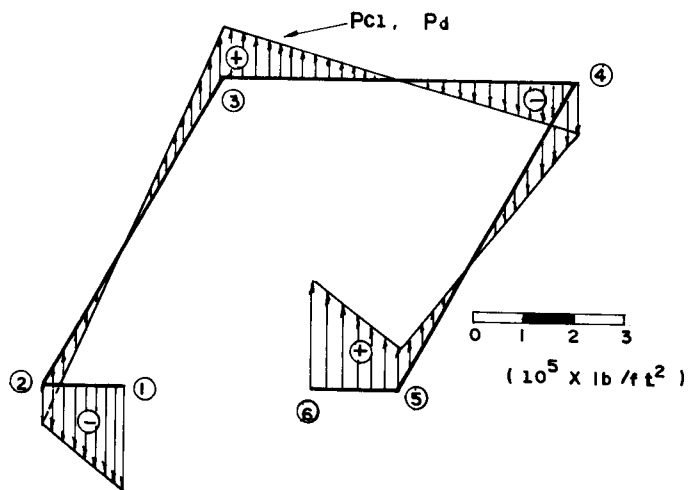


FIG. III.2-06 - TENSÕES NA BASE

a-2) Carregamento B

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos para um momento torçor de 155765,0 lb ft atuante no topo da estrutura mostrada na figura (III.2-01).

Tabela III.2-04 - Rotações dos diafragmas e bimomentos ao nível de todos os andares

Andar	Rotações (10^{-3} x rad)		Bimomentos (10^7 x lb ft ²)	
	Pc1	Pd	Pc1	Pd
base	0,000	0,000	-2,281	-2,281
1	0,008	0,008	-2,088	-2,090
2	0,030	0,030	-1,898	-1,908
3	0,068	0,068	-1,735	-1,734
4	0,115	0,116	-1,563	-1,566
5	0,178	0,177	-1,402	-1,404
6	0,247	0,247	-1,250	-1,249
7	0,323	0,327	-1,095	-1,098
8	0,417	0,415	-0,949	-0,951
9	0,508	0,508	-0,809	-0,809
10	0,606	0,608	-0,672	-0,690
11	0,716	0,714	-0,526	-0,532
12	0,818	0,822	-0,397	-0,397
13	0,928	0,933	-0,263	-0,263
14	1,046	1,047	-0,131	-0,131
15	1,161	1,161	0,000	0,000

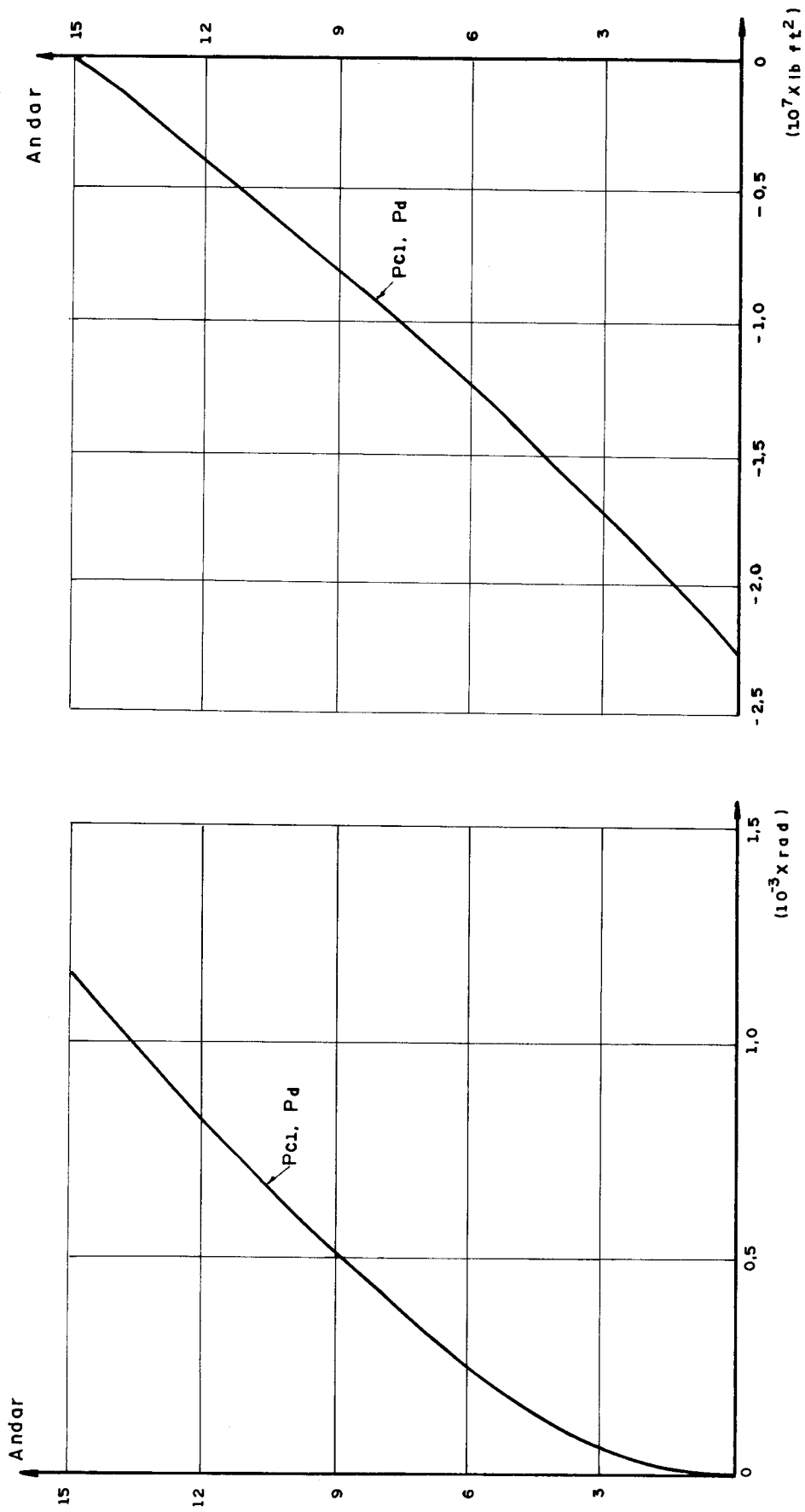


FIG. III. 2-07- ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS

FIG. III. 2-08 - BIMOMENTOS

Tabela III.2-05 - Deslocamentos e tensões longitudinais no nó 1

Andar	Deslocamentos ($10^{-3} \times ft$)		Tensões ($10^4 \times lb/ft^2$)	
	Pc1	Pd	Pc1	Pd
base	0,000	0,000	-1,2914	-1,2913
1	-0,256	-0,268	-1,1822	-1,1835
2	-0,511	-0,514	-1,0746	-1,0804
3	-0,738	-0,738	-0,9823	-0,9817
4	-0,929	-0,940	-0,8849	-0,8868
5	-1,117	-1,123	-0,7937	-0,7954
6	-1,287	-1,286	-0,7077	-0,7071
7	-1,426	-1,430	-0,6200	-0,6217
8	-1,548	-1,555	-0,5373	-0,5387
9	-1,663	-1,663	-0,4580	-0,4578
10	-1,749	-1,754	-0,3805	-0,3788
11	-1,830	-1,828	-0,2978	-0,3013
12	-1,884	-1,885	-0,2248	-0,2249
13	-1,924	-1,926	-0,1489	-0,1494
14	-1,951	-1,951	-0,0742	-0,0745
15	-1,959	-1,959	0,0000	0,0000

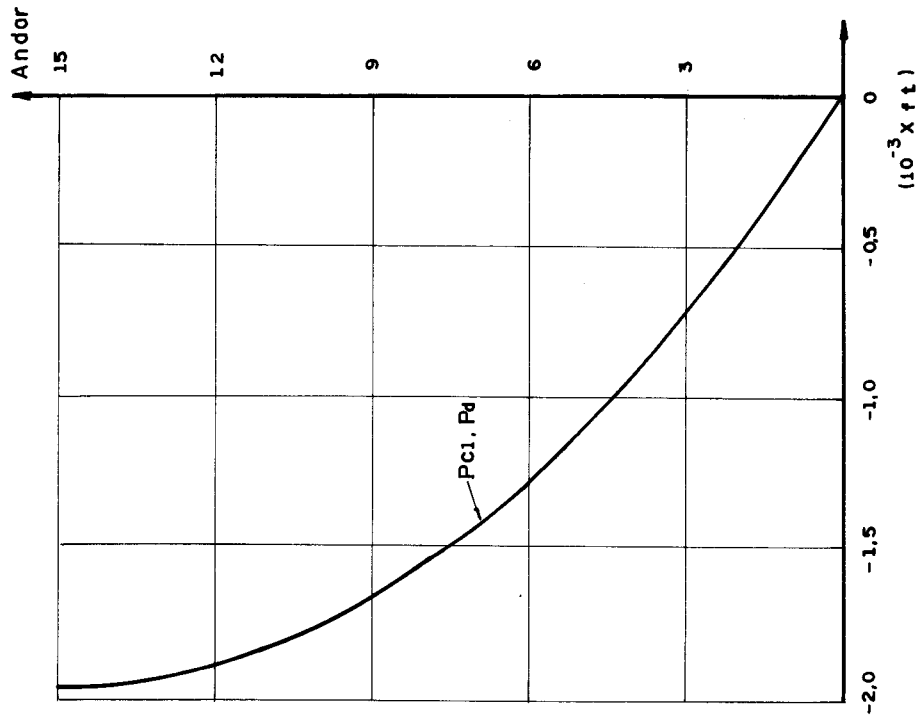
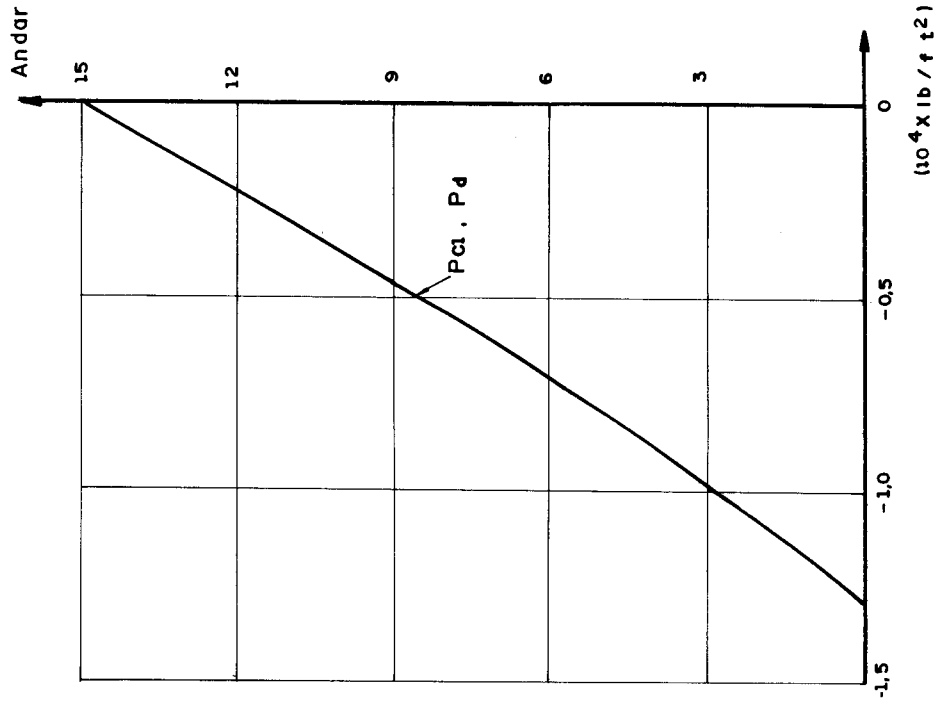


FIG. III.2-10 - TENSÕES LONGITUDINAIS NO NÓ 1

FIG. III.2 - 09 - DESLOCAMENTOS LONGITUDINAIS NO NÓ 1

Tabela III.2-06 - Tensões longitudinais na base da estrutura

Nó	Tensões ($10^4 \times \text{lb}/\text{ft}^2$)	
	P_{cl}	P_d
1	-1,2914	-1,2913
2	-0,4913	-0,4913
3	0,5989	0,5989
4	-0,5989	-0,5989
5	0,4913	0,4913
6	1,2914	1,2913

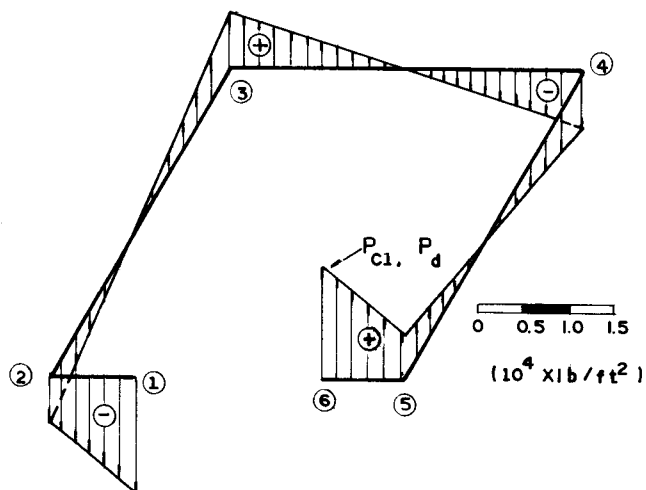


FIG. III. 2-11- TENSÕES NA BASE

b) Parede de secção aberta com contraventamento

Apresentam-se nas tabelas (III.2-07) a (III.2-10) os resultados obtidos para a estrutura da figura (III.2-01), considerando-se os efeitos introduzidos pelos lintéis que contraventam os nós 1 e 6 ao nível dos andares, para um momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft. Os lintéis que fecham parcialmente a secção aberta possuem a mesma espessura das paredes às quais estão liga

III-96

dos, ou seja, 1,0 ft, e altura de 1,5 ft.

Os valores do processo $Pc1$ são os calculados em (II.1-5) e os dos processos $Pc2$ e Pd foram obtidos pelo processamento dos programas apresentados, respectivamente, em (II.2.2) e (III.1).

Tabela III.2-07 - Rotações dos diafragmas e tensões longitudinais médias no nó 1 ao nível de todos os andares

Andar	Rotações ($10^{-3} \times rad$)			Tensões ($10^4 \times lb/ft^2$)		
	$Pc1$	$Pc2$	Pd	$Pc1$	$Pc2$	Pd
base	0,00	0,00	0,00	-9,8970	-9,8709	-9,8985
1	0,05	0,06	0,06	-6,9641	-6,9486	-6,9611
2	0,21	0,20	0,20	-4,6031	-4,6819	-4,6810
3	0,41	0,41	0,41	-2,9329	-2,9296	-2,9162
4	0,64	0,65	0,65	-1,6193	-1,5819	-1,5569
5	0,90	0,90	0,91	-0,5482	-0,5550	-0,5183
6	1,19	1,18	1,18	0,2265	0,2157	0,2641
7	1,43	1,45	1,44	0,7700	0,7781	0,8391
8	1,67	1,71	1,70	1,1720	1,1677	1,2425
9	1,95	1,95	1,94	1,4155	1,4084	1,4994
10	2,16	2,17	2,16	1,5174	1,5157	1,6259
11	2,37	2,38	2,37	1,4947	1,4960	1,6298
12	2,57	2,57	2,55	1,3419	1,3483	1,5113
13	2,73	2,74	2,71	1,0758	1,0631	1,2631
14	2,89	2,90	2,86	0,5819	0,6229	0,8698
15	3,00	3,00	3,00	0,0000	0,0000	0,0000

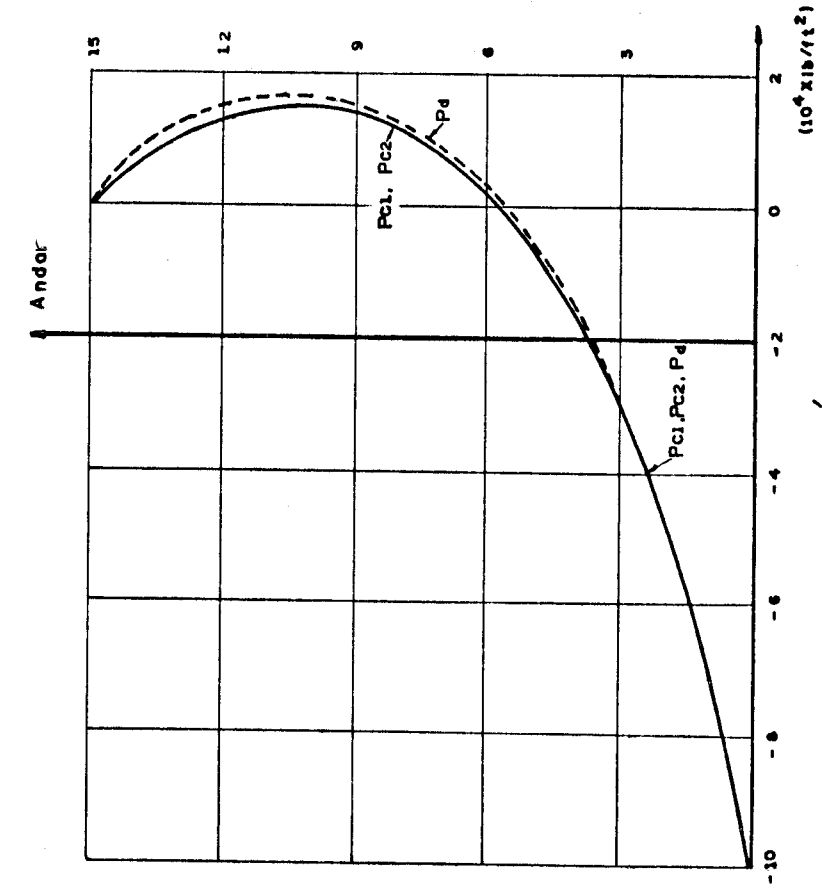


FIG. III. 2-13 - TENSÕES MÉDIAS NO NÓ 1

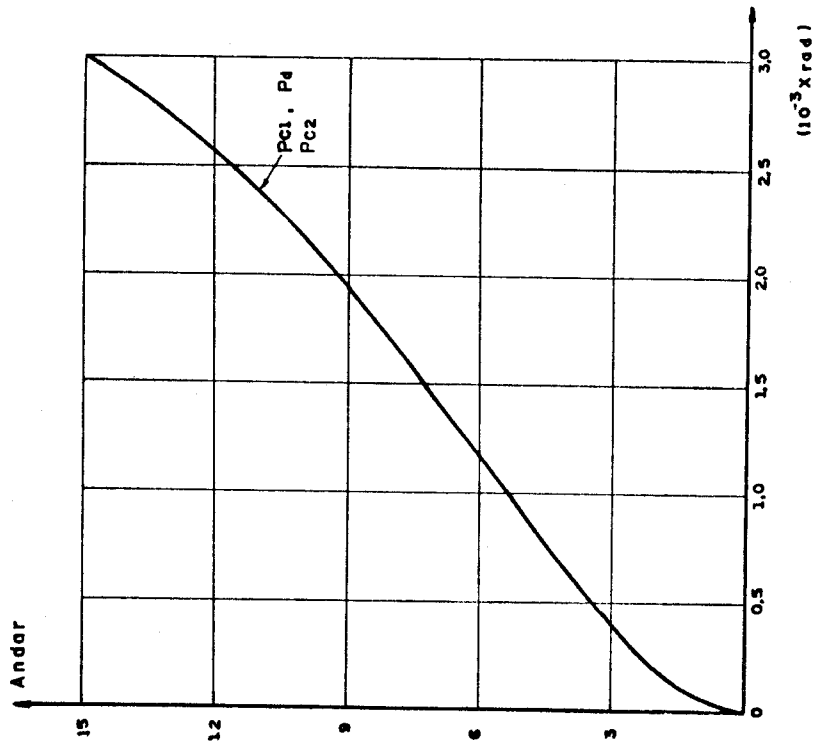


FIG. III. 2-12 - ROTACIONES DOS DIAFRAGMAS

Tabela III.2-08 - Deslocamentos longitudinais no nó 1

Andar	Deslocamentos ($10^{-2} \times ft$)		
	Pc1	Pc2	Pd
base	0,000	0,000	0,000
1	-0,175	-0,181	-0,180
2	-0,310	-0,306	-0,305
3	-0,388	-0,388	-0,386
4	-0,433	-0,436	-0,433
5	-0,458	-0,459	-0,456
6	-0,460	-0,462	-0,459
7	-0,450	-0,451	-0,447
8	-0,431	-0,430	-0,425
9	-0,401	-0,402	-0,396
10	-0,369	-0,370	-0,362
11	-0,334	-0,337	-0,327
12	-0,307	-0,306	-0,294
13	-0,280	-0,279	-0,264
14	-0,258	-0,260	-0,241
15	-0,253	-0,253	-0,228

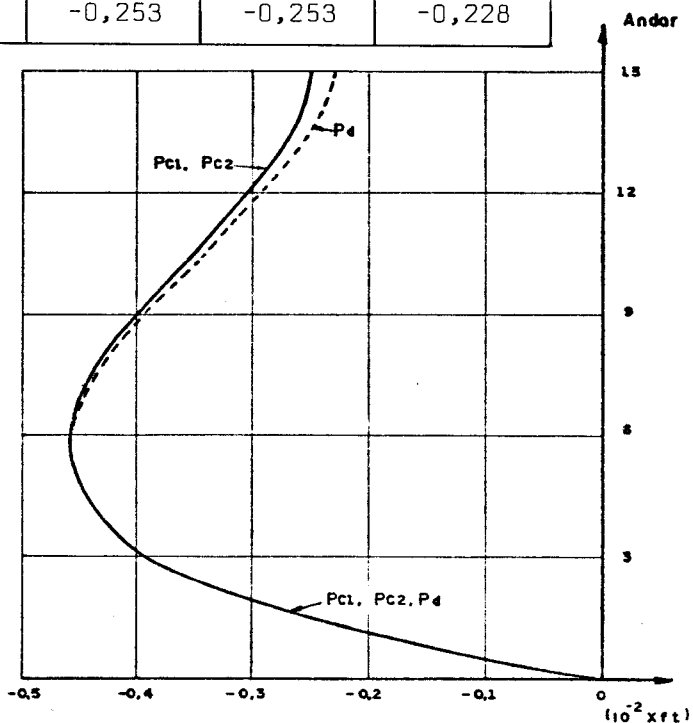


FIG. III.2-14-DESLOCAMENTOS LONGITUDINAIS NO NÓ 1

Tabela III.2-09 - Bimomentos abaixo e acima dos lintéis e forças cortantes nos mesmos

Andar	Bimomentos ($10^8 \times lb \text{ ft}^2$)				Forças cortantes ($10^4 \times lb$)		
	abaixo		acima		Pc1	Pc2	Pd
	Pc1	Pd	Pc1	Pd			
1	-1,189	-1,188	-1,271	-1,272	1,1484	1,1892	1,1833
2	-0,740	-0,754	-0,886	-0,899	2,0318	2,0106	2,0000
3	-0,426	-0,424	-0,610	-0,607	2,5441	2,5473	2,5336
4	-0,183	-0,172	-0,389	-0,378	2,8445	2,8643	2,8475
5	-0,020	-0,017	-0,196	-0,199	3,0035	3,0131	2,9931
6	0,149	0,155	-0,069	-0,062	3,0212	3,0345	3,0109
7	0,243	0,254	0,030	0,042	2,9505	2,9614	2,9335
8	0,309	0,320	0,105	0,119	2,8268	2,8209	2,7875
9	0,345	0,359	0,155	0,171	2,6325	2,6357	2,5950
10	0,355	0,372	0,181	0,201	2,4205	2,4259	2,3757
11	0,343	0,365	0,185	0,210	2,1908	2,2099	2,1472
12	0,310	0,336	0,164	0,197	2,0141	2,0057	1,9270
13	0,256	0,285	0,124	0,160	1,8374	1,8322	1,7320
14	0,162	0,211	0,040	0,096	1,6961	1,7100	1,5823
15	0,120	0,108	—	—	1,6607	1,6633	1,4997

Obs.: Os bimomentos na base calculados pelos processos Pc1 e Pd são ambos iguais a $1,748 \times 10^8 \text{ lb ft}^2$.

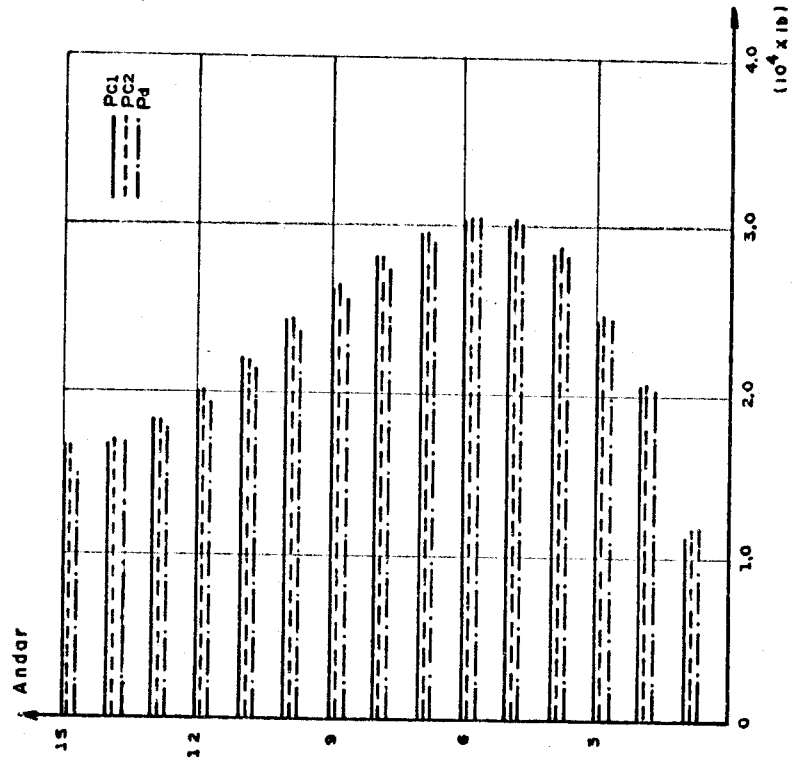


FIG. III. 2 - 16- FORÇAS CORTANTES NOS LINTÉIS

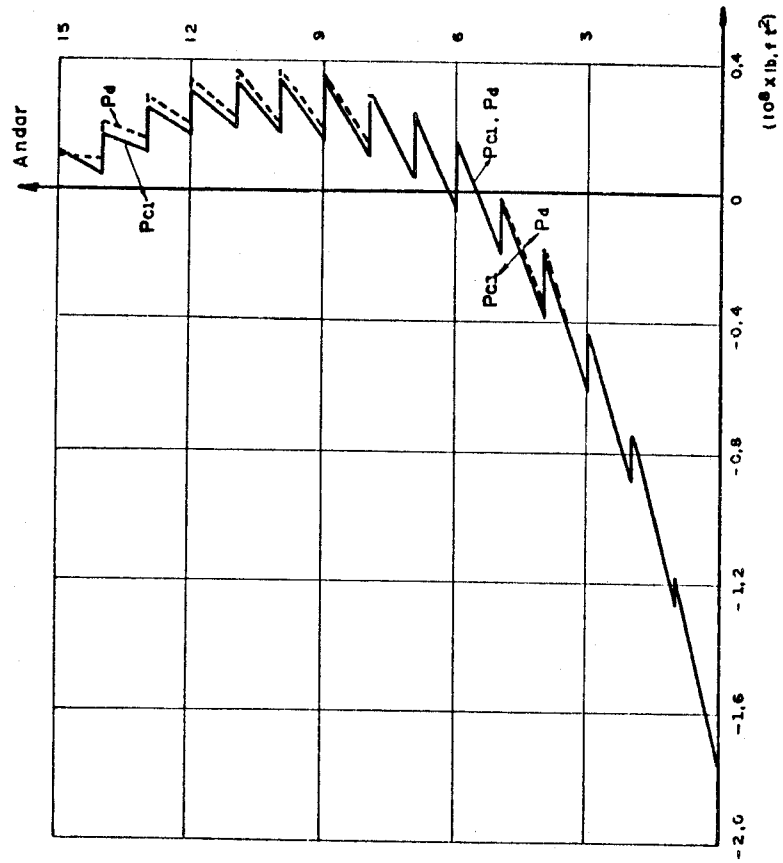


FIG. III. 2-15- BIMOMENTOS ABAIXO E ACIMA DOS LINTÉIS

Tabela III.2-10 - Tensões longitudinais na base da estrutura

Nó	Tensões ($10^4 \times lb/ft^2$)		
	<i>Pc1</i>	<i>Pc2</i>	<i>Pd</i>
1	-9,8970	-9,8709	-9,8985
2	-3,7651	-3,7552	-3,7658
3	4,5900	4,5778	4,5907
4	-4,5900	-4,5778	-4,5907
5	3,7651	3,7552	3,7658
6	9,8970	9,8709	9,8985

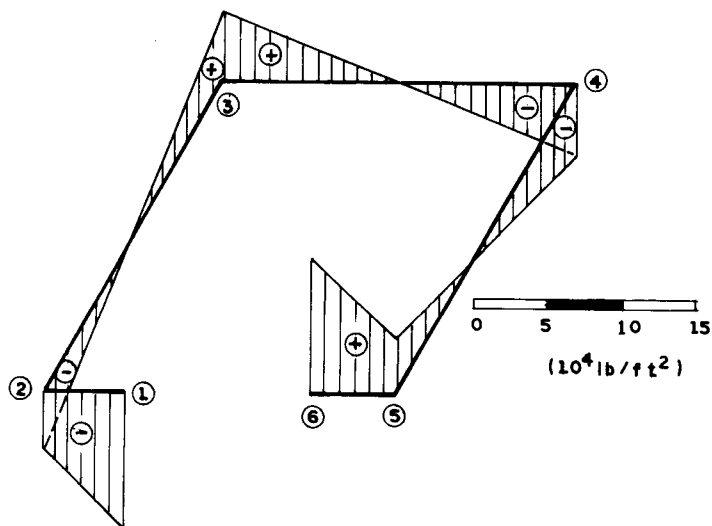
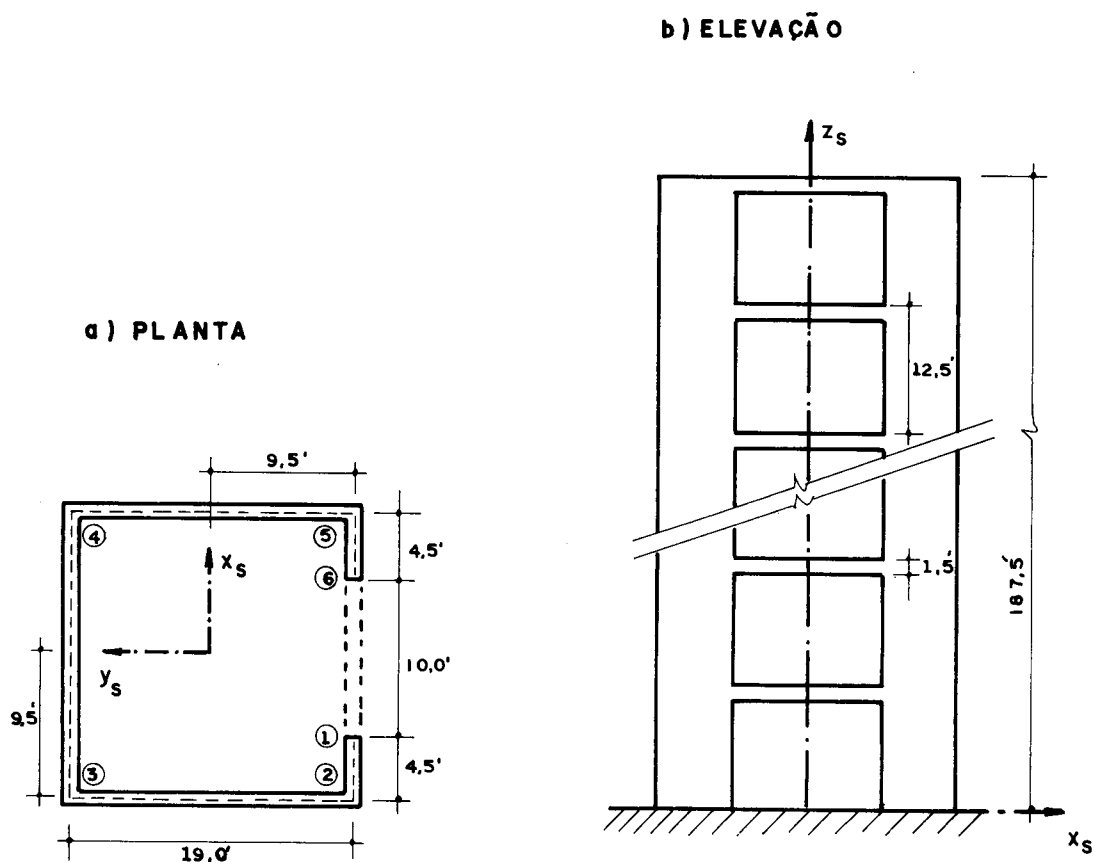


FIG. III. 2-17- TENSÕES NA BASE

III.2-2 - Edifício com uma parede de secção aberta, formada por um único canal, contraventada por lintéis ao nível dos andares, sujeito a cargas horizontais

Apresenta-se na figura (III.2-18) a planta e elevação da estrutura de um edifício de quinze andares de 12,5 ft de pé direito, formado por uma única parede de secção aberta, sem variações ao longo da altura, com todas as suas paredes de espessuras iguais a 1,0 ft.



**FIG. III.2-18- EDIFÍCIO COM UMA PAREDE DE SECCÃO ABERTA
(EIXOS NO CENTRO DO CANAL)**

Adota-se, para o módulo de elasticidade, o valor $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e, para o coeficiente de Poisson, 0,15.

Os valores apresentados nas tabelas de (III.2-11) a (III.2-13) foram obtidos para um carregamento constituído de uma carga

uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft na direção do eixo x e concordante com seu sentido positivo, aplicada no centro do canal.

Deve-se notar que a estrutura da figura (III.2-18) é a mesma da figura (III.2-01) e sua análise foi aqui apresentada por ser um exemplo clássico dos trabalhos que analisam as paredes de secção aberta contraventadas por lintéis, formadas por um único canal; além disso, a comparação dos resultados do item (III.2.1-b) e dos apresentados a seguir mostra claramente que os efeitos de uma carga uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft na direção do eixo x e concordante com seu sentido positivo, aplicada no centro do canal, podem ser obtidos por uma superposição dos de um momento torçor uniformemente distribuído de 24922,50 lb ft/ft (cujos efeitos são mostrados em (III.2.1-b)) mais os de uma flexão simples em torno do eixo y , devido à aplicação da carga uniformemente distribuída de 1250,0 lb ft/ft no centro de cisalhamento. Esta superposição é válida se a rigidez do lintel for tal que a posição do centro de cisalhamento da parede de secção aberta sem contraventamento não difira muito da daquela contraventada. Nos casos das dimensões usuais em engenharia, esta superposição é perfeitamente válida. Assim, os efeitos de um carregamento qualquer em estruturas deste tipo, ou mais genericamente da apresentada na figura (II.1-02), podem ser obtidos por uma superposição dos efeitos das cargas horizontais aplicadas no centro de cisalhamento (flexão simples em torno dos eixos x e y) mais os do momento torçor, surgidos devido à mudança do ponto de aplicação e calculados conforme o item (II.1).

Tabela III.2-11 - Rotações em torno do eixo z e deslocamentos na direção x dos diafragmas

Andar	Rotações (10^{-3} x rad)			Deslocamentos (10^{-1} x ft)	
	Pc2	Pd	* Pt	Pc2	Pd
base	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
1	0,06	0,06	0,18	0,018	0,018
2	0,20	0,20	0,20	0,064	0,064
3	0,41	0,41	0,40	0,133	0,133
4	0,65	0,65	0,65	0,218	0,218
5	0,91	0,91	0,90	0,314	0,314
6	1,18	1,18	1,20	0,417	0,417
7	1,45	1,45	1,40	0,525	0,525
8	1,71	1,70	1,64	0,634	0,634
9	1,95	1,94	1,90	0,744	0,743
10	2,17	2,17	2,16	0,852	0,850
11	2,38	2,37	2,38	0,957	0,955
12	2,57	2,55	2,57	1,060	1,057
13	2,74	2,71	2,70	1,160	1,156
14	2,90	2,86	2,85	1,258	1,252
15	3,00	3,00	3,00	1,354	1,346

O símbolo (*) indica que os valores foram obtidos de gráficos.

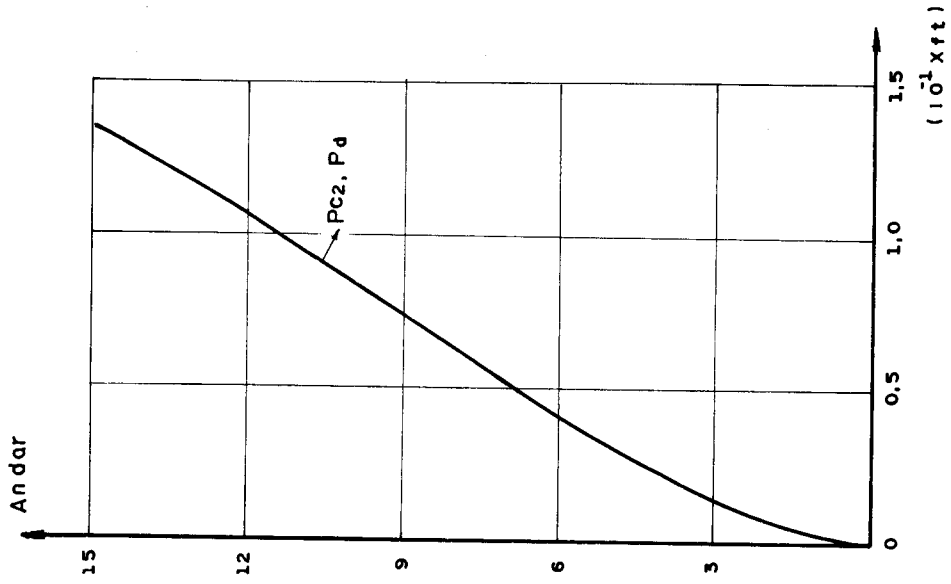


FIG. III.2-20- DESLOCAMENTOS DOS DIAFRAGMAS NA DIREÇÃO X

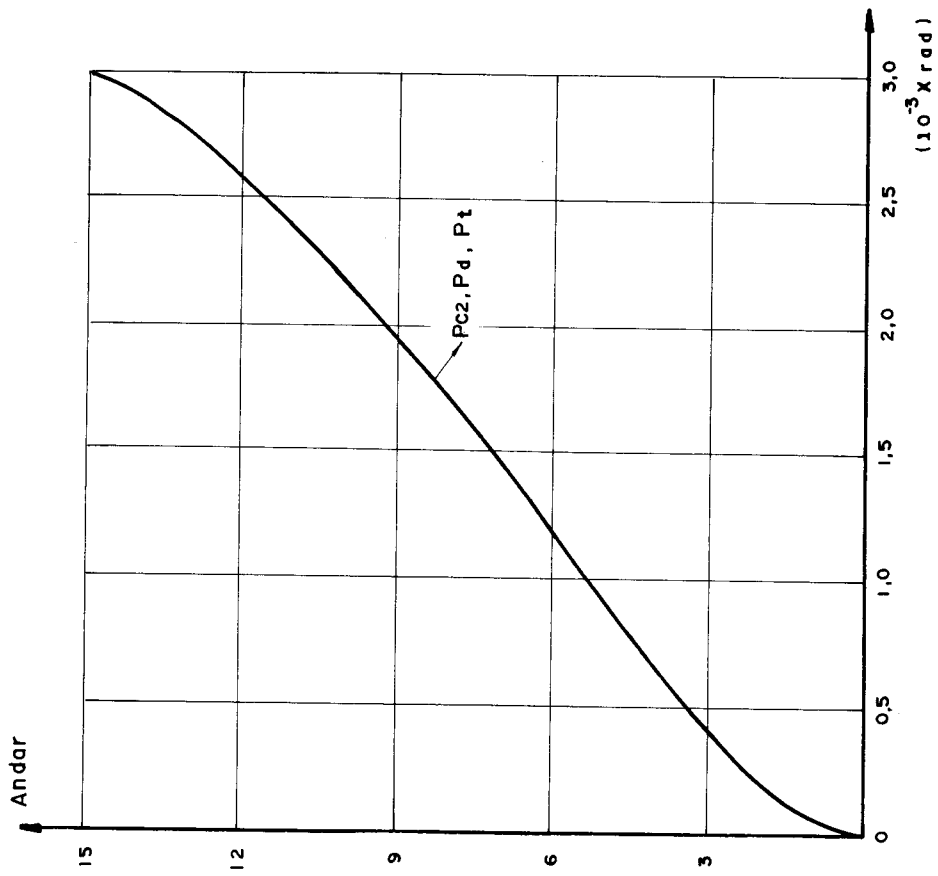


FIG. III.2-19- ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS

Tabela III.2-12 - Bimomentos abaixo e acima dos lintéis

Andar	Bimomentos ($10^8 \times lb \ ft^2$)			
	abaixo		acima	
	P_d	P_t^*	P_d	P_t^*
1	-1,187	-1,180	-1,272	-1,250
2	-0,754	-0,735	-0,899	-0,875
3	-0,424	-0,425	-0,606	-0,600
4	-0,172	-0,160	-0,378	-0,390
5	0,017	0,025	-0,200	-0,200
6	0,155	0,150	-0,062	-0,050
7	0,254	0,225	0,042	0,060
8	0,320	0,325	0,119	0,125
9	0,359	0,350	0,171	0,175
10	0,373	0,350	0,201	0,225
11	0,365	0,375	0,210	0,200
12	0,337	0,340	0,197	0,205
13	0,286	0,290	0,161	0,175
14	0,211	0,210	0,097	0,125
15	0,108	0,100	-	-

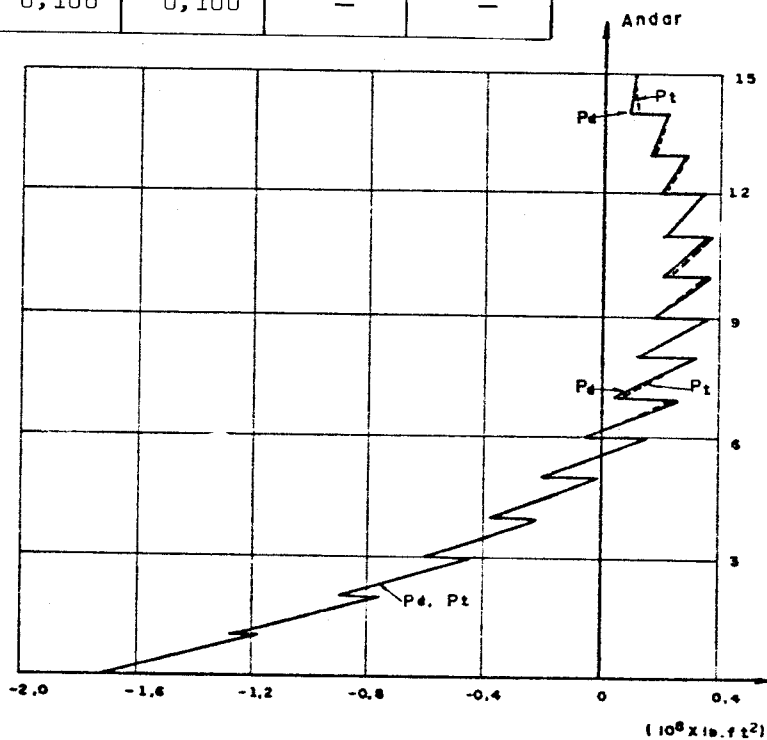


FIG. III. 2-21- BIMOMENTOS ABAIXO E ACIMA DOS LINTÉIS

Obs.: Os bimotoes na base, calculados pelos processos Pd e Pt , são, respectivamente, $-1,745 \times 10^8 \text{ lb ft}^2$ e $-1,750 \times 10^8 \text{ lb ft}^2$.

Tabela III.2-13 - Tensões longitudinais na base da estrutura

Nó	Tensões ($10^4 \times \text{lb}/\text{ft}^2$)		
	$Pc2$	Pd	Pt
1	-7,4236	-7,4513	-7,5312
2	0,8945	0,8840	0,8352
3	9,2275	9,2403	9,2592
4	-9,2275	-9,2403	-9,2592
5	-0,8945	-0,8840	-0,8352
6	7,4236	7,4513	7,5312

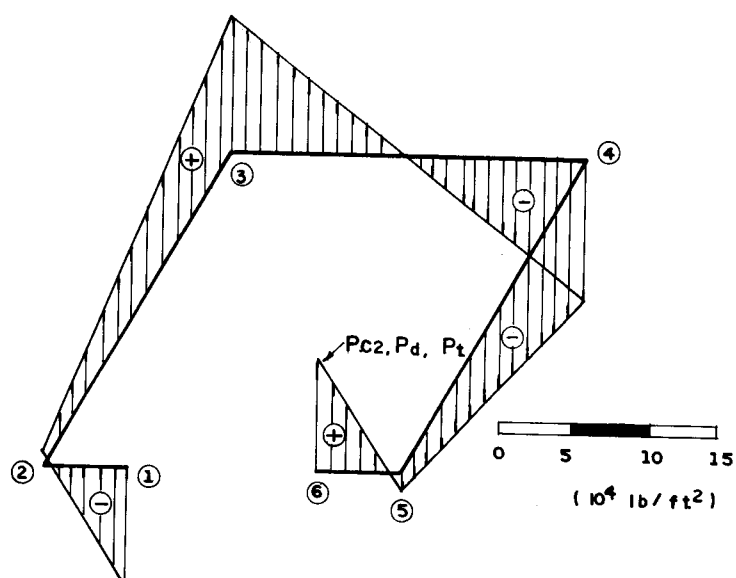


FIG. III. 2-22- TENSÕES NA BASE

III.2-3 - Edifício com uma parede de secção aberta, formada por dois canais adjacentes iguais, sujeito a cargas horizontais

A planta e elevação da estrutura mostrada na figura (III.2-23) é de um edifício de quinze andares, com 12,5 ft de pé direito. A estrutura é constituída por uma única parede de secção aberta, uniforme ao longo de toda a altura, formada por dois canais adjacentes iguais, com as espessuras de todas as paredes iguais a 1,0 ft. Os dois lintéis utilizados ao nível dos andares para contraventamento da parede de secção aberta possuem a mesma espessura das paredes e altura de 1,5 ft.

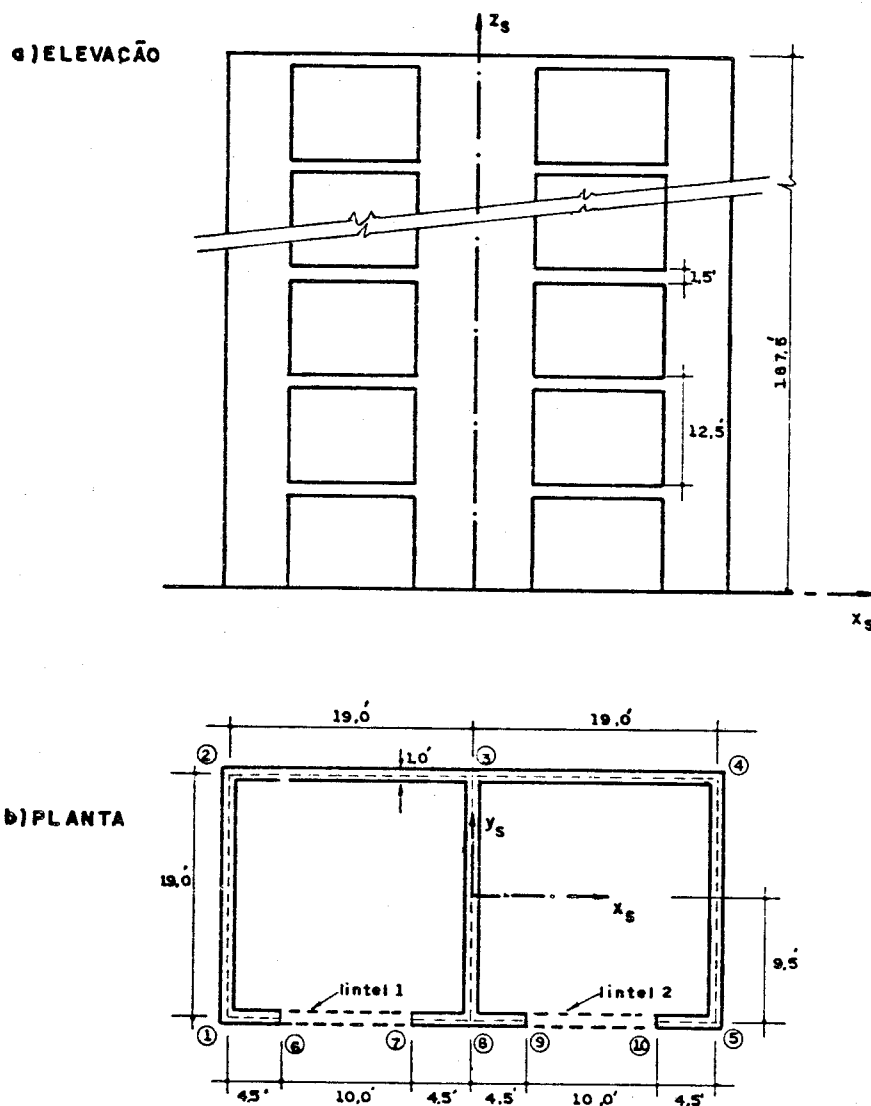


FIG. III.2-23 - EDIFÍCIO FORMADO POR DOIS NÚCLEOS ADJACENTES

O módulo de elasticidade foi adotado igual a $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e o coeficiente de Poisson 0,15.

Os resultados apresentados nas tabelas (II.2-14) e (II.2-15) foram obtidos para um carregamento constituído de uma carga uniformemente distribuída de 1250,0 lb/ft na direção do eixo x e concordante com seu sentido positivo aplicada na origem dos eixos coordenados, pelo uso do conjunto de programas descritos em (III.2-3) (processo $Pc2$) e (III.1) (processo Pd).

Os nós referidos no desenvolvimento são identificados pelos números dentro das circunferências da figura (II.2-23).

Tabela III.2-14 - Rotações em torno do eixo z e deslocamentos na direção x dos diafragmas

Andar	Rotações (10^{-3} x rad)		Deslocamentos (10^{-2} x ft)	
	$Pc2$	Pd	$Pc2$	Pd
base	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,018	0,018	0,046	0,046
2	0,064	0,064	0,172	0,172
3	0,133	0,132	0,359	0,358
4	0,216	0,215	0,591	0,590
5	0,309	0,307	0,857	0,855
6	0,407	0,405	1,146	1,143
7	0,507	0,504	1,450	1,444
8	0,607	0,603	1,760	1,752
9	0,704	0,700	2,072	2,062
10	0,798	0,790	2,381	2,368
11	0,887	0,877	2,685	2,668
12	0,971	0,959	2,983	2,961
13	1,051	1,035	3,273	3,245
14	1,128	1,108	3,558	3,522
15	1,202	1,177	3,839	3,795

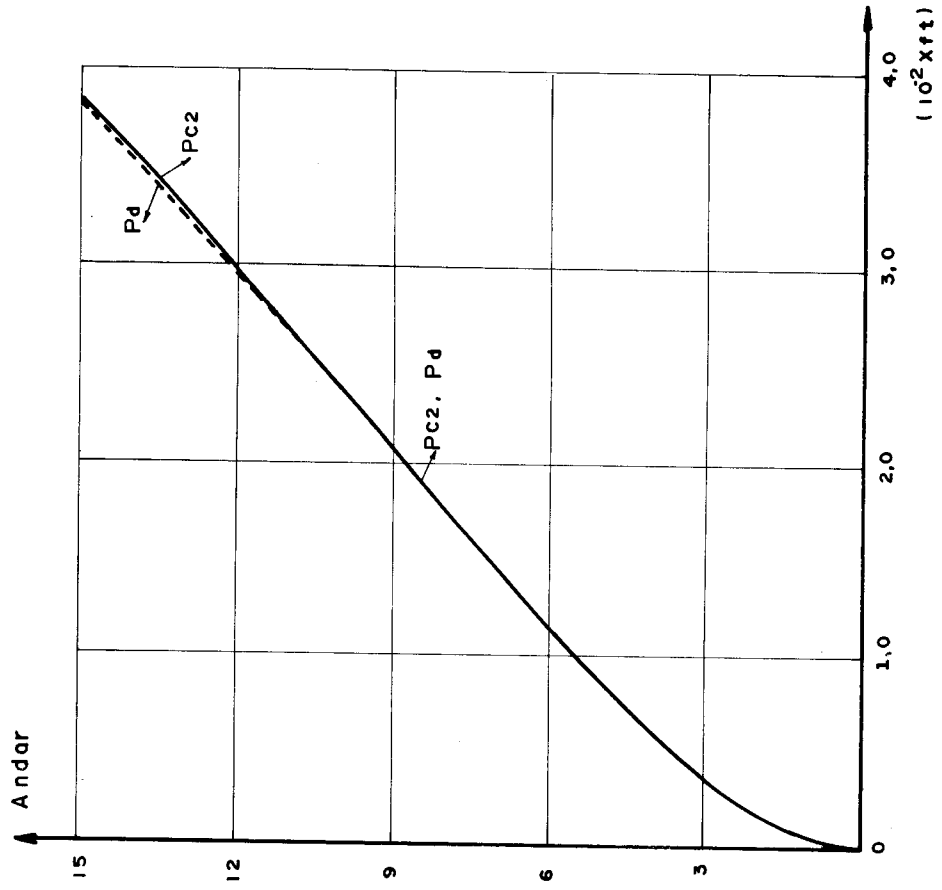


FIG. III.2-25-DESLOCAMENTOS DOS DIAFRAGMAS NA DIREÇÃO X

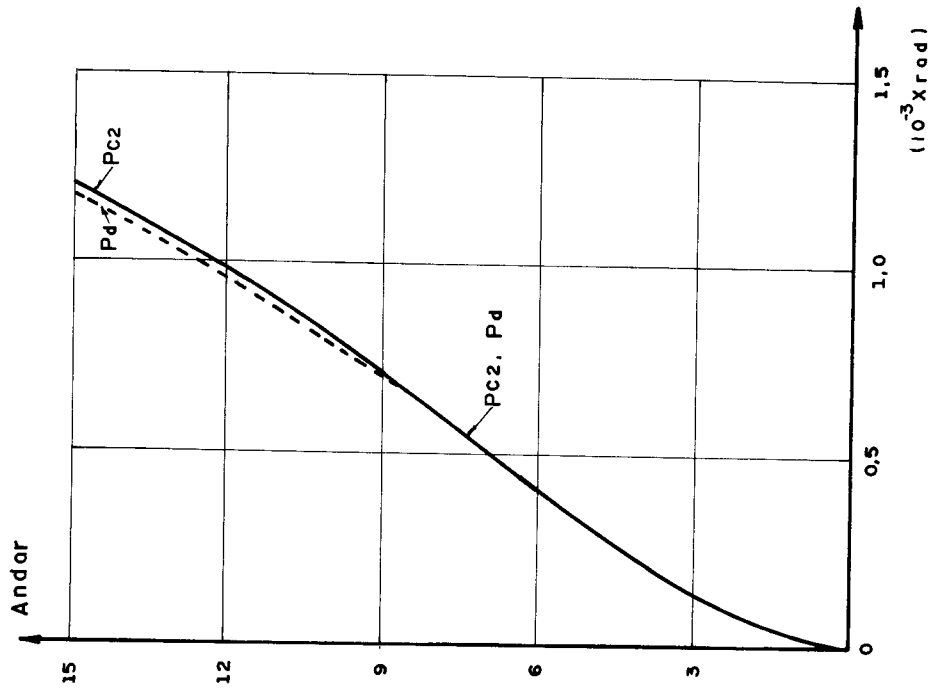


FIG. III.2-24-ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS

Tabela III.2-15 - Tensões longitudinais na base do edifício

N ^o	Tensões (10 ⁴ x lb/ft ²)	
	Pc2	Pd
1	-0,6791	-0,6741
2	4,4502	4,4456
3	0,0000	0,0000
4	-4,4502	-4,4456
5	0,6791	0,6741
6	-2,9479	-2,9396
7	2,2688	2,2655
8	0,0000	0,0000
9	-2,2688	-2,2655
10	2,9479	2,9396

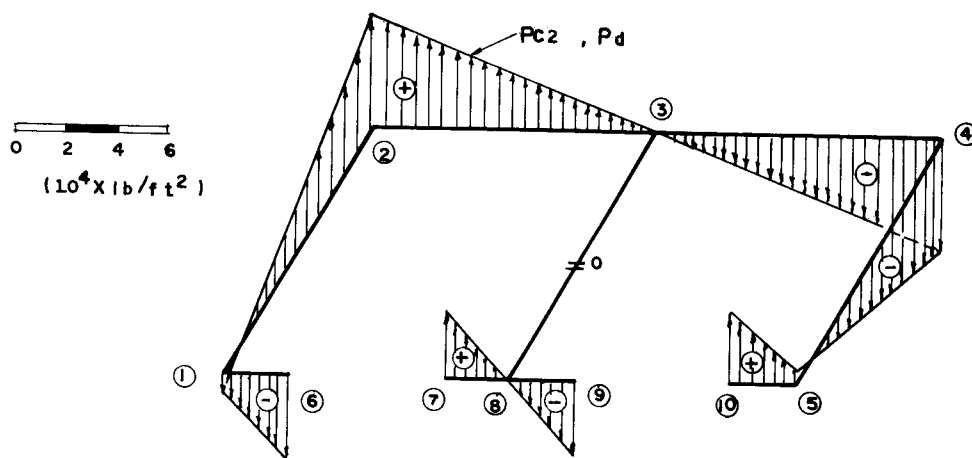


FIG. III.2-26- TENSÕES NA BASE

III.2-4 - Edifício com duas paredes de secção aberta iguais, contra
ventadas entre si por lintéis, sujeito a momentos torçores

A figura (III.2-27) apresenta a planta e elevação da es
trutura de um edifício de vinte andares, com 10,5 ft de pé direito, de
dois eixos de simetria, constituída de duas paredes de secção aberta
uniforme ao longo de toda a altura. As espessuras das paredes que com
põem a estrutura são todas iguais a 2,0 ft e os dois lintéis que con
traventam as paredes de secção aberta, ao nível dos andares, têm a mes
ma espessura das paredes planas, às quais estão ligados, e 2,5 ft de al
tura.

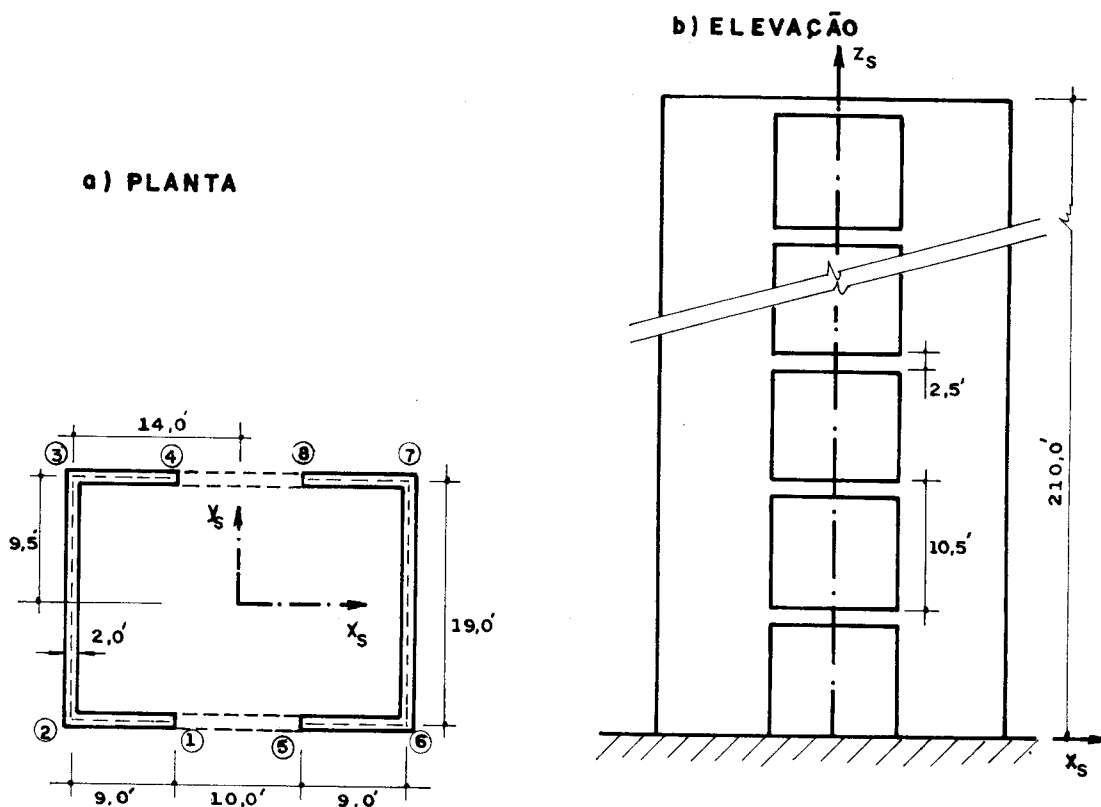


FIG. III. 2- 27- EDIFÍCIO COM DUAS PAREDES DE SECÇÃO ABERTA

Para o módulo de elasticidade foi adotado o valor $4,32 \times 10^8$ lb/ft² e, para o coeficiente de Poisson, 0,25.

Nas tabelas (III.2-16) e (III.2-17) apresentam-se os re
sultados obtidos para um carregamento constituído por um momento tor
ç

çor de 64,0 lb ft/ft no sentido anti-horário para um observador olhando do topo para a base do edifício, pelos processos $Pc2$ e Pd .

Estruturas com esta forma e submetidas a carregamento de torção são analisadas por MICHAEL⁽¹⁾, TSO e BISWAS⁽²⁾, e COULL⁽³⁾, sendo que COULL⁽³⁾ trata do efeito do engastamento elástico nas fundações.

Tabela III.2-16 - Rotações dos diafragmas em torno do eixo z

Andar	Rotações (10^{-6} x rad)	
	$Pc2$	Pd
base	0,000	0,000
1	0,018	0,018
2	0,065	0,065
3	0,133	0,133
4	0,213	0,213
5	0,301	0,302
6	0,393	0,394
7	0,487	0,487
8	0,579	0,579
9	0,667	0,668
10	0,752	0,753
11	0,832	0,832
12	0,905	0,906
13	0,973	0,974
14	1,034	1,034
15	1,088	1,089
16	1,138	1,137
17	1,181	1,179
18	1,220	1,216
19	1,255	1,249
20	1,286	1,279

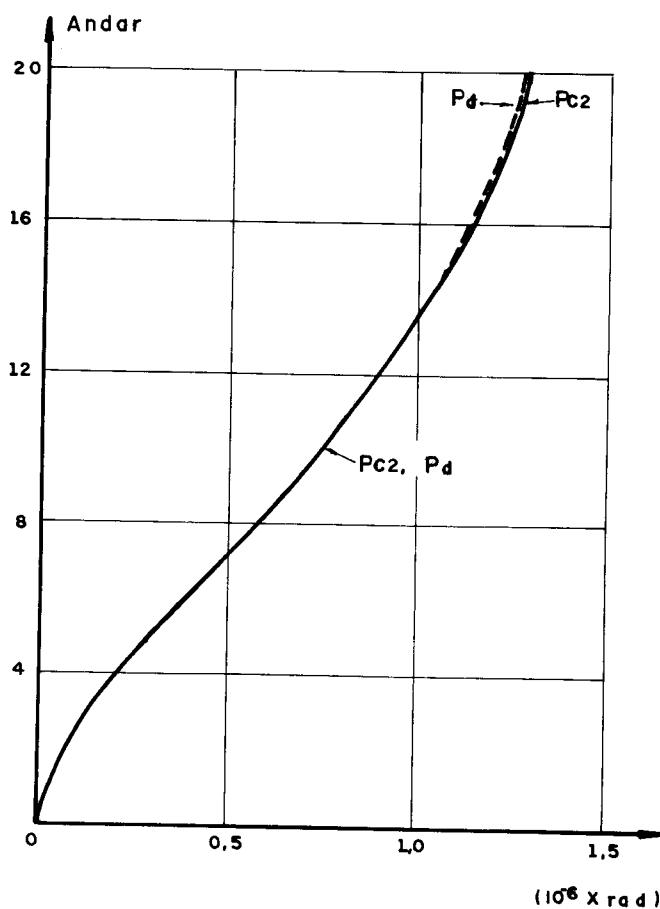


FIG. III. 2-28- ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS

Tabela III.2-17 - Tensões longitudinais na base do edifício

N ^o	Tensões (10 ¹ lb/ft ²)	
	Pc2	Pd
1	-3,458	-3,483
2	-2,105	-2,111
3	2,105	2,111
4	3,458	3,483
5	3,458	3,483
6	2,105	2,111
7	-2,105	-2,111
8	-3,458	-3,483

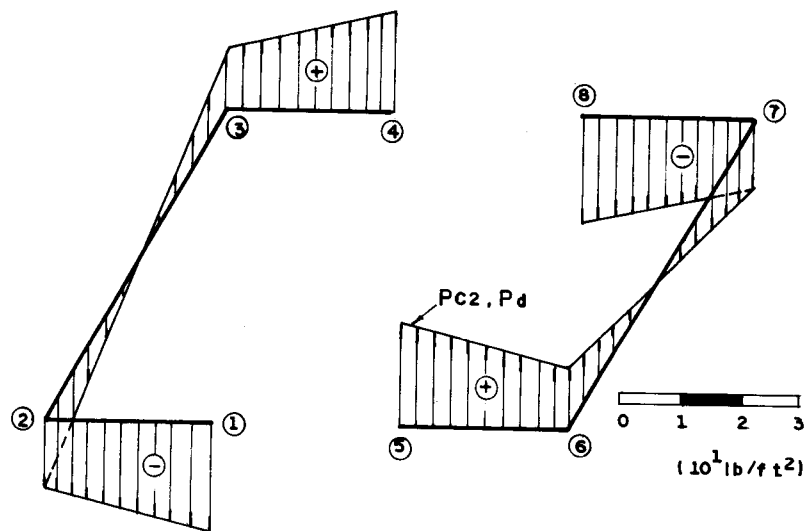


FIG. III.2-29-TENSÕES NA BASE

III.2-5 - Considerações finais

Como se pode observar através dos gráficos de comparação de resultados para as estruturas apresentadas neste item, há uma excelente concordância entre os valores obtidos pelos processos contínuos com os do processo discreto, considerado como "exato". Esta concordância prova também a validade das hipóteses de pontos de momento nulo nos centros dos vãos dos lintéis e também da consideração dos lintéis uniformemente distribuídos na altura do andar, utilizadas pelos processos contínuos. A hipótese da secção transversal da parede de secção aberta, indeformável no seu plano, utilizada pela teoria de flexo-torção, é válida devido à presença das lajes ao nível dos pisos com altíssima rigidez nos seus planos. Deve-se observar que as pequenas variações de valores localizam-se em torno dos andares onde existem perturbações provocadas pelas mudanças de sinais das tensões longitudinais (vide, por exemplo, as figuras (III.2-13) a (III.2-15), (III.2-21), (III.2-24) e (III.2-25)).

A técnica contínua desenvolvida no item (II.2), baseada no trabalho de MANCINI⁽¹¹⁾, exige do leitor apenas o conhecimento das equações de equilíbrio e compatibilidade de deslocamentos, já tão familiares ao engenheiro estrutural. Como se mostrou no item (II.2-4), dependendo do carregamento e do formato em planta da estrutura, o comportamento do modelo estrutural é interpretado por uma equação diferencial, o que permite um cálculo manual rápido e de boa precisão, através de gráficos. No caso geral, o comportamento é regido por um sistema de equações diferenciais que, em alguns casos, pode ser resolvido por processos analíticos e, no caso geral, pela técnica das diferenças finitas. Devido à simplicidade do processo, a partir dos arranjos das paredes de secção aberta, apresentados nos itens (II.2-2) a (II.2-4), pode-se facilmente equacionar-se outros.

O processo contínuo, desenvolvido no item (II.1), exige para o bom entendimento o conhecimento da teoria das vigas de secção delgada, apresentada no *apêndice A*, já não tão familiar ao engenheiro estrutural. Para as estruturas mostradas em (II.1), os cálculos dos efeitos de um momento torçor podem ser obtidos rapidamente através dos gráficos apresentados, devendo-se lembrar, como mencionado no item

(III.2-2), que os efeitos de um carregamento qualquer em estruturas deste tipo são calculados pela superposição dos de flexões simples, devido a aplicação das cargas no centro de cisalhamento, mais os de flexo-torção, provenientes de um momento torçor. Além disso é possível a análise de paredes de secção aberta não uniformes com a altura, através da utilização, juntamente com este processo, das matrizes de transferência.

O processo de tratamento discreto exige do leitor, além do conhecimento da teoria de flexo-torção, conhecimentos de análise matricial. A potencialidade desta técnica evidencia-se na facilidade de análise de qualquer arranjo em planta das paredes de secção aberta, exigindo, no entanto, como todo processo discreto, de um computador digital para seu uso, sendo apresentado neste trabalho um conjunto eficiente de programas que permite o cálculo destas estruturas, pelo processo discreto, em computadores de pequeno porte.

Em resumo, os processos de tratamento contínuo permitem, em alguns casos, soluções manuais, analíticas ou através de gráficos, e, no caso geral, soluções com o emprego das técnicas das diferenças finitas através do uso de equipamento computacional; o processo discreto, por ter seu desenvolvimento baseado na análise matricial, necessita obrigatoriamente do uso de computadores digitais, nem sempre disponíveis ao engenheiro estrutural.

Sugere-se, como trabalho que dê prosseguimento ao apresentado, o aprimoramento do processo de tratamento discreto para permitir quaisquer variações das paredes de secção aberta ao longo da altura e também a incorporação à estrutura de outros elementos estruturais, para a análise de estruturas mais complexas e gerais.

APÊNDICE A – RESUMO DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO

A.1 – INTRODUÇÃO

Apresenta-se neste apêndice um resumo da *teoria das barras de secção delgada, ou teoria de flexo-torção*, com base em RACHID⁽¹⁴⁾ e SCHIEL⁽¹⁵⁾. Esta teoria é utilizada na solução de estruturas de edifícios altos, com paredes de secção aberta, por um dos processos contínuos e pelo de tratamento discreto desenvolvidos neste trabalho.

Considere-se a barra de secção aberta de paredes finas, apresentada na figura (A.1-1), na qual define-se um sistema local de eixos com origem no centro de gravidade da secção transversal, com x e y eixos principais de inércia e z um eixo longitudinal. Define-se ainda uma coordenada s na linha esqueleto da secção, ou simplesmente esqueleto, de origem O_s convenientemente estabelecida.

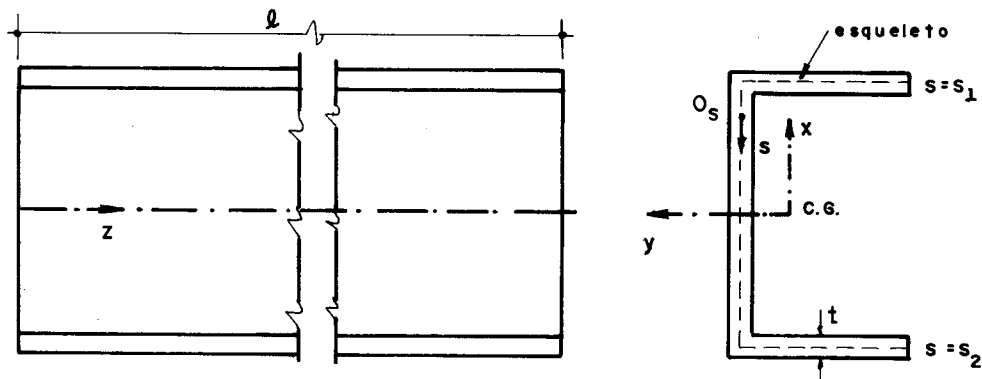


FIG. A.1-1 – SISTEMA DE EIXOS EM UMA BARRA DE SECÇÃO ABERTA DE PAREDES FINAS

A espessura t pode variar com s e o elemento de área da secção é dado por

$$dS = t ds \quad (A.1-01)$$

Supõe-se que a barra apresentada na figura (A.1-1) não varie de secção com a coordenada z ; que sua espessura t é bem menor que as outras dimensões características do esqueleto e essas bem menores que o comprimento l ; e que a secção é indeformável no seu plano.

A.2 – CENTRO DE TORÇÃO OU DE CISALHAMENTO

A.2.1 - Condições implícitas para o centro de torção

O centro de torção ou de cisalhamento é o ponto do plano da seção transversal por onde deve passar o plano de aplicação das cargas transversais, para que a peça fique submetida só à flexão.

Da Resistência dos Materiais sabe-se que as tensões de cisalhamento provocadas por uma força cortante Q são dadas por

$$\tau_Q = \frac{QM_s}{tJ} \quad (\text{A.2-01})$$

onde M_s é o momento estático e J o momento de inércia, tomados em relação aos eixos apropriados.

Para um carregamento paralelo ao plano xz , deve-se fazer em (A.2-01)

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_x \\ J &= J_y \\ M_s &= \int_{s_1}^s x dS \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.2-02})$$

A condição que fornece um dos lugares geométricos do centro de torção é que a resultante dos momentos das tensões τ_{Q_x} , supostas uniformemente distribuídas na espessura t , em relação ao centro de torção seja nula, ou seja

$$\int_{s_1}^{s_2} \tau_{Q_x} dS n = 0 \quad (\text{A.2-03})$$

onde n é a distância do centro de torção à tangente ao esqueleto, conforme figura (A.2.1-a).

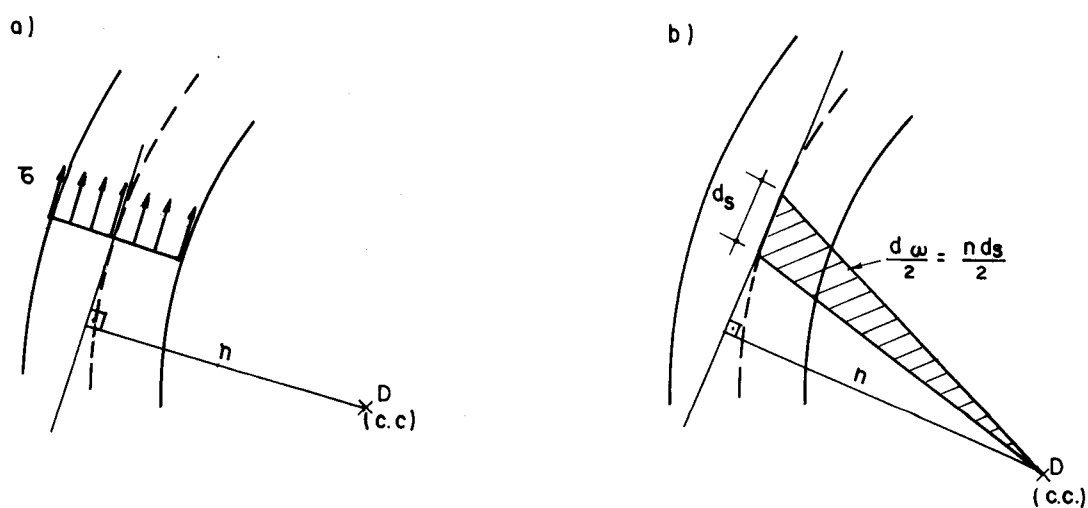


FIG. A. 2 - 1 - CENTRO DE TORÇÃO E ÁREA SETORIAL

Combinando-se as equações (A.2-01), (A.2-02) e (A.2-03) e efetuando-se as integrais chega-se a

$$\int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s n ds \right) x dS = 0 \quad (\text{A.2-04})$$

Supondo-se agora um carregamento paralelo ao plano yz , tem-se, por um procedimento análogo ao anterior, o segundo lugar geométrico do centro de torção dado por

$$\int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s n ds \right) y dS = 0 \quad (\text{A.2-05})$$

Definindo-se como área setorial a grandeza geométrica

$$\omega = \int_{s_1}^s n ds \quad (\text{A.2-06})$$

as equações (A.2-04) e (A.2-05) fornecem as duas condições que determinam a posição do centro de torção, como

$$\left. \begin{aligned} \int_S \omega x dS &= 0 \\ \int_S \omega y dS &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.2-07})$$

A razão do nome *área setorial* provém da propriedade esquemática na figura (A.2-1-b), onde o elemento de área $d\omega$ é o dobro da área do setor com pólo no centro de cisalhamento e que compreende o arco elementar ds . Deve-se notar que a área setorial é uma função da ordenada s .

A posição da origem da coordenada s não influi no resultado das equações (A.2-07), pois, deslocando-se a origem, aparecerá um acréscimo constante na área setorial cuja contribuição a estas será nulo, por serem nulos os momentos estáticos quando se considera a secção inteira.

Em vista do exposto anteriormente, a origem O_s é escolhida, para facilitar o desenvolvimento, satisfazendo a seguinte condição:

$$\int_S \omega ds = 0 \quad (\text{A.2-08})$$

Caso se tenha a área setorial $\bar{\omega}$ com origem arbitrária e se queira a área setorial ω , satisfazendo (A.2-08), basta fazer

$$\omega = \bar{\omega} - C \quad (\text{A.2-09})$$

onde

$$C = \frac{1}{S} \int_S \bar{\omega} ds \quad (\text{A.2-10})$$

A.2.2 - Fórmulas para as coordenadas do centro de cisalhamento

A forma de apresentação das equações (A.2-07) impede sua aplicação direta na determinação do centro de cisalhamento, mas uma interpretação geométrica da área setorial ω fornecerá a marcha de cálculo para a sua obtenção.

A figura (A.2-2) mostra um trecho de esqueleto com origem $O_s (x_0, y_0)$ e um ponto genérico $Q(x, y)$. Pelo ponto $D(x_D, y_D)$, centro de cisalhamento, e pelos pontos O_s e Q , traçam-se retas paralelas aos eixos principais de inércia x e y . Por um raciocínio puramente geométrico tem-se que

$$A + B + 2\Delta = 2\left(\frac{\omega}{2} + B + \Delta\right) \quad (\text{A.2-11})$$

onde A e B são as áreas hachuradas da figura (A.2-2) e Δ a área do triângulo DNO_S (ou DMO_S).

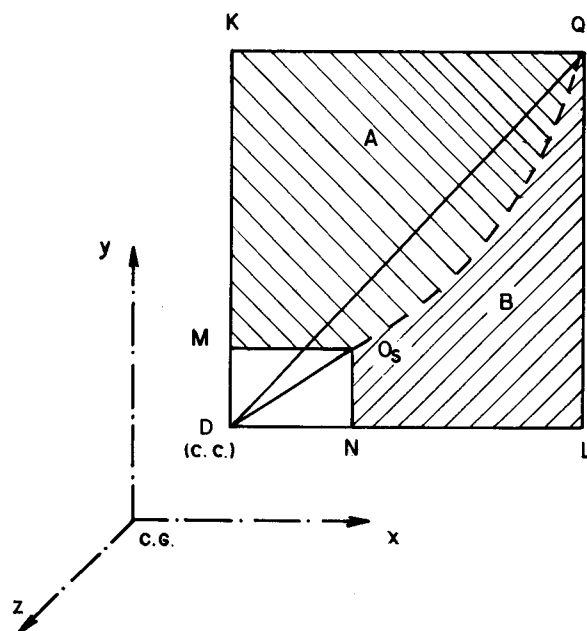


FIG. A.2-2- PROPRIEDADES DA ÁREA SETORIAL

Da equação (A.2-11) segue

$$\omega = A - B \quad (\text{A.2-12})$$

O sinal da função ω fica convençãoado positivo quando o raio vetor traçado de D , partindo de O_S para o ponto genérico, girar no sentido horário para um observador colocado sobre o eixo z e olhando no seu sentido positivo.

O sistema de eixos coordenados foi definido, conforme a figura (A.2-2), pelo fato, de nos capítulos onde essa teoria foi aplicada, o eixo z ser orientado da base para o topo do edifício.

Para obterem-se, finalmente, as fórmulas procuradas, escolhe-se arbitrariamente um pólo provisório $P(x_p, y_p)$ conforme figura (A.2-3), e determinam-se as respectivas áreas setoriais chamadas de ω_p .

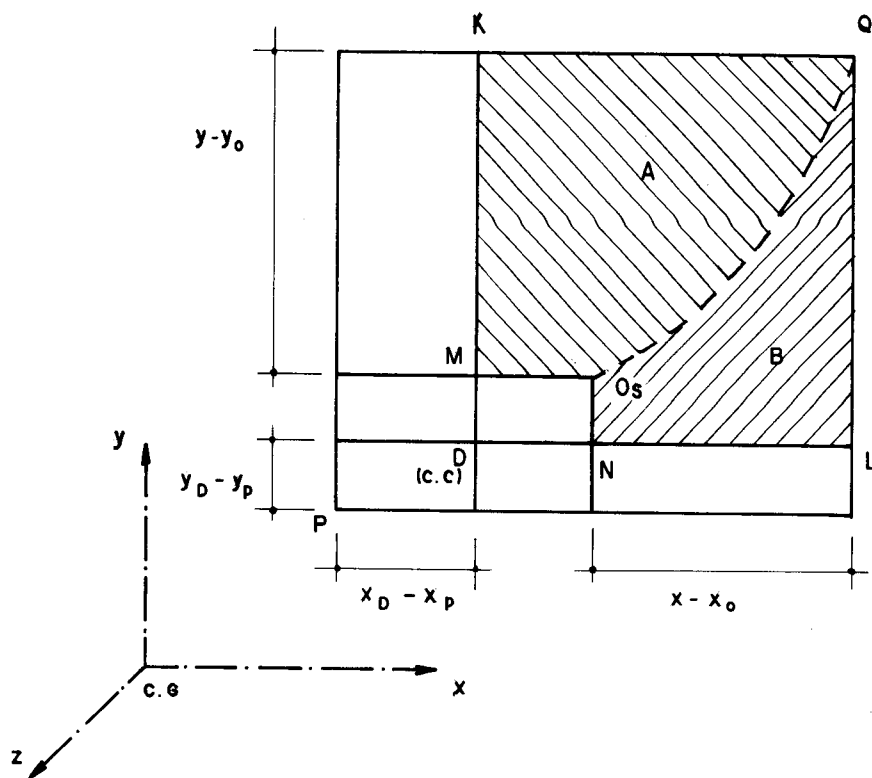


FIG. A.2-3- ÁREA SETORIAL COM PÓLO ARBITRÁRIO

Aplicando-se a equação (A.2-12) à figura (A.2-3), tem-se que

$$\omega_p = A + (y - y_o)(x_D - x_p) - B - (x - x_o)(y_D - y_p) \quad (\text{A.2-13})$$

Rearranjando-se a equação (A.2-13) e utilizando (A.2-12), chega-se a

$$\omega = \omega_p + (x - x_o)(y_D - y_p) - (y - y_o)(x_D - x_p) \quad (\text{A.2-14})$$

Como os eixos x e y são eixos principais de inércia, va lem

$$\left. \begin{aligned} \int_S x^2 ds &= J_y \\ \int_S y^2 ds &= J_x \\ \int_S x ds &= \int_S y ds = \int_S xy ds = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.2-15})$$

Substituindo-se as equações (A.2-14) e (A.2-15) em (A.2-07), têm-se as coordenadas do centro de torção, para um sistema de eixos no centro de gravidade com x e y eixos principais de inércia, dadas por

$$\left. \begin{aligned} x_D &= x_p + \frac{1}{J_x} \int_S \omega_p y \, dS \\ y_D &= y_p - \frac{1}{J_y} \int_S \omega_p x \, dS \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.2-16})$$

A.3 – TORÇÃO UNIFORME OU TORÇÃO LIVRE OU TORÇÃO DE *SAINT-VENANT*

A.3.1 - Condições para a torção livre

A torção livre ocorre quando são satisfeitas as seguintes condições:

- a) a barra é de secção constante com z ;
- b) a barra é solicitada por um momento torçor M_t constante, resultante da aplicação de dois momentos externos iguais mas de sentidos opostos nas secções extremas da mesma;
- c) a barra pode se deformar livremente na direção longitudinal.

Com as condições anteriores, irrealizáveis na prática, pode-se concluir que nunca haverá torção livre, mas algumas distorções dessas condições não modificam fundamentalmente o tipo de solicitação. No entanto, o impedimento de deslocamentos longitudinais das fibras, por um engastamento da secção extrema, é incompatível com a torção livre.

Da Resistência dos Materiais tem-se que a derivada do ângulo de giro, na torção livre, é dada por

$$\phi' = \frac{M_t}{GJ_t} \quad (\text{A.3-01})$$

onde J_t é o momento de inércia à torção da secção transversal e G o módulo de elasticidade transversal. Deve-se observar que na torção livre ϕ' é constante com z .

Convencionou-se neste estudo que um momento torçor M_t que solicita um parafuso direto no sentido de apertá-lo é positivo e que uma rotação no sentido anti-horário é positiva, para um observador sobre o eixo z e olhando no seu sentido positivo. Na figura (A.3-1) apresenta-se esta convenção.

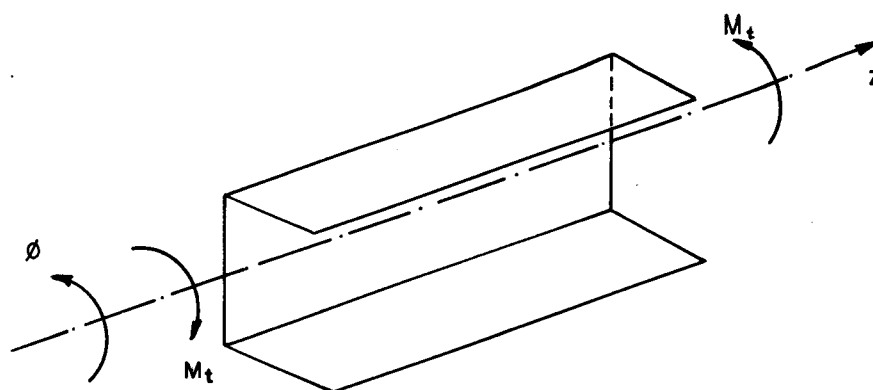


FIG.A.3-1- CONVENÇÃO DE M_t E ϕ POSITIVOS

A.3.2 - Deslocamento longitudinal

Consideram-se agora os deslocamentos elásticos w na direção z e v na direção s .

Na rotação ϕ de uma secção em torno do centro de cisalhamento, um ponto genérico Q do esqueleto executa um deslocamento $\overline{QQ'}$, conforme a figura (A.3-2).

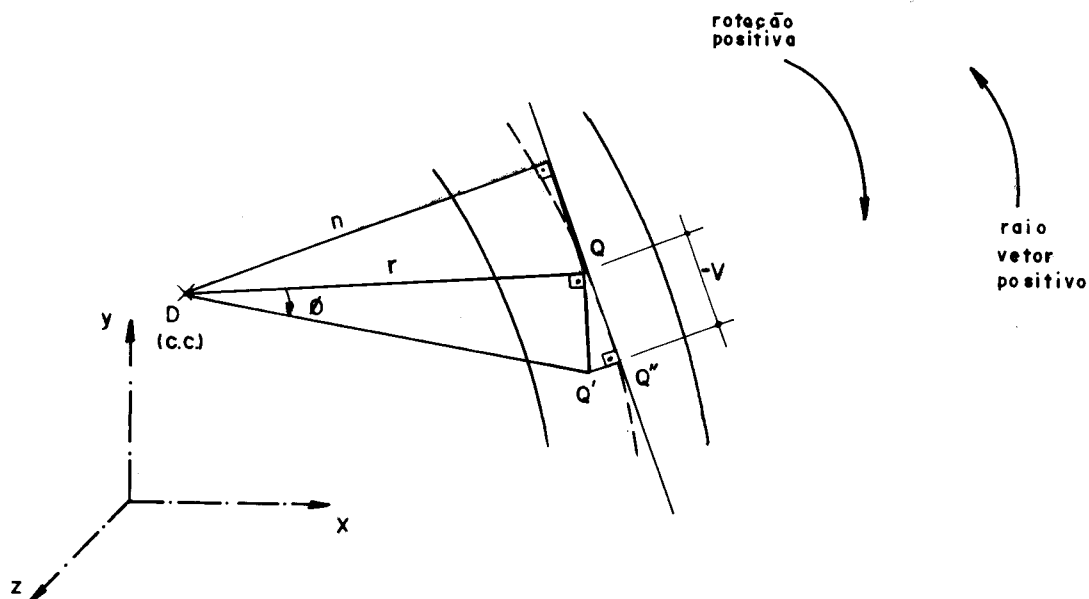


FIG.A.3-2- DESLOCAMENTO DE UM PONTO DO ESQUELETO

Da figura A.3.2 o deslocamento $\overline{QQ'}$ é dado por

$$\overline{QQ'} = \phi r$$

(A.3-02)

onde r é o comprimento do raio vetor traçado do centro de cisalhamento ao ponto considerado.

O deslocamento v na direção da tangente ao esqueleto é dado pela projeção de $\overline{QQ'}$ sobre esta tangente, ou seja

$$-v = n \phi \quad (\text{A.3-03})$$

onde n é a distância da tangente no ponto Q ao centro de cisalhamento. Este deslocamento é negativo devido às convenções de sinais da rotação ϕ (positiva quando o giro é anti-horário para um observador colocado sobre o eixo z e olhando no seu sentido positivo) e da ordenada s (positiva quando o raio vetor gira no sentido horário, para o observador mencionado).

Derivando-se em relação a z a equação anterior, tem-se

$$\frac{\partial v}{\partial z} = -n \phi' \quad (\text{A.3-04})$$

Como no esqueleto a tensão tangencial é nula, um elemento $dz ds$ não pode sofrer distorção, sendo mantido o seu ângulo reto. Como consequência, a seguinte relação diferencial é válida:

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{A.3-05})$$

Substituindo-se (A.3-04) em (A.3-05) e lembrando-se que na torção livre o deslocamento longitudinal não é função de z , tem-se

$$\frac{\partial w}{\partial z} = n \phi' \quad (\text{A.3-06})$$

Integrando-se (A.3-06) desde O_s até o ponto genérico Q , obtém-se

$$w = \phi' \int_{O_s}^Q n ds \quad (\text{A.3-07})$$

Da equação (A.2-06) pode-se escrever (A.3-07) como

$$w = \omega \phi' \quad (\text{A.3-08})$$

Os deslocamentos longitudinais concordantes com o sentido positivo de z serão considerados positivos.

A fórmula (A.3-08) vale para qualquer ponto do esqueleto,

cujos valores em toda a secção dão a sua deformação fora do plano, chamada *empenamento*, que na torção livre é constante em todas as secções ao longo de z .

O empenamento é a única deformação admitida das secções, pois a indeformabilidade da sua projeção sobre o plano xy figura entre as hipóteses de cálculo.

A.4 – TORÇÃO NÃO UNIFORME OU FLEXO-TORÇÃO

A.4.1 - Hipótese de cálculo

Considerar-se-ão neste estudo somente as barras de secção constante, limitando-se então a ocorrência de flexo-torção aos casos em que o momento torçor não é constante, ou a aqueles em que há vínculos que impeçam o empenamento de alguma secção.

A hipótese básica que resolve o problema é admitir que a equação (A.3-08) continua válida, apenas com a particularidade de que a derivada da rotação não é mais constante com z , implicando isto em deslocamentos longitudinais dependentes de z .

A.4.2 - Tensão normal de flexo-torção

Serão desprezadas as tensões normais, com exceção daquelas em cortes transversais. Denominando-se por σ_z e ϵ_z a tensão normal e a deformação longitudinal, tem-se, da Lei de HOOKE e da Teoria da Elasticidade, que

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= E \epsilon_z \\ \epsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.4-01})$$

onde E é o módulo de elasticidade longitudinal.

Combinando-se (A.4-01) com (A.3-08), tem-se

$$\sigma_z = E \omega \phi'' \quad (\text{A.4-02})$$

A proporcionalidade entre σ_z e ω indica, utilizando-se as equações (A.2-07) e (A.2-08), que as tensões longitudinais não têm força nem momento resultante na secção, sendo sua resultante um novo esforço solicitante denominado *bimomento*, definido adiante. A *tensão longitudinal em um ponto da secção será considerada positiva se for de tração*.

A.4.3 - Tensão tangencial de flexo-torção

Na figura (A.4-1) representa-se um elemento de comprimento dz limitado pelas coordenadas s_1 e s . Para que este elemento permaneça em equilíbrio, há necessidade da presença de tensões cisalhantes, devido à variação das tensões σ_z . Estas tensões são chamadas de *tensões tangenciais de flexo-torção* e são indicadas por τ_{ft} .

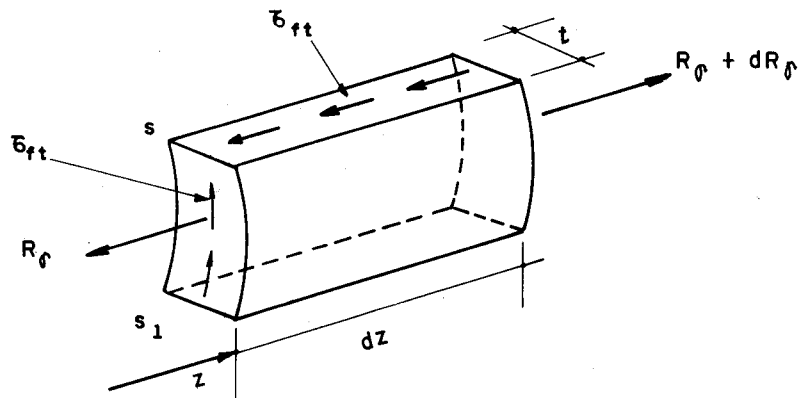


FIG. A.4-1- TENSÕES TANGENCIAIS DE FLEXO-TORÇÃO

Denominando-se a resultante das tensões σ_z , aplicadas na face de coordenada z do elemento por R_σ , tem-se, utilizando-se (A.4-02), que

$$R_\sigma = E \phi'' \int_{s_1}^s \omega ds \quad (\text{A.4-03})$$

Fazendo-se o equilíbrio do elemento na direção longitudinal e utilizando-se (A.4-03), chega-se a

$$\tau_{ft} = \frac{E \phi'''}{t} \int_{s_1}^s \omega ds \quad (\text{A.4-04})$$

As tensões τ_{ft} são suficientemente pequenas nas seções delgadas para não afetarem a base da dedução, ou seja, distorção nula no esqueleto.

A.4.4 - Momento de flexo-torção

Apesar de serem pequenas as tensões tangenciais de fle

xo-torção, estas podem dar uma contribuição considerável para o momento torçor. Chamando-se de M_{ft} a contribuição das tensões tangenciais de flexo-torção, tem-se que

$$M_{ft} = \int_{s_1}^{s_2} n \tau_{ft} dS \quad (A.4-05)$$

Usando (A.2-06), (A.2-08) e (A.4-04) em (A.4-05) e efetuando-se as integrações, tem-se

$$M_{ft} = -E J_{\omega} \phi''' \quad (A.4-06)$$

onde J_{ω} é o momento de inércia setorial dado por

$$J_{\omega} = \int_S \omega^2 dS \quad (A.4-07)$$

Substituindo-se (A.4-06) em (A.4-04), tem-se

$$\tau_{ft} = -\frac{M_{ft} S_{\omega}}{t J_{\omega}} \quad (A.4-08)$$

onde S_{ω} é o momento estático setorial definido como

$$S_{\omega} = \int_{s_1}^s \omega dS \quad (A.4-09)$$

A.4.5 - Equação diferencial da flexo-torção

O momento torçor M_t será agora definido como a soma de duas parcelas, ou seja

$$M_t = M_{\tau} + M_{ft} \quad (A.4-10)$$

onde M_{τ} é o momento de torção livre e M_{ft} o de flexo-torção. Lembrando-se que M_{τ} é apenas uma parte de M_t , a equação (A.3-01) deve ser transformada em

$$M_{\tau} = G J_t \phi' \quad (A.4-11)$$

As equações (A.4-06) e (A.4-11), substituídas em (A.4-10),

forneem a equação diferencial no ângulo de giro

$$M_t = G J_t \phi' - E J_\omega \phi''' \quad (\text{A.4-12})$$

cuja solução resolve o problema de flexo-torção.

É corrente apresentar-se a equação anterior em função do momento torçor distribuído m , ou seja

$$m = M_t' = G J_t \phi'' - E J_\omega \phi'''' \quad (\text{A.4-13})$$

onde a convenção para os sentidos positivos de m e M_t é a apresentada na figura (A.4-2).

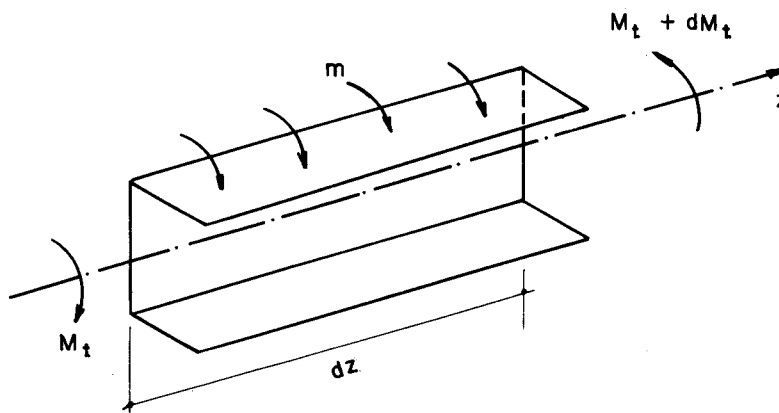


FIG. A.4-2 - CONVENÇÃO DE MOMENTOS TORÇORES POSITIVOS

A.4.6 - Bimomento

Define-se o bimomento como

$$B = \int_S \sigma_z \omega \, dS \quad (\text{A.4-14})$$

Substituindo-se (A.4-02) e (A.4-07) em (A.4-14), tem-se

$$B = E J_\omega \phi'' \quad (\text{A.4-15})$$

A equação anterior permite escrever a tensão longitudinal σ_z , de forma análoga ao caso de flexão simples, como

$$\sigma_z = \frac{B}{J_\omega} \omega \quad (\text{A.4-16})$$

Derivando-se a equação (A.4-15) e comparando-se com (A.4-06), tem-se

$$M_{ft} = -B' \quad (\text{A.4-17})$$

Caso na extremidade de uma viga sejam aplicadas cargas axiais P_i , positivas de tração, concentradas em pontos de área setorial ω_i , o bimomento pode ser calculado como

$$B = \sum P_i \omega_i \quad (\text{A.4-18})$$

A.5 – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES SETORIAIS DAS PAREDES DE SECÇÃO ABERTA

A.5.1 - Introdução

As paredes planas que compõem uma parede de secção aberta serão definidas pelos números dos nós de suas extremidades e pelas suas espessuras; estes nós têm suas coordenadas fornecidas em relação a um sistema global $Ox_S y_S z_S$, também chamado eixos da estrutura. A figura (A.5.1) mostra as paredes componentes de uma parede de secção aberta, onde, por exemplo, a parede 2 é definida pela sua espessura t_2 e pelos números dos nós de suas extremidades, no caso os nós 2 e 3. Se a parede for orientada do nó 2 para o nó 3, diz-se que o nó 2 é o nó de início e 3 o de fim.

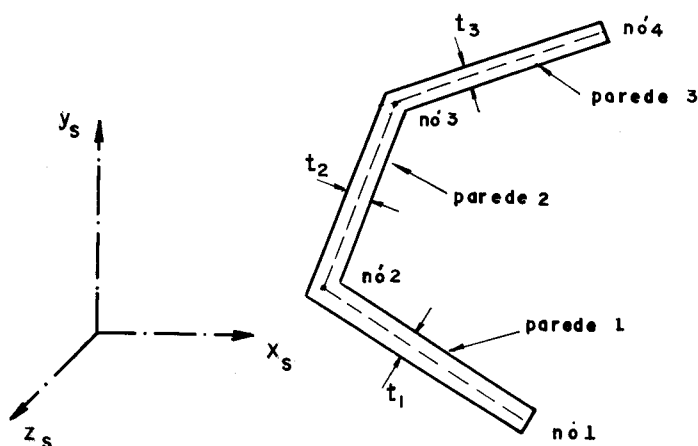


FIG. A. 5-1- DE FINIÇÃO DAS PAREDES COMPONENTES DE UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA

Nos pólos arbitrários, que porventura forem necessários, define-se um sistema local de coordenadas $Ox^*y^*z^*$, com eixos paralelos aos eixos da estrutura, em relação ao qual as novas coordenadas dos nós serão referidas e indicadas para um nó i em uma cota z como (x_i^*, y_i^*) . Essas novas coordenadas são obtidas daquelas referentes aos eixos globais por uma subtração das coordenadas da origem do sistema local.

A.5.2 - Relação entre as áreas setoriais dos nós

Apresenta-se na figura (A.5-2) os nós de início e fim, i e j , de uma parede k e procurar-se-á determinar a relação entre a área setorial destes com pólo, de coordenadas (x_p, y_p) com relação aos eixos da estrutura, e origem O_s arbitrários.

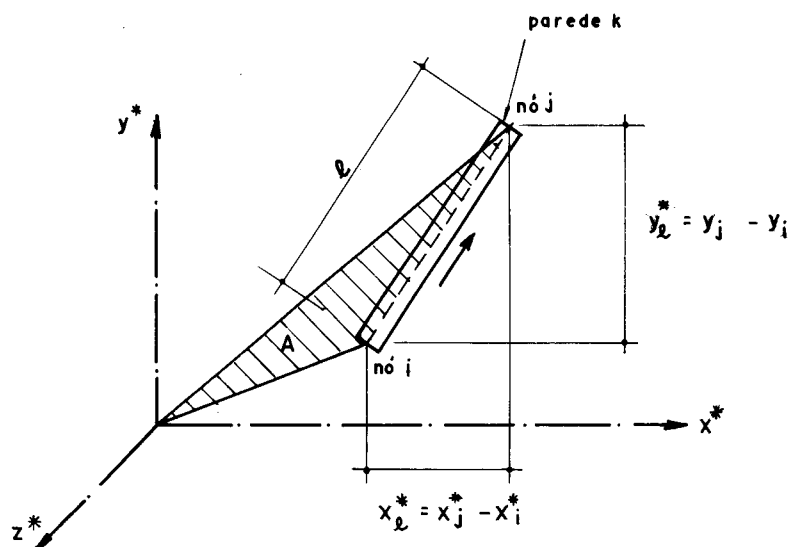


FIG. A. 5-2 - PAREDE GENÉRICA DE UMA PAREDE DE SECÇÃO ABERTA

Lembrando-se da definição da área setorial e da sua convenção de sinal (positiva quando o raio vetor gira no sentido horário partindo de O_s para o ponto considerado, para um observador sobre o eixo z^* e olhando no seu sentido positivo), tem-se que a relação entre a área setorial do nó j em função daquela do nó i é dada por

$$\omega_{pj} = \omega_{pi} + 2A \quad (\text{A.5-01})$$

ou

$$\omega_{pj} = \omega_{pi} + x_i^* y_l^* - y_i^* x_l^* \quad (\text{A.5-02})$$

A.5.3 - Cálculo das coordenadas do centro de cisalhamento

Adotando-se como pólo o centro de gravidade de uma parede de seção aberta genérica, com os eixos x^* e y^* paralelos a x_s e y_s , não obrigatoriamente paralelos às direções principais, e para a origem

O_S qualquer ponto da secção transversal, tem-se

$$\left. \begin{aligned} \int_S y^* dS &= \int_S x^* dS = 0 \\ \int_S y^* x^* dS &= J_{xy}^* \\ \int_S (y^*)^2 dS &= J_x^* \\ \int_S (x^*)^2 dS &= J_y^* \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.5-03})$$

Da equação (A.2-07) tem-se que as duas condições que de terminam a posição do centro de cisalhamento de coordenadas (x_{cc}^*, y_{cc}^*) são dadas por

$$\left. \begin{aligned} \int_S \omega x^* dS &= 0 \\ \int_S \omega y^* dS &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.5-04})$$

onde ω é a área setorial para um pólo no centro de cisalhamento e é da da, de acordo com (A.2-14), como

$$\omega = \omega_p + (x^* - x_o^*)(y_{cc}^* - y_p^*) - (y^* - y_o^*)(x_{cc}^* - x_p^*) \quad (\text{A.5-05})$$

Como os eixos locais são supostos neste desenvolvimento com origem no pólo, tem-se que

$$x_p^* = y_p^* = 0 \quad (\text{A.5-06})$$

Substituindo-se (A.5-05), (A.5-03) em (A.5-04) e efetuando-se as integrais, tem-se

$$\left. \begin{aligned}
 x_{cc}^* &= \frac{J_y^* \int_S \omega_p y^* ds - J_{xy}^* \int_S \omega_p x^* ds}{J_x^* J_y^* - (J_{xy}^*)^2} \\
 y_{cc}^* &= - \frac{J_x^* \int_S \omega_p x^* ds - J_{xy}^* \int_S \omega_p y^* ds}{J_x^* J_y^* - (J_{xy}^*)^2}
 \end{aligned} \right\} \text{(A.5-07)}$$

Calculam-se a seguir os valores das integrais da equação (A.5-07) para a parede genérica apresentada na figura (A.5-2). Para qualquer ponto de coordenadas (x^*, y^*) localizado no segmento de reta que vai do nó i ao j , tem-se

$$\left. \begin{aligned}
 y^* &= y_i^* + \frac{y_l^*}{x_l^*} (x^* - x_i^*) \\
 \omega_{ps} &= \omega_{pi} + x_i^* \frac{y_l^*}{x_l^*} (x^* - x_i^*) - y_i^* (x^* - x_i^*)
 \end{aligned} \right\} \text{(A.5-08)}$$

onde ω_{ps} é a área setorial do ponto referido.

Um elemento de área da parede k , de espessura t_k constante, é dado por

$$ds = t_k \sqrt{1 + \left(\frac{y_l^*}{x_l^*} \right)^2} dx \quad \text{(A.5-09)}$$

Com as equações (A.5-08) e (A.5-09) tem-se, para uma parede genérica k , que

$$\left. \begin{aligned}
 \int_{S_k} \omega_p x^* ds &= S_k \left[\omega_{pi} x_{cgk}^* + \frac{(\omega_{pj} - \omega_{pi})}{2} \left(x_j^* - \frac{x_l^*}{3} \right) \right] \\
 \int_{S_k} \omega_p y^* ds &= S_k \left[\omega_{pi} y_{cgk}^* + \frac{(\omega_{pj} - \omega_{pi})}{2} \left(y_j^* - \frac{y_l^*}{3} \right) \right]
 \end{aligned} \right\} \text{(A.5-10)}$$

onde S_k é a área da parede k e (x_{cgk}^*, y_{cgk}^*) as coordenadas do seu centro de gravidade.

As integrais apresentadas em (A.5-07) são obtidas por uma somatória dos valores das expressões (A.5-10) para todas as paredes que compõem a parede de secção aberta.

Como a origem O_s é arbitrária, adota-se a mesma, por facilidade, no nó 1 da parede de secção aberta ou seja

$$\omega_{p1} = 0 \quad (\text{A.5-11})$$

A.5.4 - Cálculo das áreas setoriais para o pólo no centro de cisalhamento

O valor da área setorial de um nó j da parede k , com o pólo no centro de cisalhamento e com a origem dos raios setoriais no nó 1 é dado, em função da área setorial do nó i e das coordenadas dos nós i e j , de acordo com (A.5-02), por

$$\bar{\omega}_j = \bar{\omega}_i + x_i^* y_j^* - y_i^* x_j^* \quad (\text{A.5-12})$$

onde as coordenadas dos nós são referidas a um sistema local paralelo ao da estrutura e com origem no centro de cisalhamento.

Aplicando-se recursivamente a equação (A.5-12), a partir do nó adotado como origem, obtêm-se os valores das áreas setoriais em todos os nós da parede de secção aberta. Deve-se observar que estas áreas setoriais devem sofrer a correção mostrada na equação (A.2-10), pela escolha indevida da origem dos raios setoriais, que para uma parede de secção aberta composta por N paredes, é dada por

$$C = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^N S_k \left(\frac{\bar{\omega}_j + \bar{\omega}_i}{2} \right) \quad (\text{A.5-13})$$

onde S é obtida como

$$S = \sum_{k=1}^N S_k \quad (\text{A.5-14})$$

A.5.5 - Momento de inércia setorial

Obtidas as áreas setoriais corrigidas, o momento de inércia setorial é calculado substituindo-se as expressões (A.2-08), (A.5-08) e (A.5-09) em (A.4-07), como

$$J_{\omega} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N S_k (\omega_j^2 + \omega_i \cdot \omega_j + \omega_i^2) \quad (\text{A.5-15})$$

As expressões obtidas neste item foram as utilizadas no subprograma *PROPI*, que faz parte do conjunto de programas utilizados para o cálculo automático de edifícios com paredes de secção aberta pelo processo discreto.

A.5.6 - Seqüência de passos para o cálculo das propriedades setoriais das paredes de secção aberta

Tendo-se as coordenadas de todos os nós de uma parede de secção aberta genérica m (conforme figura A.5.1), com relação a um sistema de eixos da estrutura, e as orientações e espessuras de todas as suas paredes planas, orientações estas dadas pelos nós de início e fim das suas extremidades, a seqüência de passos para a determinação das suas propriedades setoriais é a seguinte:

a) Calculam-se as coordenadas do centro de gravidade da parede de secção aberta com relação aos eixos da estrutura como

$$\left. \begin{aligned} x_{cgPm} &= \frac{\sum_{k=1}^N S_k x_{cgk}}{\sum_{k=1}^N S_k} \\ y_{cgPm} &= \frac{\sum_{k=1}^N S_k y_{cgk}}{\sum_{k=1}^N S_k} \end{aligned} \right\} (\text{A.5-16})$$

onde N é o número de paredes planas da parede de secção aberta m ;

b) Transformam-se as coordenadas de todos os nós para um sistema de eixos com origem no centro de gravidade, que, para um nó genérico i , é obtida como

$$\left. \begin{aligned} x_i^* &= x_i - x_{cgPm} \\ y_i^* &= y_i - y_{cgPm} \end{aligned} \right\} \quad (A.5-17)$$

c) Calculam-se as áreas setoriais de todos os nós com pólo no centro de gravidade e origem O_g arbitrária, utilizando-se (A.5-02) e (A.5-11). Como os nós são relacionados, em termos de proximidade, pelas paredes planas, e a origem dos raios setoriais é adotada no nó 1, a parede 1, dentro de uma parede de secção aberta deve ter como nó de início o nó 1. Além disto, uma parede genérica k deve ter como nó de início qualquer nó utilizado como nós de extremidades das paredes com números inferiores a k ;

d) Calcula-se o centro de cisalhamento utilizando-se (A.5-07) e (A.5-10);

e) Transformam-se as coordenadas de todos os nós para um sistema de eixos no centro de cisalhamento, análogo ao feito no passo b,

f) Calculam-se as áreas setoriais $\bar{\omega}$ com pólo no centro de cisalhamento e origem O_s no nó 1 utilizando-se (A.5-12);

g) Corrigem-se as áreas setoriais, devido à escolha mal feita da origem O_g , utilizando-se (A.5-13). As áreas corrigidas são obtidas das calculadas no passo f, para um nó genérico j , como

$$\omega_j = \bar{\omega}_j - C \quad (A.5-18)$$

onde C é calculada a partir de (A.5-13);

h) Calcula-se o momento de inércia setorial utilizando-se (A.5-15).

APÊNDICE B – APLICAÇÃO DAS DIFERENÇAS FINITAS

B.1 – INTRODUÇÃO

Como foi mostrado no item (II.2), a aplicação da técnica do meio contínuo à solução de edifícios com paredes de secção aberta, contraventadas por lintéis sob carga lateral, descreve o comportamento da estrutura por uma equação diferencial ou por um sistema de equações diferenciais, dependendo do formato em planta da estrutura e do carregamento externo atuante. Para o caso de uma única equação diferencial, a solução da mesma pode ser obtida analiticamente, o mesmo acontecendo para sistemas de equações diferenciais particulares, cujas soluções são obtidas por um procedimento análogo ao apresentado no *Apêndice 2* do trabalho de MANCINI⁽¹¹⁾. Neste trabalho, as soluções do sistema de equações diferenciais foram obtidas através da aplicação das diferenças finitas.

O método a ser apresentado consiste em substituir-se uma função $f(x)$ cujos valores são conhecidos em um conjunto de pontos sobre o eixo x , por um polinômio interpolador $p(x)$, tomando as derivadas deste como valores aproximados das derivadas da função. Se o polinômio interpolador é definido somente por valores da função, as diferenças finitas são chamadas *Lagrangeanas*; se, além dos valores das funções, os valores das derivadas participam da obtenção do polinômio interpolador, têm-se as diferenças finitas *Hermitianas*. Serão utilizadas aqui as diferenças finitas Lagrangeanas, com os pontos da malha igualmente espaçados de δ (os pontos podem não ser igualmente espaçados, o que acarreta apenas algumas manipulações algébricas adicionais). Seja por exemplo o polinômio interpolador do sexto grau

$$p(x) = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + gx + h \quad (\text{B.1-01})$$

cujos valores na seqüência de pontos utilizados na interpolação (pontos $m-3, m-2, m-1, m, m+1, m+2, m+3$) devem coincidir com os valores da função $f(x)$, denominados

$$\begin{aligned}
 f(-3\delta) &= F_{m-3} \\
 f(-2\delta) &= F_{m-2} \\
 f(-\delta) &= F_{m-1} \\
 f(0) &= F_m \\
 f(\delta) &= F_{m+1} \\
 f(2\delta) &= F_{m+2} \\
 f(3\delta) &= F_{m+3}
 \end{aligned}
 \tag{B.1-02}$$

e representados na figura (B.1-1)

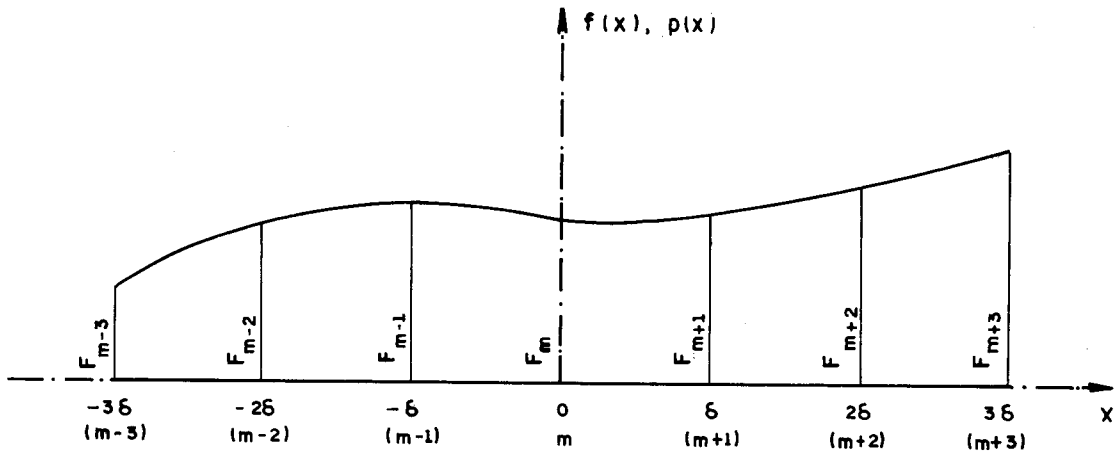


FIG. B. 1-1- VALORES DA FUNÇÃO $f(x)$

Aplicando-se as condições anteriores ao polinômio interpolador chega-se a

$$\begin{Bmatrix} F_{m-3} \\ F_{m-2} \\ F_{m-1} \\ F_m \\ F_{m+1} \\ F_{m+2} \\ F_{m+3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (-3\delta)^6 & (-3\delta)^5 & (-3\delta)^4 & (-3\delta)^3 & (-3\delta)^2 & (-3\delta) & 1 \\ (-2\delta)^6 & (-2\delta)^5 & (-2\delta)^4 & (-2\delta)^3 & (-2\delta)^2 & (-2\delta) & 1 \\ (-\delta)^6 & (-\delta)^5 & (-\delta)^4 & (-\delta)^3 & (-\delta)^2 & (-\delta) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ (\delta)^6 & (\delta)^5 & (\delta)^4 & (\delta)^3 & (\delta)^2 & (\delta) & 1 \\ (2\delta)^6 & (2\delta)^5 & (2\delta)^4 & (2\delta)^3 & (2\delta)^2 & (2\delta) & 1 \\ (3\delta)^6 & (3\delta)^5 & (3\delta)^4 & (3\delta)^3 & (3\delta)^2 & (3\delta) & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ g \\ h \end{Bmatrix} \tag{B.1-03}$$

- 20 - SWIFT, R.D., and HEIDEBRECHT, A.C. - *Behaviour of Coupled Shear-Wall Building*. Ontário, Dept. of Civ. Engrg. and Engrg. Mech., Jul, 1970, (Report 70-5).
- 21 - WEAVER, W., BRANDOW, G.E., and MANNING, T.A. - Tier Buildings with Shear Cores, Bracing and Setbacks. *Computers & Structures*, Vol. 1, pp. 57-83, 1971.
- 22 - RAMESH, C.K., MORI, V.V., and SWAMINATHAN, T.R. - *Tall Buildings with Shear-Wall Systems*. Bombay, Indian Institute of Technology, pp. III-103 a 131.
- 23 - STAMATO, M.C. - *Estado Atual da Análise de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1972, 26p. (Publ. n° 163).
- 24 - COLACO, J.P., COULL, A., and SMITH, B.S - Elastic Analysis of Tall Concrete Buildings. *Joint Committee on Tall Buildings*. Pennsylvania, Lehigh University.
- 25 - STAMATO, M.C. - *Associação Contínua de Painéis de Contraventamento*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Abril, 1972, 72p (Publ. n° 157).

A resolução do sistema de equações lineares dado por (B.1-03) fornece

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{720\delta^6} (F_{m-3} - 6F_{m-2} + 15F_{m-1} - 20F_m + 15F_{m+1} - 6F_{m+2} + F_{m+3}) \\
 b &= \frac{1}{240\delta^5} (-F_{m-3} + 4F_{m-2} - 5F_{m-1} + 5F_{m+1} - 4F_{m+2} + F_{m+3}) \\
 c &= \frac{1}{720\delta^4} (-5F_{m-3} + 60F_{m-2} - 195F_{m-1} + 280F_m - 195F_{m+1} + 60F_{m+2} - 5F_{m+3}) \\
 d &= \frac{1}{240\delta^3} (5F_{m-3} - 40F_{m-2} + 65F_{m-1} - 65F_{m+1} + 40F_{m+2} - 5F_{m+3}) \\
 e &= \frac{1}{720\delta^2} (4F_{m-3} - 54F_{m-2} + 540F_{m-1} - 980F_m + 540F_{m+1} - 54F_{m+2} + 4F_{m+3}) \\
 g &= \frac{1}{240\delta} (-4F_{m-3} + 36F_{m-2} - 180F_{m-1} + 180F_{m+1} - 36F_{m+2} + 4F_{m+3}) \\
 h &= F_m
 \end{aligned}
 \tag{B.1-04}$$

Com a função $f(x)$ aproximada pelo polinômio $p(x)$, podem ser obtidas todas as suas derivadas no intervalo $(-\delta, \delta)$. Assim, por exemplo, as expressões das terceiras derivadas de $f(x)$ para x igual a zero, $-\delta$ e δ , são

$$f_m''' = 6d = \frac{1}{8\delta^3} (F_{m-3} - 8F_{m-2} + 13F_{m-1} - 13F_{m+1} + 8F_{m+2} - F_{m+3}) \tag{B.1-05}$$

$$\begin{aligned}
 f_{m-1}''' &= -120a\delta^3 + 60b\delta^2 - 24c\delta + 6d = \frac{1}{24\delta^3} (-3F_{m-3} - 24F_{m-2} + \\
 &\quad + 105F_{m-1} - 144F_m + 87F_{m+1} - 24F_{m+2} + 3F_{m+3})
 \end{aligned}
 \tag{B.1-06}$$

$$\begin{aligned}
 f_{m+1}''' &= 120a\delta^3 + 60b\delta^2 + 24c\delta + 6d = \frac{1}{24\delta^3} (-3F_{m-3} + 24F_{m-2} - 87F_{m-1} + \\
 &\quad + 144F_m - 105F_{m+1} + 24F_{m+2} + 3F_{m+3})
 \end{aligned}
 \tag{B.1-07}$$

As expressões das derivadas no ponto m , ponto médio da seqüência de pontos utilizados na interpolação, são chamadas diferen

ças finitas centrais ou simétricas e as nos demais pontos *diferenças finitas assimétricas*. As diferenças finitas assimétricas são também denominadas *diferenças finitas assimétricas à esquerda*, se o ponto de derivação está à esquerda de m , como por exemplo os pontos $m-1$, $m-2$ e $m-3$, ou diferenças finitas assimétricas à direita, se o ponto localiza-se à direita do ponto m : pontos $m+1$, $m+2$ e $m+3$.

Como as derivadas da função $f(x)$ foram obtidas das derivadas do polinômio $p(x)$, existem erros inerentes ao próprio método. De SALVADORI e BARON⁽¹³⁾, tem-se que o erro da expressão (B.1-05) é da ordem de δ^4 e os das expressões (B.1-06) e (B.1-07) da ordem de δ^2 , e ainda que as diferenças finitas simétricas são mais precisas que as assimétricas. É importante notar-se que, quanto menor for o espaçamento da malha, δ , menor será o erro inerente ao método.

Em vista do exposto anteriormente, usar-se-ão para as derivadas as expressões das diferenças finitas centrais, fornecidas por SALVADORI e BARON⁽¹³⁾, de acordo com a ordem do erro, como:

a) Diferenças finitas centrais com erros da ordem de δ^2

$$f'_m = \frac{1}{2\delta} (-F_{m-1} + F_{m+1}) \quad (\text{B.1-08})$$

$$f''_m = \frac{1}{\delta^2} (F_{m-1} - 2F_m + F_{m+1}) \quad (\text{B.1-09})$$

$$f'''_m = \frac{1}{2\delta^3} (-F_{m-2} + 2F_{m-1} - 2F_{m+1} + F_{m+2}) \quad (\text{B.1-10})$$

$$f''''_m = \frac{1}{\delta^4} (F_{m-2} - 4F_{m-1} + 6F_m - 4F_{m+1} + F_{m+2}) \quad (\text{B.1-11})$$

b) Diferenças finitas centrais com erros da ordem de δ^4

$$f'_m = \frac{1}{12\delta} (F_{m-2} - 8F_{m-1} + 8F_{m+1} - F_{m+2}) \quad (\text{B.1-12})$$

$$f''_m = \frac{1}{12\delta^2} (-F_{m-2} + 16F_{m-1} - 30F_m + 16F_{m+1} - F_{m+2}) \quad (\text{B.1-13})$$

$$f'''_m = \frac{1}{8\delta^3} (F_{m-3} - 8F_{m-2} + 13F_{m-1} - 13F_{m+1} + 8F_{m+2} - F_{m+3}) \quad (\text{B.1-14})$$

$$f_m'''' = \frac{1}{6\delta^4} (-F_{m-3} + 12F_{m-2} - 39F_{m-1} + 56F_m - 39F_{m+1} + 12F_{m+2} - F_{m+3}) \quad (\text{B.1-15})$$

As expressões (B.1-08) e (B.1-09) são obtidas com polinômio interpolador do segundo grau; (B.1-10), (B.1-11), (B.1-12) e (B.1-13), com polinômio do quarto grau; e (B.1-14) e (B.1-15) com polinômio do sexto grau. Ao invés de obterem-se as derivadas primeira e segunda com um polinômio interpolador de *i-ésimo* grau e as derivadas terceira e quarta com um polinômio de *j-ésimo* grau, com *i* diferente de *j*, todas essas derivadas poderiam ser obtidas com somente um polinômio interpolador de grau maior ou igual a 4, neste caso, as ordens dos erros variariam dentro do mesmo conjunto de derivadas, impedindo a utilização de extrapolações, como as de Richardson, apresentadas por SALVADORI e BARON⁽¹³⁾, e não mencionadas aqui pelo fato dos resultados obtidos com a utilização das expressões com erros da ordem de δ^4 conduzirem a bons resultados.

B.2 – APLICAÇÃO DAS DIFERENÇAS FINITAS À SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS

As diferenças finitas serão aplicadas à solução do sistema de equações diferenciais, obtido pela técnica do meio contínuo da do por

$$- [J] \{U'''\} + [S] \{U'\} = Q_{ext} \{A^*\} \quad (B.2-01)$$

onde Q_{ext} é a força cortante do carregamento externo, e as matrizes envolvidas são as definidas no item (II.2), assim como as convenções de sinais e sistemas de eixos.

As condições de contorno, para uma estrutura com engastamento perfeito na base, sem momentos fletores aplicados no topo, e tal que o conjunto de paredes é não degenerado, são dadas, pelas equações (II.2-006), como

$$\left. \begin{aligned} u_0 &= v_0 = \phi_0 = 0 \\ u'_0 &= v'_0 = \phi'_0 = 0 \\ u''_H &= v''_H = \phi''_H = 0 \end{aligned} \right\} \quad (B.2-02)$$

onde H é a altura total do edifício e u , v e ϕ os deslocamentos dos diafragmas.

Aplicar-se-á a solução de (B.2-01) as diferenças finitas centrais com erros da ordem de δ^4 , isto é, a expressão (B.1-12) para as derivadas primeiras, (B.1-13) para as derivadas segundas e (B.1-14) para as derivadas terceiras. A malha para aplicação será constituída por pontos igualmente espaçados de δ , no caso a altura do andar h , numerados de 1 a n conforme a figura (B.2.1). Deve-se notar que, como a expressão (B.1-14) foi obtida por um polinômio interpolador do sexto grau, a aplicação de (B.2-01) na base do edifício envolverá os pontos 1, 2 e 3 e, no topo, os pontos $n-2$, $n-1$ e n , chamados *pontos fictícios* por não pertencerem ao sistema físico.

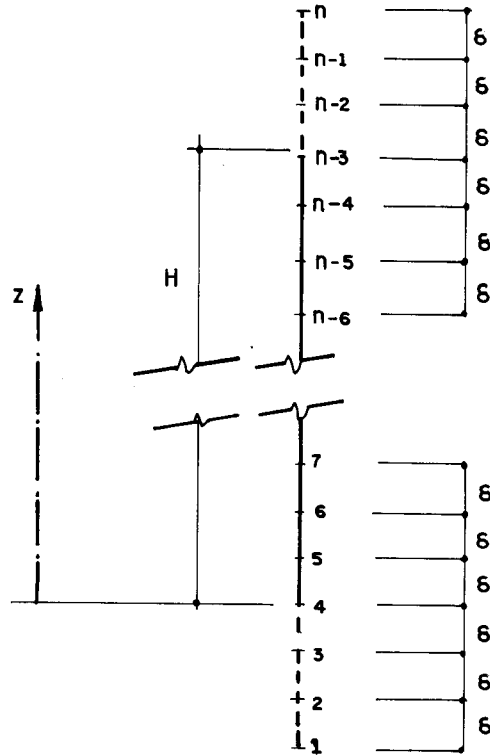


FIG. B.2-1- MALHA DE PONTOS

A equação (B.2-01) pode ser escrita como

$$- \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u''' \\ v''' \\ \phi''' \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u' \\ v' \\ \phi' \end{Bmatrix} = Q_{ext} \begin{Bmatrix} A_1^* \\ A_2^* \\ A_3^* \end{Bmatrix} \quad (\text{B.2-03})$$

Efetuando-se as operações matriciais indicadas por (B.2-03) tem-se

$$\left. \begin{aligned} -J_{11} u''' + S_{11} u' - J_{12} v''' + S_{12} v' - J_{13} \phi''' + S_{13} \phi' &= Q_{ext} A_1^* \\ -J_{21} u''' + S_{21} u' - J_{22} v''' + S_{22} v' - J_{23} \phi''' + S_{23} \phi' &= Q_{ext} A_2^* \\ -J_{31} u''' + S_{31} u' - J_{32} v''' + S_{32} v' - J_{33} \phi''' + S_{33} \phi' &= Q_{ext} A_3^* \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.2-04})$$

Observe-se que as equações anteriores podem ser escritas numa notação simplificada como

$$-J_{i1}u'''' + S_{i1}u' - J_{i2}v'''' + S_{i2}v' - J_{i3}\phi'''' + S_{i3}\phi' = Q_{ext}A_i^* \quad (\text{B.2-05})$$

onde i assume os valores 1, 2 e 3, indicando, respectivamente, a primeira, a segunda e a terceira linha das matrizes $[J]$, $[S]$ e $[A^*]$.

Designando-se os deslocamentos u , v e ϕ em um ponto m qualquer da malha, representada na figura (B.2-1), respectivamente por F_m , F_{m+n} e F_{m+2n} , e combinando-se as equações (B.1-12), (B.1-14) e (B.2-05), tem-se

$$\begin{aligned} & -J_{i1}(3F_{m-3} - 24F_{m-2} + 39F_{m-1} - 39F_{m+1} + 24F_{m+2} - 3F_{m+3}) + \\ & + S_{i1} \delta^2(2F_{m-2} - 16F_{m-1} + 16F_{m+1} - 2F_{m+2}) - J_{i2}(3F_{m+n-3} - 24F_{m+n-2} + \\ & + 39F_{m+n-1} - 39F_{m+n+1} + 24F_{m+n+2} - 3F_{m+n+3}) + S_{i2} \delta^2(2F_{m+n-2} - \\ & - 16F_{m+n-1} + 16F_{m+n+1} - 2F_{m+n+2}) - J_{i3}(3F_{m+2n-3} - 24F_{m+2n-2} + \\ & + 39F_{m+2n-1} - 39F_{m+2n+1} + 24F_{m+2n+2} - 3F_{m+2n+3}) + S_{i3} \delta^2(2F_{m+2n-2} - \\ & - 16F_{m+2n-1} + 16F_{m+2n+1} - 2F_{m+2n+2}) = 24\delta^3 Q_{ext}A_i^* \end{aligned} \quad (\text{B.2-06})$$

Usando-se a notação

$$\left. \begin{aligned} C(-3, i, j) &= -3J_{ij} \\ C(-2, i, j) &= +24J_{ij} + 2\delta^2 S_{ij} \\ C(-1, i, j) &= -39J_{ij} - 16\delta^2 S_{ij} \\ C(1, i, j) &= +39J_{ij} + 16\delta^2 S_{ij} \\ C(2, i, j) &= -24J_{ij} - 2\delta^2 S_{ij} \\ C(3, i, j) &= +3J_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.2-07})$$

as equações (B.2-06) podem ser escritas como

$$\sum_{j=1}^3 \left[C(-3, i, j) F_{m+k-3} + C(-2, i, j) F_{m+k-2} + C(-1, i, j) F_{m+k-1} + \right. \\ \left. + C(1, i, j) F_{m+k+1} + C(2, i, j) F_{m+k+2} + C(3, i, j) F_{m+k+3} \right] = \\ = 24\delta^3 Q_{ext} A_i^* \quad (B.2-08)$$

onde k assume os valores 0 , n e $2n$, respectivamente, para valores de j iguais a 1 , 2 e 3 .

As equações (B.2-08) serão aplicadas aos pontos m , para m assumindo valores no intervalo $(4, n-3)$.

A condição de contorno $u_0 = v_0 = \phi_0 = 0$ é imposta pelas equações

$$F_4 = F_{n+4} = F_{2n+4} = 0 \quad (B.2-09)$$

As condições de contorno $u'_0 = v'_0 = \phi'_0 = 0$ e $u''_H = v''_H = \phi''_H = 0$, são expressas, respectivamente, por

$$F_{k+2} - 8F_{k+3} + 8F_{k+5} - F_{k+6} = 0 \quad (B.2-10)$$

$$-F_{k+n-5} + 16F_{k+n-4} - 30F_{k+n-3} + 16F_{k+n-2} - F_{k+n-1} = 0 \quad (B.2-11)$$

onde k vale sucessivamente 0 , n e $2n$.

Cabe nesse ponto fazer um levantamento do número de in c ô g n i t a s e do número de equações obtidas até o momento.

	<i>incôgnitas</i>	<i>equações</i>
aplicação de (B.2-08) nos pontos 4 a $n-3$; $n-6$ pontos	$3n$	$3n - 18$
condições de contorno; equações (B.2-09) a (B.2-11)	—	9
TOTAL	$3n$	$3n - 9$

Como era de se esperar, o número de incôgnitas é supe r i o r ao número de equações, devido ao fato do aparecimento de seis pon tos fic t í c i o s e de se terem apenas três condições de contorno. Um pro

cedimento neste caso seria utilizarem-se diferenças finitas assimétricas, o que produziria uma redução do número de incógnitas, tornando-o igual ao número de equações, o que não foi empregado pelos motivos mostrados no item (B.1). Para sanar este problema, utilizou-se um artifício para criação de equações suplementares sem a introdução de novas incógnitas. Isto foi conseguido calculando-se os valores do polinômio interpolador do sexto grau nos pontos 1 , $n-1$ e n , a partir dos valores em sete pontos anteriores a qualquer um destes. Fazendo-se m igual a 5 nas expressões (B.1-04) e obtendo-se $p(x)$ da equação (B.1-01) para x igual a -4δ , têm-se os valores no ponto 1 como

$$F_{k+1} = 7F_{k+2} - 21F_{k+3} + 35F_{k+4} - 35F_{k+5} + 21F_{k+6} - 7F_{k+7} + F_{k+8} \quad (\text{B.2-12})$$

Para m igual a $n-5$, m igual a $n-4$ e para x igual a 4δ , obtêm-se, por um procedimento análogo ao anterior, os valores de $p(x)$ nos pontos $n-1$ e n por

$$\begin{aligned} F_{k+n-1} = & F_{k+n-8} - 7F_{k+n-7} + 21F_{k+n-6} - 35F_{k+n-5} + \\ & + 35F_{k+n-4} - 21F_{k+n-3} + 7F_{k+n-2} \end{aligned} \quad (\text{B.2-13})$$

$$\begin{aligned} F_{k+n} = & F_{k+n-7} - 7F_{k+n-6} + 21F_{k+n-5} - 35F_{k+n-4} + \\ & + 35F_{k+n-3} - 21F_{k+n-2} + 7F_{k+n-1} \end{aligned} \quad (\text{B.2-14})$$

onde k assume os valores 0 , n e $2n$.

As equações (B.2-12) a (B.2-14) fornecem nove equações que, juntamente com (B.2-08) aplicadas aos pontos 4 a $n-3$ e com as condições de contorno dadas por (B.2-09) a (B.2-11), formam um sistema de $3n$ equações, que, após serem resolvidas, fornecem os valores de F_1 a F_{3n} . Deve-se lembrar que os valores de F_1 a F_n correspondem aos deslocamentos u , os de F_{n+1} a F_{2n} aos deslocamentos v e os de F_{2n+1} a F_{3n} às rotações ϕ dos diafragmas nos pontos de 1 a n . Conhecidos os deslocamentos dos diafragmas, podem ser obtidas as suas derivadas até ordem três em um ponto genérico m , no intervalo $(4, n-3)$, por diferenças finitas, como

$$\left. \begin{aligned}
 f'_m &= \frac{1}{12\delta} (F_{k+m-2} - 8F_{k+m-1} + 8F_{k+m+1} - F_{k+m+2}) \\
 f''_m &= \frac{1}{12\delta^2} (-F_{k+m-2} + 16F_{k+m-1} - 30F_{k+m} + 16F_{k+m+1} - F_{k+m+2}) \\
 f'''_m &= \frac{1}{8\delta^3} (F_{k+m-3} - 8F_{k+m-2} + 13F_{k+m-1} - 13F_{k+m+1} + 8F_{k+m+2} - \\
 &\quad - F_{k+m+3})
 \end{aligned} \right\} \text{(B.2-15)}$$

onde, para k igual a zero, tem-se, das equações (B.2-15), os valores de u'_m , u''_m e u'''_m , para k igual a n os valores de v'_m , v''_m e v'''_m , e para k igual a $2n$ os valores de ϕ'_m , ϕ''_m e ϕ'''_m .

Com os valores dos deslocamentos u , v , ϕ e suas derivadas até ordem três, obtêm-se os esforços e deslocamentos em todas as paredes, como foi mostrado no item (II.2).

BIBLIOGRAFIA

- 1 - MICHAEL, D. - Torsional Coupling of Core Walls in Tall Buildings. *The Structural Engineer* Vol. 47, N° 2, pp. 67-71, Feb. 1969.
- 2 - TSO, W.K., and BISWAS, J.K. - Analysis of Core Wall Structure Subjected to Applied Torque. *Build. Sci.* Vol. 8, pp. 251-277, 1973.
- 3 - COULL, A. - Torsion of Structural Cores on Deformable Foundations. *Build. Sci.* Vol. 10, pp. 57-64, 1975.
- 4 - HEIDEBRECHT, A.C. and SMITH, B.S. - Aproximate Analysis of Open-Section Shear Walls Subject to Torsional Loading. *Journal of the Structural Division, ASCE* Vol. 99, N° ST12, Proc. Paper 10234, pp. 2355-2373, Dec. 1973.
- 5 - TSO, W.K. and BISWAS, J.K. - General Analysis of Nonplanar Coupled Shear Walls. *Journal of the Structural Division, ASCE* Vol. 99, N° ST3, Proc. Paper 9604, pp. 365-380, Mar. 1973.
- 6 - YAGUI, T. - Núcleos Resistentes de Edifícios Elevados. *Joint Committee on Tall Buildings*. Pennsylvania, Lehigh University (Comitê Técnico - N° 21: Elastic Analysis).
- 7 - HEIDEBRECHT, A.C. and SWIFT, R.D. - Analysis of Asymmetrical Coupled Shear Walls. *Journal of the Structural Division, ASCE* Vol. 97, N° ST5, Proc. Paper 8100, pp. 1407-1422, May 1971.
- 8 - SMITH, B.S. and TARANATH, B.S. - The Analysis of Tall Core-Supported Structures Subject to Torsion. *Proc. ICE* Vol. 53, Proc. Paper 7486, pp. 173-187, Nov. 1972.
- 9 - STAMATO, M.C. e SMITH, B.S. - *Análise Aproximada de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados*. São Carlos, Escola de

BI-2

- Engenharia de São Carlos - USP, 1968, 23p. (Publicação n° 155).
- 10 - VLASOV, V.Z. - *Thin-Walled Elastic Beams*. Israel, Israel Program for Scientific Translation, 1961.
- 11 - MANCINI, E. - *Análise Contínua de Estruturas de Edifícios Elevados Sujeitas à Ação do Vento*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, dez. 1973, 140p. (Publ. n° 184).
- 12 - WEAVER, W., and GERE, J.M. - *Analysis of Framed Structures*. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1965, 475p.
- 13 - SALVADORI, M.G., and BARON, M.L. - *Métodos Numéricos en Ingeniería*. México, Compañía Editorial Continental, Abril, 1961, 260p.
- 14 - RACHID, M. - *Instabilidade de Barras de Seção Delgada*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, fev. 1975, 119p.
- 15 - SCHIEL, F. - *Barras de Seção Delgada*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1964/1965.
- 16 - LANGENDONCK, T.V. - *Torção de Peças de Seção Delgada*. *Revista Estrutura*, N° 13, pp. 49-73, 1959.
- 17 - ROSMAN, R. - *Torsion of Perforated Concrete Shafts*. *Journal of the Structural Division, ASCE* Vol. 95, N° ST5, pp.991, May 1969.
- 18 - ROSMAN, R. - *Analysis of Pierced Torsion-Boxes*. *Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae* Tomus 65(3-4), pp. 365-397, 1969.
- 19 - GLUCK, J., and KALEV, I. - *Computer Method for Analysis of Multistory Structures*. *Computer & Structures* Vol. 2, pp. 897-914, 1972.

