

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

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO
DE NÚCLEOS RESISTENTES
DE CONCRETO ARMADO

JOSÉ LUIZ FERNANDES DE ARRUDA SERRA
ORIENTADOR: PROF. DR. TIOETURO YAGUI

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

SÃO CARLOS

1994

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

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO
DE NÚCLEOS RESISTENTES
DE CONCRETO ARMADO

JOSÉ LUIZ FERNANDES DE ARRUDA SERRA

TESE APRESENTADA À ESCOLA DE ENGENHARIA DE
SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO,
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ORIENTADOR:
PROF. DR. TIOETURO YAGUI

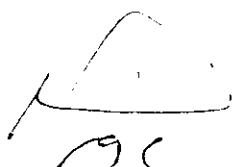
SÃO CARLOS

1994

FOLHA DE APROVAÇÃO

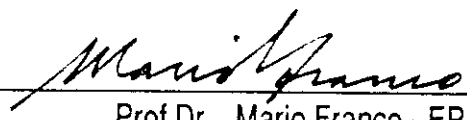
Tese defendida e aprovada em 08/07/1994.
pela Comissão Julgadora:

Assinatura



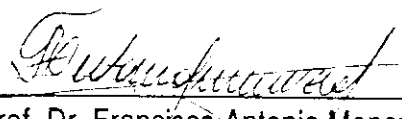
Prof. Titular Tioeturo Yagui (Orientador) - UNICAMP

Assinatura



Prof. Dr. Mario Franco - EP-USP

Assinatura



Prof. Dr. Francisco Antonio Menezes - UNICAMP

Assinatura:

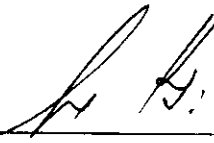


Prof. Dr. Eddie Mancini - EESC-USP

Assinatura:



Prof. Dr. Dagoberto Dario Mori - EESC-USP



Presidente da CPG



Coordenador da Área

Dedicada a

Talma.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Tioeturo Yagui pela orientação e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Departamento de Construção Civil, da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pelo apoio e incentivo.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
I - INTRODUÇÃO	01
I.1 - Processos disponíveis para análise de edifícios .	01
I.2 - Comentários sobre os processos discretos	03
I.3 - Considerações sobre o modelo YAGUI	05
I.4 - O presente trabalho	08
II - COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA	10
II.1 - O elemento de parede	10
II.2 - Determinação dos coeficientes de rigidez	11
II.3 - Os lintéis	16
II.4 - As vinculações	18
II.5 - Composição da estrutura e coordenadas globais ..	18

III - MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA E CÁLCULOS FINAIS ..	22
III.1 - Introdução	22
III.2 - Contribuição dos elementos	23
III.3 - Contribuição dos lintéis	25
III.4 - Contribuição da fundação elástica	26
III.5 - Cálculo dos deslocamentos	28
III.6 - Reações de apoio	28
III.7 - Esforços nos lintéis e elementos de parede	30
IV - INFLUÊNCIA DO EFEITO DE 2ª ORDEM NAS COLUNAS	32
IV.1 - Introdução	32
IV.2 - Coeficientes de rigidez considerando a força normal	33
V - EXEMPLOS	36
V.1 - Exemplo número 1	36
V.2 - Exemplo número 2	40
V.3 - Exemplo número 3	44
V.4 - Exemplo número 4	47
V.5 - Exemplo número 5	50
V.6 - Exemplo número 6	59
VI - CONCLUSÕES	64

ANEXO 1 - Determinação dos coeficientes de rigidez de uma barra, considerando os efeitos do momento fletor, força cortante, força normal e momento torçor	66
A1.1 - Caso $P = 0$	70
A1.2 - Caso P de compressão	73
A1.3 - Caso P de tração	75
ANEXO 2 - Contribuição ao modelo YAGUI	78
ANEXO 3 - Programa	82
A3.1 - Introdução	82
A3.2 - Notação	82
A3.3 - Preparação dos dados	83
A3.4 - Exemplo	85
A3.5 - Arquivo de dados	88
A3.6 - Arquivo de saída - resultados	90
A3.7 - Listagem do programa	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1	- Elemento de parede usado por YAGUI	05
Figura II.1	- Modelo e sistema de coordenadas	10
Figura II.2	- Coeficientes de Rigidez	13
Figura II.3	- Planta típica e coordenadas de um núcleo	20
Figura III.1	- Vetor posição de um painel	23
Figura III.2	- Fundação elástica - coordenadas	27
Figura V.1.1	- Análise de uma placa	37
Figura V.1.2	- Pilar parede	39
Figura V.2.1	- Núcleo analisado por RUTENBERG e co-autores	43
Figura V.3.1	- Núcleo ensaiado por TSO e BISWAS	46
Figura V.4.1	- Núcleo analisado por STAFFORD SMITH e TARANATH	49
Figura V.5.1	- Núcleo analisado por COSTA	50
Figura V.5.2	- Rotações dos diafragmas em rad x 10 ⁻⁴ ..	52
Figura V.6.1	- Exemplo número 6	60
Figura V.6.2	- Núcleo sem lintéis	62
Figura V.6.3	- Núcleo com lintéis de 0,20m x 0,50m	63
Figura A1.1	- Sistema de coordenadas e matriz de rigidez	66
Figura A1.2	- Estados de deslocamento	67
Figura A1.3	- Estado de deslocamento 3	70
Figura A2.1	- Modelo analisado por RUTENBERG e co-autores	80
Figura A3.1	- Exemplo	87

LISTA DE QUADROS

Quadro II.1 - Matriz de rigidez do elemento	15
Quadro II.2 - Coeficientes de rigidez do lintel	17
Quadro IV.1 - Coeficientes de rigidez - formulário	35
Quadro A1.1 - Coeficientes de rigidez - formulário	77

RESUMO

Neste trabalho, utilizando processo numérico para análise de núcleos estruturais de concreto armado, é desenvolvido um modelo para discretização dos elementos de parede, formado por duas vigas rígidas à flexão ligadas por uma coluna central. A influência do cisalhamento na deformação dos pilares parede é levada em consideração nas vigas rígidas à flexão.

A influência do esforço normal nos coeficientes de rigidez das colunas é considerada. Núcleos sobre fundações elásticas também são tratados.

Um programa para computadores de pequeno porte é elaborado e vários exemplos são analisados. Resultados experimentais e teóricos obtidos por outros autores são comparados, para comprovar a versatilidade e precisão do processo proposto.

ABSTRACT

This thesis describes a procedure for discretization of shear walls in the analysis of three-dimensional coupled wall/framed structures. The model consists of two flexurally rigid arms connected by a central column. The shear deformation is taken into account by the arms.

The influence of the axial force is considered in the stiffness coefficients of the columns. Treatment of core walls on flexible bases is also allowed.

A program for microcomputers was developed. Examples of application are presented to evaluate versatility and accuracy of the proposed procedure. Theoretical and experimental results available in the literature are used for the validation.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

I.1 - PROCESSOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DE EDIFÍCIOS.

Os processos disponíveis para a análise elástica de núcleos de concreto armado de edifícios altos podem ser, de maneira geral, reunidos em três grupos: processos contínuos, processos discretos e elementos finitos.

Os processos contínuos substituem os lintéis por um meio contínuo de rigidez equivalente, distribuídos ao longo da altura do edifício, ligando os elementos resistentes verticais. Vários autores ao longo das últimas décadas têm contribuído para o desenvolvimento e aperfeiçoamento deste processo.

Entre outros pesquisadores, que têm analisado pelo processo contínuo diversos casos de associações planas e tridimensionais de pilares-parede entre si ou com pórticos, pode-se citar: STAMATO¹⁰; FRANCO¹¹; MANCINI^{12,13,14}; BECK¹⁵; ROSMAM¹⁶; TSO e CHAN¹⁷; TSO e BISWAS¹⁸; GLUCK¹⁹; RUTENBERG e TSO²⁰; RUTENBERG, SHTARKMAN e EISENBERG²¹; KHAN e STAFFORD SMITH²²; STAFFORD SMITH e TARANATH²³; COULL e CHANTAKSINOPAS²⁴ e LIAUW e LUK²⁵.

No processo usando técnica dos elementos finitos a estrutura é modelada com um grande número de elementos. ZIENKIEWICZ, PAREKH e TEPLY²⁸ usaram elemento plano de

tensões para as paredes, elementos de barra para lintéis e pórticos e elementos de placa para as lajes. Para modelar os pilares-parede várias formas de elemento finito têm sido propostas. Entre outros autores CHEUNG e SWADDIWUDHIPONG²⁹ e MacLEOD³¹ desenvolveram trabalhos usando elemento finito para análise de pilares-parede. HO e LIU³⁰ fizeram uma combinação do elemento descrito no artigo de CHEUNG e SWADDIWUDHIPONG com o processo contínuo.

Nos processos discretos em geral as colunas e vigas são tratadas como elementos de barra e para levar em consideração a largura dos pilares-parede incorporam aos níveis das lajes braços rígidos. MacLEOD^{33,34,35}; MacLEOD e HOSNY³⁶; STAFFORD SMITH e ABATE³⁷; STAFFORD SMITH e GIRGIS³⁸; KWAN³⁹ e YAGUI^{8,40,41} desenvolveram técnicas e modelos para tratamento discreto, principalmente no que diz respeito aos núcleos estruturais.

O processo dos elementos finitos apresenta a mais poderosa ferramenta disponível para a análise de estruturas. Entretanto o tempo de computação e principalmente o trabalho gasto na preparação dos dados não têm contribuído para a sua popularização na análise de edifícios. Vários autores^{21,37,38,39} comparam os resultados obtidos com o procedimento específico do seu estudo com os resultados usando elementos finitos, sempre com a finalidade de mostrar que pouco diferem entre si, valorizando os resultados obtidos por um processo mais

simples de ser utilizado que o de modelar a estrutura com elementos finitos.

Os processos contínuos são convenientes nos casos de seções uniformes onde as equações são obtidas com certa facilidade. Nos casos simples este processo permite cálculos manuais, motivo pelo qual foi bastante e praticamente o único processo mais acurado usado até a popularização dos computadores. Entretanto para os casos mais gerais de estruturas não uniformes, a complexidade de cálculo envolvida no desenvolvimento do processo dificulta sobremaneira a sua aplicação.

Os processos discretos por serem versáteis quanto a composição da estrutura, de fácil uso no que diz respeito à preparação dos dados e não necessitando de computador de grande porte, têm se mostrado vantajoso na maioria dos casos práticos. Os resultados obtidos usando os processos discretos, além de confiáveis, permitem uma interpretação bastante acurada e simples do comportamento da estrutura.

1.2 - COMENTÁRIOS SOBRE OS PROCESSOS DISCRETOS.

Dois procedimentos têm sido usados para o tratamento discreto. HEIDEBRECHT e SWIFT²⁷ e TARANATH²⁶ desenvolveram um elemento não plano especial, com sete graus de liberdade por nó, para modelar os segmentos de núcleo compreendidos entre duas lajes adjacentes usando a

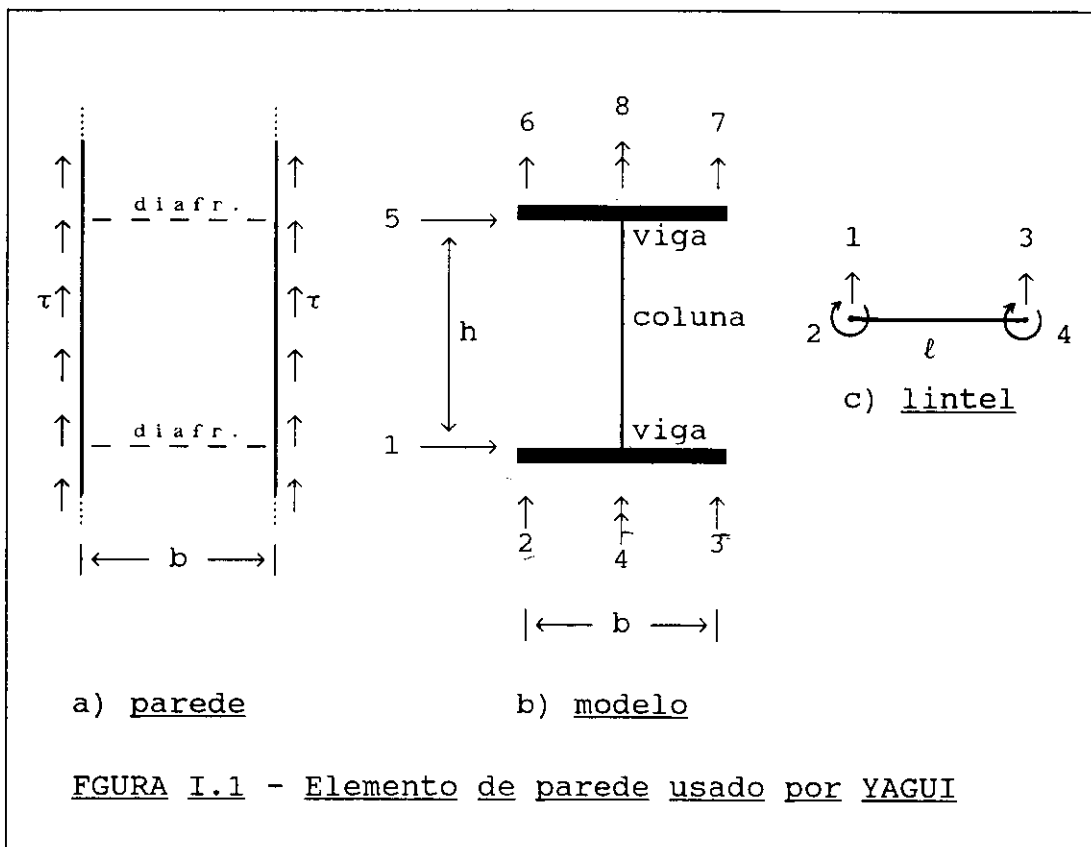
teoria de Vlassov para considerar o empenamento. Para a aplicação deste procedimento há necessidade da determinação do centro de cisalhamento e coordenadas setoriais.

O outro procedimento discreto bastante divulgado evita cálculos para determinação do centro de cisalhamento e áreas setoriais, tornando a compreensão do processo mais fácil para o engenheiro que não está familiarizado com a teoria da flexo-torção. As paredes planas são discretizadas e conectadas formando conjuntos tridimensionais, cujo empenamento pode ser avaliado através dos deslocamentos obtidos na solução geral.

Na linha deste segundo procedimento, MacLEOD^{33, 34, 35}; MacLEOD e HOSNY³⁶ e STAFFORD SMITH e co-autores^{37, 38} em seus trabalhos usando processos discretos adotam em geral dois tipos de elementos para modelar um núcleo estrutural. Um tipo de elemento para os casos de conexão entre paredes e outro para os casos em que existem lintéis ligando duas paredes. YAGUI usa basicamente apenas um elemento, com os lintéis considerados como elementos de barra que contribuem diretamente na matriz de rigidez do sistema. O enfoque dado por YAGUI facilita a análise do núcleo sem absolutamente prejudicar os resultados. Por julgá-lo o mais prático dentre os processos discretos foi o adotado como base para o trabalho ora apresentado.

I.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO "YAGUI".

Os segmentos de parede situados entre duas lajes (diafragmas) são substituídos por elementos formados por duas vigas de rigidez infinita unidas por uma coluna central, que conserva as mesmas características elásticas e geométricas do segmento de parede que substitue. A figura I.1 b) mostra este elemento e seus oito graus de liberdade.



As coordenadas 4 e 8 consideram a rigidez à torção da coluna, sendo o único modelo plano para

tratamento discreto conhecido pelo autor que não despreza este efeito. As coordenadas 2/3 e 6/7 procuram concentrar as cortantes que ocorrem nas respectivas "zonas de influência" dos braços rígidos, ou seja, compreendida entre a meia altura dos andares adjacentes.

Os lintéis, quando existirem, ocorrem sempre nos níveis dos diafragmas e são conectados rigidamente nas extremidades das vigas dos elementos adjacentes e tratados como elementos de barra. Naturalmente, devido à hipótese de diafragma para as lajes, os lintéis terão rigidez axial infinita, bastando então apenas as quatro coordenadas independentes mostradas na figura I.1 c) para definir o seu comportamento. O fato do elemento de parede não possuir coordenada rotação não obsta a conexão com eventuais lintéis, pois a rotação das vigas rígidas é linearmente dependente dos deslocamentos verticais nas suas extremidades.

Os núcleos estruturais resistentes formam um conjunto de paredes delgadas, em geral de seções parcialmente fechadas por lintéis, sujeitos a vários tipos de esforços, que devido a presença dessas vigas, produz um substancial fluxo de tensões de cisalhamento ao redor do núcleo. Desta forma as deformações por cisalhamento são importantes e no modelo YAGUI consideradas através da coluna central.

Considerando a deformação por força cortante, as rotações nas extremidades da coluna correspondem aos giros

das fibras horizontais do elemento de parede nos níveis dos diafragmas. Como os lintéis e as colunas são perpendiculares entre si, para preservar a perfeita compatibilidade de deslocamentos nas ligações parede-lintel, as coordenadas rotação dos lintéis devem corresponder aos giros de suas fibras horizontais, ou seja, a deformação por força cortante nos lintéis não deve ser considerada, pois caso contrário as rotações das extremidades corresponderiam aos giros das fibras verticais. (Convém notar que desprezando-se a deformação por força cortante as rotações das fibras horizontais e verticais são idênticas, pois a diferença entre elas é exatamente a distorção do elemento, que fornece a medida da influência do cisalhamento nas deformações.)

No cálculo do efeito da deformação por cisalhamento em uma barra em geral se considera um fator de forma, cujo valor mais usado é calculado através da Teoria da Elasticidade e para seções retangulares vale conforme COWPER⁴²:

$$c = \frac{1,2 + 1,1\nu}{1 + \nu} \quad (1.1)$$

Onde ν é o coeficiente de Poisson do material. Entretanto este coeficiente de forma foi determinado para o caso de vigas onde a tensão de cisalhamento nas bordas é nula. No caso dos núcleos, nas conexões entre paredes, as tensões de cisalhamento se distribuem de maneira praticamente constante ao longo da altura de um segmento e

também não é nula nos trechos conectados com lintéis. Apenas nos núcleos abertos e apenas em uma das bordas das paredes periféricas a tensão de cisalhamento é nula. Mesmo para este caso extremo, como apenas em uma borda a tensão de cisalhamento é nula, não se justifica usar o fator de forma obtido pela equação 1.1, sendo o valor unitário mais conveniente no caso dos núcleos usuais.

Outra pequena alteração que julga-se procedente para o modelo YAGUI, é considerar com maior rigor a rigidez à torção das paredes. Segundo TIMOSHENKO ⁴⁷, a constante de torção para barras prismáticas de seção retangular bt vale, nos casos de $b > 1,2 t$:

$$J_t = C_1 \cdot bt^3 \quad \text{onde} \quad C_1 = \frac{1}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t}{b} \right) \quad (1.2)$$

O usual é tomar-se $1/3$ para o valor de C_1 como é feito nos casos de seções delgadas. Entretanto é bastante comum núcleos estruturais formados por paredes com relação largura/espessura inferior a 10, justificando o uso do coeficiente dado em 1.2.

1.4 - O PRESENTE TRABALHO.

As considerações acima descritas a respeito da compatibilidade dos deslocamentos rotação das fibras da parede e dos lintéis e o desejo de permitir alguma deformação nas vigas rígidas, conduziram o estudo para o desenvolvimento de um modelo, no qual a deformação por

força cortante do segmento de parede passasse a ser considerada nas vigas ao invés de nas colunas. Desta forma as rotações estariam relacionadas com as fibras verticais das paredes, permitindo considerar a deformação por força cortante dos lintéis sem problemas de compatibilidade nos pontos de ligação parede/lintel.

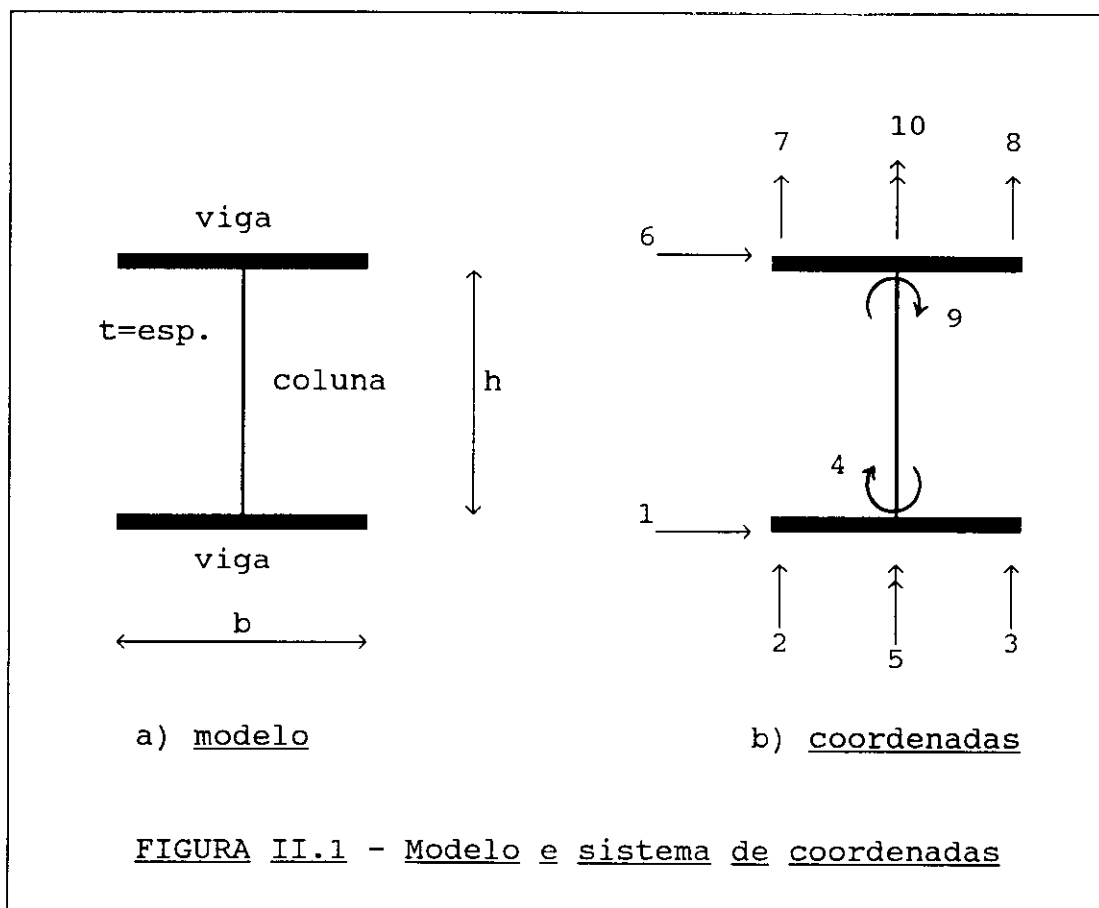
O CAPÍTULO II trata da composição da estrutura apresentando a matriz de rigidez do modelo proposto, dos lintéis e a integração destes elementos no sistema. O CAPÍTULO III mostra a montagem da matriz de rigidez do núcleo e os cálculos finais, baseado no processo dos deslocamentos. A seguir, no CAPÍTULO IV, é discutida a influência da força normal nos coeficientes de rigidez das colunas. O CAPÍTULO V apresenta vários exemplos comparando os resultados com os obtidos por outros autores. As conclusões finais encontram-se no CAPÍTULO VI. Três anexos foram incluídos: o ANEXO 1 contém a dedução dos coeficientes de rigidez de uma barra, com 4 coordenadas por nó, considerando entre outros os efeitos de segunda ordem; o ANEXO 2 apresenta o resultado comparativo da análise de um núcleo aplicando as alterações propostas para o programa YAGUI, e o ANEXO 3 contém informações sobre o programa, exemplo completo com os arquivos de entrada e saída além da listagem em MS-DOS QBasic do programa desenvolvido.

CAPÍTULO II

COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA

II.1 - O ELEMENTO DE PAREDE

As paredes têm largura constante podendo variar a espessura entre os andares. Espessura nula significa interrupção da parede no andar.



Um segmento de parede compreendido entre dois diafragmas é substituído por um modelo composto de três elementos: uma coluna central que supostamente concentra todas as fibras verticais do segmento de parede e duas vigas rígidas à flexão, que têm a finalidade de levar em consideração a largura da parede. A figura II.1 mostra o modelo que discretiza o segmento de parede e o sistema de coordenadas locais que definem o comportamento do modelo.

Os elementos do modelo têm as seguintes características: a coluna com as propriedades elásticas da parede possui a mesma rigidez axial, à flexão e à torção do elemento que substitui. Como as rotações no plano a serem consideradas são as das fibras verticais, apenas as deformações axiais e de flexão serão levadas em conta nas colunas. As vigas indeformáveis axialmente e à flexão poderão deformar por cisalhamento, ou seja, será permitida a distorção nesses elementos. A área t_h da seção longitudinal do segmento de parede é igualmente distribuída entre as duas vigas.

II.2 - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE RIGIDEZ.

Como o modelo apresenta dupla simetria, apenas quatro estados com aplicação de deslocamento unitário - um deles para os coeficientes de rigidez relativos à torção, coordenadas 5 e 10 - são suficientes para a determinação de todos os coeficientes de rigidez do modelo.

Os coeficientes relativos às coordenadas torção não influem nem sofrem influência dos outros coeficientes e valem:

$$s_{55} = -s_{5,10} = -s_{10,5} = s_{10,10} = GJ_t/h \quad (\text{II.1})$$

Todos os outros s_{5i} e $s_{10,i}$ com $i = 1$ a 9 exceto 5 e seus simétricos são nulos, e a notação usada é a tradicional para as características geométricas da seção e elásticas do material. A constante de torção J_t é calculada pela expressão⁴⁷:

$$J_t = C_1 \cdot b t^3 \quad \text{com} \quad C_1 = \frac{1}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t}{b} \right) \quad (\text{II.2})$$

A figura II.2 ilustra o cálculo dos coeficientes de rigidez. A figura II.2 a) repete o sistema de coordenadas, exceto as de número 5 e 10 , cujos coeficientes já foram determinados. Para facilitar a compreensão as figuras insinuam as direções das fibras verticais nas vizinhanças das vigas.

Convém notar que no caso da figura b), estado 1 de deslocamento unitário, os vínculos correspondentes às coordenadas 4 e 9 , bloqueados, só suportam os esforços devido à flexão da coluna. No caso da figura c), estado 2 de deslocamento unitário, o vínculo correspondente à coordenada 4 , para impedir a rotação das fibras verticais deve equilibrar o binário que causa a distorção $\gamma = 1/b$ nos elementos da viga; a coluna por se manter indeformada

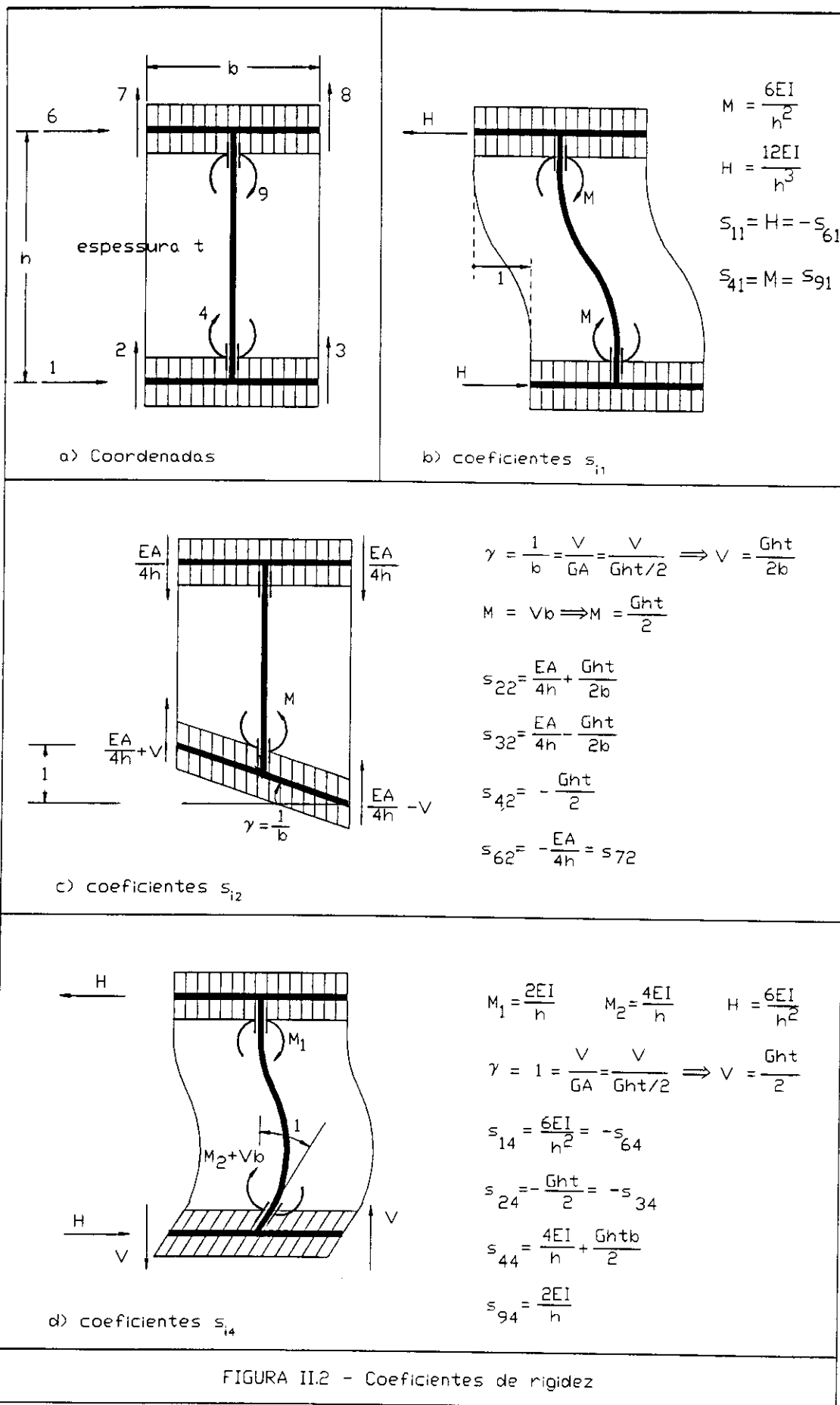


FIGURA II.2 - Coeficientes de rigidez

no que diz respeito à flexão, não solicita os vínculos 4 e 9 e sua deformação axial de valor $1/2$ afeta igualmente em módulo as coordenadas 2,3,7 e 8, resultando nelas os esforços $EA/4h$. Analogamente aos casos anteriores, na figura d), estado 4 de deslocamento unitário, o vínculo correspondente à coordenada 4 deve suportar, além daquele devido à flexão da coluna, o esforço referente à distorção $\gamma=1$ dos elementos da viga inferior. As expressões dos esforços nas coordenadas e os coeficientes de rigidez não nulos estão indicados nas partes correspondentes da figura II.2.

Com respeito ao estado 2 de deslocamento unitário, ilustrado na figura II.2 c), deve-se observar que a força que a coluna aplica nas vigas se considerada concentrada, produziria um ponto anguloso na seção central das vigas sem entretanto alterar a orientação das fibras verticais. Naturalmente este efeito foi negligenciado, uma vez que a coluna e a viga na realidade, não trocam entre si este esforço de maneira concentrada mas sim distribuído ao longo da largura b .

Com os valores obtidos na figura II.2 e considerações de simetria, a matriz de rigidez completa do elemento de parede discretizado pode ser obtida. Os resultados estão apresentados no quadro II.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	S2	0	0	S3	0	-S2	0	0	S3	0
2	0	S1+S8	S1-S8	-S7	0	0	-S1	-S1	0	0
3	0	S1-S8	S1+S8	S7	0	0	-S1	-S1	0	0
4	S3	-S7	S7	S4+S9	0	-S3	0	0	S5	0
5	0	0	0	0	S6	0	0	0	0	-S6
6	-S2	0	0	-S3	0	S2	0	0	-S3	0
7	0	-S1	-S1	0	0	0	S1+S8	S1-S8	-S7	0
8	0	-S1	-S1	0	0	0	S1-S8	S1+S8	S7	0
9	S3	0	0	S5	0	-S3	-S7	S7	S4+S9	0
10	0	0	0	0	-S6	0	0	0	0	S6

$$S_1 = \frac{EA}{4h} \quad S_4 = \frac{4EI}{h} \quad S_7 = \frac{Ght}{2}$$

$$S_2 = \frac{12EI}{h^3} \quad S_5 = \frac{2EI}{h} \quad S_8 = \frac{Ght}{2b}$$

$$S_3 = \frac{6EI}{h^2} \quad S_6 = \frac{GJ_t}{h} \quad S_9 = \frac{Ghtb}{2}$$

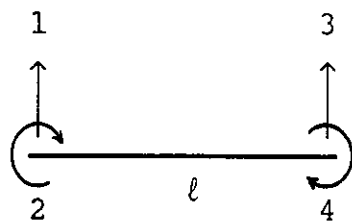
QUADRO II.1 - Matriz de Rigidez do elemento de parede.

II.3 - Os LINTÉIS.

Lintéis são vigas que nos níveis dos diafragmas ligam duas paredes, ou seja, no contexto de discretização adotado para o núcleo, o lintel sempre se apresenta ligado às vigas dos elementos de parede e como para estas a deformação por força cortante é considerada, este efeito não deve ser desprezado nos lintéis.

Os lintéis são orientados arbitrariamente em cada prumada e devem ser olhados de frente, da esquerda para a direita. As seções são fornecidas individualmente, havendo assim a possibilidade de variação ao longo de uma prumada. Valor nulo para qualquer dimensão da seção transversal significa ausência do lintel no nível. Os lintéis podem estar conectados rigidamente ou articulados aos painéis adjacentes, conforme sejam coplanares ou não. Devido a orientação do lintel ser arbitrária três tipos são possíveis: engastado/engastado (tipo 1), engastado/articulado (tipo 2) e articulado/engastado (tipo 3). Independente do tipo, a matriz de rigidez de um lintel será sempre considerada 4x4 para manter apenas um padrão na correspondência entre coordenadas locais e globais.

O quadro II.2 mostra o sistema de coordenadas locais de um lintel e a matriz de rigidez para os três tipos possíveis.



[SL] =

S1	-S2	-S1	-S5
-S2	S3	S2	S4
-S1	S2	S1	S5
-S5	S4	S5	S6

a) Caso lintel engastado/engastado (tipo 1)

$$S1 = \frac{12EI'}{\ell^3}$$

$$S3 = (4 + k) \frac{EI'}{\ell}$$

$$S2 = \frac{6EI'}{\ell^2}$$

$$S4 = (2 - k) \frac{EI'}{\ell}$$

$$S5 = S2$$

$$S6 = S3$$

$$k = \frac{12cEI}{GA\ell^2} \quad c = \frac{1,2 + 1,1\nu}{1 + \nu} \quad I' = \frac{I}{1 + k}$$

b) Caso lintel engastado/articulado (tipo 2)

$$S3 = \frac{12EI}{\ell(4+k)} \quad S2 = \frac{S3}{\ell} \quad S1 = \frac{S2}{\ell}$$

$$S4 = S5 = S6 = \text{zero}$$

c) Caso lintel articulado/engastado (tipo 3)

$$S6 = \frac{12EI}{\ell(4+k)} \quad S5 = \frac{S6}{\ell} \quad S1 = \frac{S5}{\ell}$$

$$S2 = S3 = S4 = \text{zero}$$

QUADRO II.2 - Coeficientes de rigidez do lintel.

II.4 - AS VINCULAÇÕES

As ligações do núcleo com a fundação ocorrem através dos vínculos correspondentes às coordenadas do primeiro diafragma. Estes vínculos podem ser rígidos ou elásticos dependendo da fundação. Caso a fundação seja flexível, os coeficientes de rigidez dos vínculos elásticos que simulam o comportamento da fundação devem ser fornecidos.

II.5 - COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA E COORDENADAS GLOBAIS.

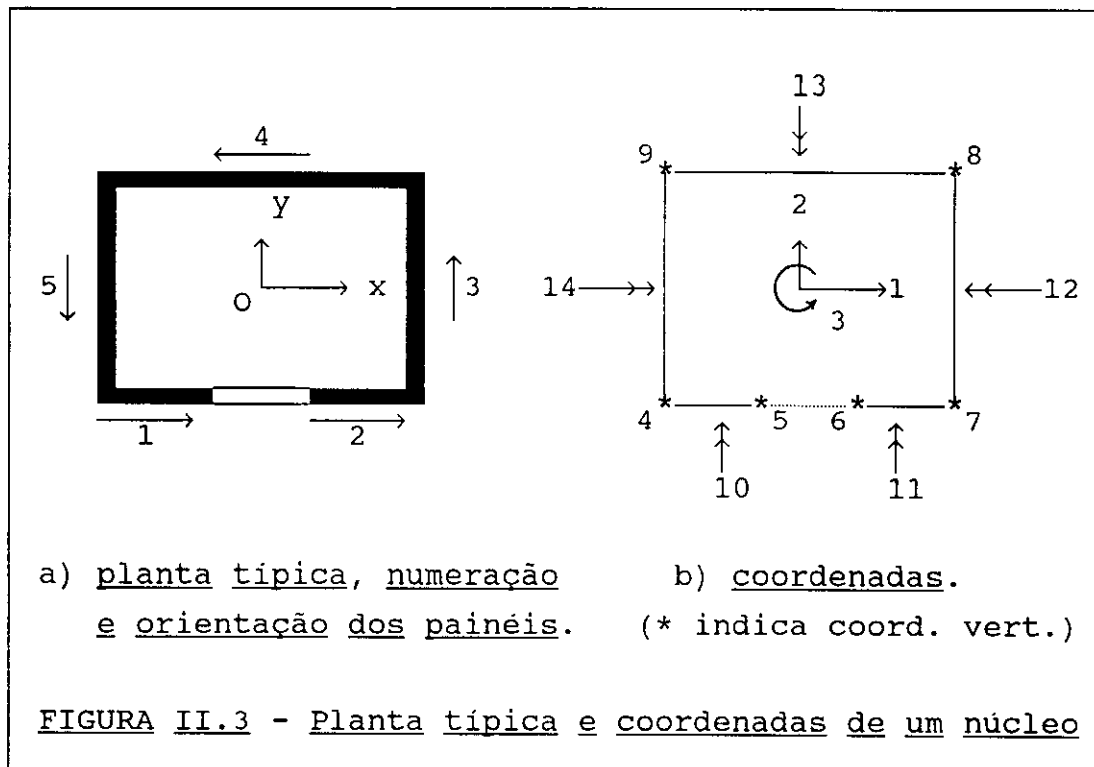
Ao longo deste item serão definidos vários valores necessários na explanação. Como a notação usada ao longo do texto é a mesma adotada no programa, um arquivo denominado NOTACAO.TXT foi elaborado durante a preparação do programa para eventuais consultas. Este arquivo, escrito sem compromisso com acentuação gráfica e cedilhas, encontra-se reproduzido na página 86 (ANEXO 3).

As paredes, também chamadas painéis, se associam em diversos arranjos formando os núcleos estruturais. Os np painéis são numerados seqüencialmente a partir de 1, orientados arbitrariamente e como os lintéis devem ser observados sempre da esquerda para a direita. Os na andares são numerados de baixo para cima, assim como os nf diafragmas. Como é suposto diafragma na base e topo vale a relação $nf = na + 1$.

Para ilustrar o sistema de coordenadas considere-se o núcleo cuja planta típica é mostrada na figura II.3.

Escolhe-se arbitrariamente um ponto O do plano da base para origem de um sistema cartesiano ortogonal xyz , com os eixos x e y no plano da base e eixo z orientado da base para o topo do núcleo. A origem e o sistema de eixos devem ser escolhidos de preferência simplificando a determinação das coordenadas dos pontos nodais que definem a origem e fim dos painéis.

No diafragma da base com origem no ponto O são definidas as coordenadas lineares 1 e 2, paralelas aos eixos x e y respectivamente e a coordenada angular 3 paralela ao eixo z . Em todas as n_j extremidades ou interseções dos painéis (pontos nodais), são definidas coordenadas verticais, positivas no sentido de Oz. Estas coordenadas, numeradas a partir de 4, possuem numeral coincidente com o respectivo ponto nodal. A partir do número $3 + n_j$, em cada painel, é definida uma coordenada rotação, cujo vetor está contido no plano do diafragma e que corresponde à rotação das fibras verticais do painel no nível do diafragma; positivas no sentido horário do observador que olha o painel orientado de frente. Assim, para o primeiro diafragma tem-se $n_d = 3 + n_j + n_p$ coordenadas.



Analogamente para todos os outros diafragmas são definidas as coordenadas, sendo a origem das três primeiras a interseção do eixo z com o respectivo diafragma, de forma que para coordenadas correspondentes de diafragmas vizinhos, seus numerais diferem sempre do valor n_d e o número total de coordenadas do núcleo vale $n = n_d \times n_f$.

A presença das coordenadas de rotação das fibras verticais dos painéis nos níveis dos diafragmas, preserva a característica usual da matriz de rigidez do sistema ser em banda, pois caso as rotações das fibras verticais não fossem bloqueadas, elas se propagariam ao longo do painel influenciando nos adjacentes e toda a estrutura seria afetada.

Os $\underline{ne} = np \times na$ elementos de parede são numerados na sequência dos andares para cada painel, ou seja, inicia-se a numeração pelos elementos do painel número um a partir do primeiro andar, terminando com o elemento do painel np no andar na .

CAPÍTULO III

MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA E CÁLCULOS FINAIS

III.1 - INTRODUÇÃO

A matriz de rigidez do sistema S ($n \times n$) relaciona o vetor deslocamento do sistema V ($n \times 1$) com o vetor das ações externas A ($n \times 1$) através da equação:

$$A = S.V \quad (\text{III.1})$$

A matriz S é obtida somando-se as contribuições dos elementos de parede, lintéis e vínculos elásticos.

Os coeficientes de uma coluna genérica j da matriz de rigidez são os esforços nos n vínculos correspondentes às coordenadas, quando se aplica um deslocamento unitário na direção e sentido do vínculo j mantendo-se nulos todos os outros. Tendo em vista o sistema de numeração adotado é certo que esta perturbação não se propaga além dos diafragmas adjacentes ao que contém a coordenada j , ou seja, a matriz de rigidez é uma matriz em banda, com largura superior igual a 2 vezes o número de coordenadas de um diafragma, ou $l_{sb} = 2n_d$ (l_{sb} = largura superior da banda).

III.2 - CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS.

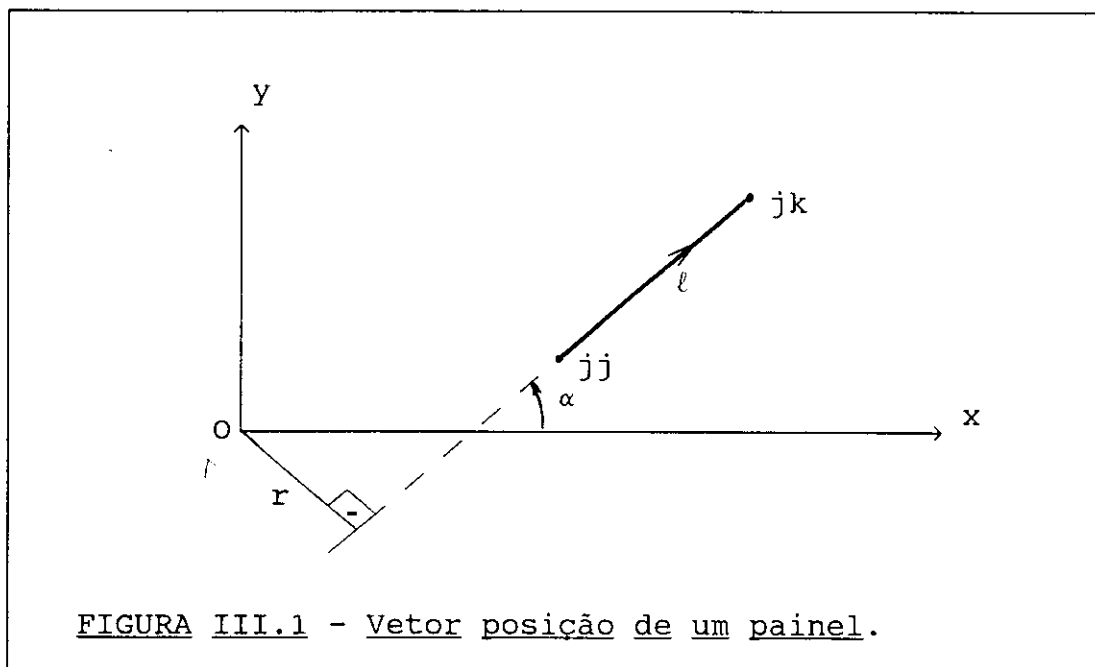
Seja um painel genérico p , orientado, de extremidades jj e jk conforme figura III.1. Conhecidas as coordenadas das suas extremidades o comprimento ℓ e os elementos do vetor posição valem:

$$\ell = \sqrt{(Y_{jk} - Y_{jj})^2 + (x_{jk} - x_{jj})^2} \quad (\text{III.2})$$

$$c = \cos\alpha = \frac{x_{jk} - x_{jj}}{\ell} \quad (\text{III.3})$$

$$s = \text{sen}\alpha = \frac{Y_{jk} - Y_{jj}}{\ell} \quad (\text{III.4})$$

$$r = x_{jj} \text{sen}\alpha - y_{jj} \cos\alpha \quad (\text{III.5})$$



Seja i ($i = 1, \dots, ne$) um elemento genérico de parede contido no painel p e andar a . Chamando SE a matriz de rigidez deste elemento, a contribuição de todos os elementos i na matriz de rigidez do sistema pode ser obtida pela expressão⁴⁸:

$$[S] = \sum_{p=1}^{np} \sum_{a=1}^{na} [T]_i^t [SE] [T]_i \quad (III.6)$$

na qual:

$[T]_i$ é a submatriz correspondente ao elemento i da matriz de transformação T , que relaciona os deslocamentos D dos elementos com os deslocamentos V do sistema, segundo a expressão $D = T.V$;

$[T]_i^t$ é a transposta de $[T]_i$.

A submatriz T_i de um elemento genérico i vale:

1	c s r ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...
2	0 0 0 ... 1 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...
3	0 0 0 ... 0 ... 1 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...
4	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 1 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...
5	0 0 1 ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...
6	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...	c s r ... 0 ... 0 ... 0 ...
7	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 1 ... 0 ... 0 ...
8	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 1 ... 0 ...
9	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 1 ...
10	0 0 0 ... 0 ... 0 ... 0 ...	0 0 1 ... 0 ... 0 ... 0 ...
	1 2 3 jj jk jw	1 2 3 jj jk jw
	← nd colunas →	← nd colunas →

... significam elementos nulo.

. . . . (III.7)

A submatriz T_i têm dimensão $10 \times 2nd$. A numeração das colunas da submatriz T_i inicia em $(a - 1) \times nd + 1$ ou seja, aos números indicados nas colunas de T_i , devem ser somados o valor $(a - 1) \times nd$ nas primeiras nd colunas e $(a - 1) \times nd + nd$ nas nd últimas; jj e jk são o nó inicial e final do painel p e correspondem às coordenadas verticais; $jw = 3 + nj + p$ onde nj é o número de pontos nodais, corresponde à coordenada rotação das fibras verticais.

III.3 - CONTRIBUIÇÃO DOS LINTÉIS.

Seja n^ℓ o número de prumadas (orientadas) de lintéis e i ($i = 1, \dots, nf$) um lintel genérico de uma prumada ℓ , contido no diafragma f , ligando os painéis (orientados) p_e e p_d . Chamando de SL a matriz de rigidez deste lintel, a contribuição de todos os lintéis i na matriz de rigidez do sistema, como no caso anterior, pode ser obtida pela expressão:

$$[S] = \sum_{\ell=1}^{n^\ell} \sum_{f=1}^{nf} [B]_i^t [SL] [B]_i \quad (\text{III.8})$$

na qual:

$[B]_i$ é a submatriz correspondente ao lintel i , da matriz de transformação B , que relaciona os deslocamentos D dos lintéis com os deslocamentos V do sistema, segundo a expressão $D = B.V$;

$[B]_i^t$ é a transposta de $[B]_i$.

A submatriz B_i de um lintel genérico i vale:

$$[B]_i = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \pm 1 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \pm 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.9})$$

$j1 \quad j2 \quad k1 \quad k2$

Aos números indicados nas colunas de B_i deve-se somar $(f - 1) \times nd$; $j1$ e $j2$ são os pontos nodais à esquerda e direita do lintel; $k1$ e $k2$, correspondentes às coordenadas rotação das fibras verticais, valem:

$$k1 = 3 + nj + p_e \quad (\text{III.10})$$

$$k2 = 3 + nj + p_d \quad (\text{III.11})$$

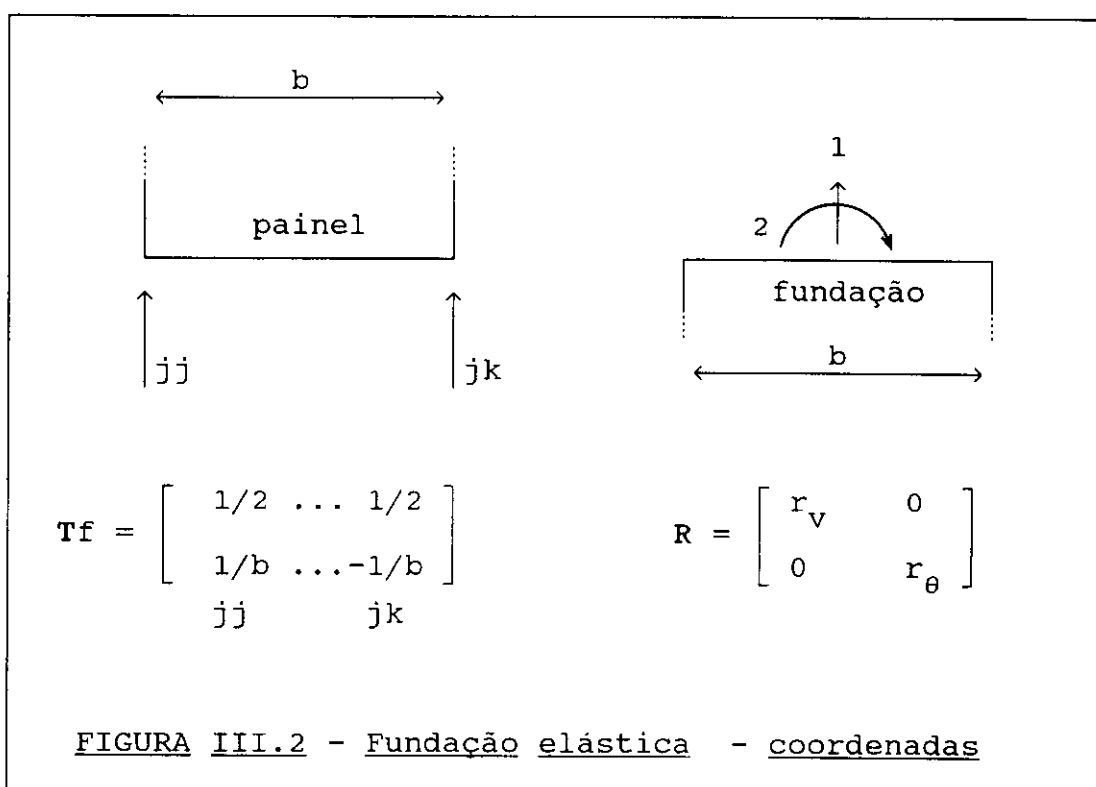
No caso das coordenadas rotação, o sinal deve ser tomado respectivamente + ou - conforme a orientação dos painéis à esquerda e direita do lintel seja ou não coincidente com a orientação do lintel. Este cuidado, que pouco esforço requer na programação, proporciona o benefício da arbitrariedade na orientação dos painéis e prumadas de lintéis.

III.4 - CONTRIBUIÇÃO DA FUNDAÇÃO ELÁSTICA.

No primeiro diafragma as coordenadas 1, 2 e 3 serão sempre bloqueadas e as np últimas, correspondentes às rotações das fibras verticais, serão sempre livres. Qualquer movimento da fundação de um painel será

considerado como movimento de corpo rígido e portanto uma eventual rotação da seção inferior do painel ocorre em função dos deslocamentos verticais das suas extremidades.

Seja um painel p de extremidades jj e jk , cuja fundação tenha coeficientes de rigidez à translação r_v e à rotação r_θ . Analogamente aos casos anteriores, a contribuição da fundação deste painel na matriz de rigidez do núcleo conforme ilustra a figura III.2, vale:



$$[S] = [Tf]^t [R] [Tf] \quad (III.12)$$

na qual:

$[Tf]$ é a submatriz correspondente à fundação do painel p , que relaciona os deslocamentos D da fundação com os

deslocamentos V do sistema ($D = T.V$);

$[T]^t$ é a transposta de $[T]$.

Neste caso como a fundação elástica ocorre sempre no primeiro diafragma, nenhuma parcela deve ser somada nos índices das colunas. Naturalmente cada painel com fundação elástica contribui com sua respectiva parcela na matriz S .

III.5 - CÁLCULO DOS DESLOCAMENTOS

A matriz de rigidez obtida é singular pois as restrições de apoio ainda não foram impostas. Para se levar em consideração a presença de um vínculo rígido segundo uma coordenada i , anulam-se os coeficientes $S(i,j)$ para $i \neq j$, eliminando-se a influência da coordenada i nas demais e faz-se $A(i) = 0$ para anular o deslocamento segundo a própria coordenada. A solução do sistema $A = S.V$ fornece o vetor deslocamentos da estrutura.

III.6 - REAÇÕES DE APOIO.

Seja SR ($nd \times 2nd$) a submatriz de S correspondente às nd primeiras linhas e $2nd$ primeiras colunas de S e VR ($2nd \times 1$) a submatriz de V , correspondente as $2nd$ primeiras linhas de V . O produto $SR.VR$ fornece as ações aplicadas nos vínculos da base. No caso dos vínculos rígidos, o resultado do produto fornece

as reações de apoio e para os vínculos livres ou elásticos resultarão valores nulos.

Caso a submatriz SR seja retirada de S antes das contribuições da fundação elástica, o resultado do produto $SR.VR$ fornece os esforços em todos os vínculos, quer sejam rígidos, livres ou elásticos. Os resultados correspondentes aos vínculos rígidos serão reações de apoio, os correspondentes às coordenadas livres serão nulos e os outros corresponderão aos esforços transmitidos pelas "molas" da fundação elástica. Este procedimento, ou seja, reservar a submatriz SR antes da contribuição da fundação elástica é preferível ao do parágrafo anterior por fornecer resultados mais completos e foi o usado no programa do anexo 3.

É conveniente notar que a matriz de rigidez é simétrica e em banda e pode ser armazenada em arranjo retangular apenas a banda superior. Naturalmente este fato deve ser considerado na fase da programação fazendo-se as adaptações necessárias. Cuidado especial na elaboração do programa deve ser tomado nas contribuições dos painéis e lintéis por terem orientações arbitrárias. Toma-se a liberdade de lembrar que o esforço adicional usado na elaboração do programa, é realizado apenas uma vez e será altamente recompensado na fase de utilização, pois simplifica a preparação dos dados que terão que ser repetidos para cada estrutura a ser analisada.

Como as matrizes de transformação são esparsas, os duplos produtos matriciais em que elas e suas transpostas estão envolvidas podem ser realizados manualmente, usando-se o resultado diretamente na programação economizando tempo de computação.

III.7 - ESFORÇOS NOS LINTÉIS E ELEMENTOS DE PAREDE.

Os deslocamentos nas coordenadas de um lintel genérico i são obtidos pela equação $D_i = B_i \cdot V$, com B_i conforme III.9. Calculados os deslocamentos, os esforços nas coordenadas resultam do produto $A_i = SL_i \cdot D_i$, com SL_i conforme quadro II.2.

Os esforços e tensões em um elemento de parede serão determinados na seção transversal equidistante de dois diafragmas consecutivos (seção média de um andar), pois dependem também dos esforços nas coordenadas verticais situadas nas extremidades das vigas. Cada esforço vertical é resultante das tensões de cisalhamento que atuam ao longo do seu comprimento de influência que se estende entre as seções médias dos andares adjacentes. Os momentos nas extremidades de uma coluna são funções da translação horizontal e da rotação das seções extremas. A rotação das seções (horizontais) para o cálculo dos momentos deve ser calculada em função dos deslocamentos verticais das extremidades das vigas, coordenadas 2/3 e 7/8, e não usando diretamente as coordenadas 4 e 9, pois

estas últimas estão relacionadas com as rotações das fibras verticais.

O programa fornece como resultado final os deslocamentos dos diafragmas, esforços solicitantes nas extremidades dos lintéis e nas seções médias das colunas. Também calcula as tensões normais nas bordas e tensão média de cisalhamento nas seções médias das colunas e as "reações de apoio" nos vínculos da base, indicando se o respectivo vínculo é rígido ou elástico.

CAPÍTULO IV

INFLUÊNCIA DO EFEITO DE SEGUNDA ORDEM NAS COLUNAS

IV.1 - INTRODUÇÃO

Alguns edifícios são concebidos tendo como elemento estrutural principal o núcleo de concreto armado. Este fica com a responsabilidade de absorver os esforços que resultam de todas as cargas atuantes⁰⁸. Nestes casos os esforços normais, devido aos valores elevados que alcançam, podem influir de maneira sensível nos coeficientes de rigidez das colunas.

A presença de esforço normal em uma barra fletida causa variação nos momentos fletores, sendo este efeito denominado efeito de segunda ordem.

Como os esforços normais nas colunas são determinados através dos deslocamentos axiais nas suas extremidades, a priori não se conhecendo seus valores não é possível no primeiro momento, avaliar a sua influência nos coeficientes de rigidez. Efetuando-se os cálculos pela teoria simples de primeira ordem, determinam-se os deslocamentos e com eles as normais. Após a determinação dessas forças, a matriz de rigidez da estrutura deve ser recalculada e com os novos deslocamentos determinados, novas forças normais, que serão diferentes das anteriores. Assim o processo deve ser repetido de maneira cíclica, até

que duas análises sucessivas apresentem os mesmos resultados a menos de uma tolerância preestabelecida.

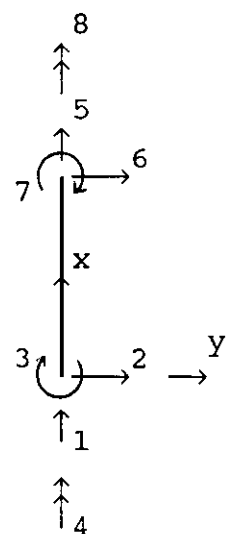
A comparação de resultados entre um ciclo e o anterior será efetuada nos esforços normais, pois são eles que afetam os coeficientes de rigidez. A tolerância na diferença entre dois resultados consecutivos no programa elaborado é opção do analista, isto é, junto com o nome do arquivo com os dados e nome do arquivo para impressão dos resultados deve ser fornecida a tolerância desejada para interrupção dos ciclos. Estas informações são fornecidas via teclado em resposta a perguntas formuladas pelo programa. Tolerância nula não considera a influência da normal e tolerâncias muito baixas, em casos muito raros, podem conduzir a um grande número de ciclos ou até a não convergência, por problemas numéricos do computador. Por esse motivo o programa após 5 ciclos completos continua a análise sem recalcular a matriz de rigidez, imprimir os resultados - confiáveis após 5 ciclos - e uma mensagem.

IV.2 - COEFICIENTES DE RIGIDEZ CONSIDERANDO A FORÇA NORMAL

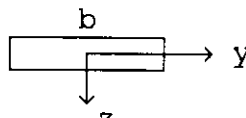
A dedução dos coeficientes de rigidez de uma barra com oito coordenadas considerando o efeito $P\Delta$ e a deformação por força cortante para os casos P de compressão, P nulo e P de tração, encontra-se no ANEXO 1 deste trabalho. Por ser longa, optou-se por não apresentá-la diretamente neste capítulo. As expressões

obtidas foram resumidas no quadro A1.1 do ANEXO 1, o qual está reproduzido na página seguinte como quadro IV.1. Expressões parecidas foram obtidas por YAGUI⁰⁸, sendo as deduzidas pelo autor no ANEXO 1 mais rigorosas no que se refere à consideração dos efeitos da força cortante.

Como o modelo adotado no presente trabalho para discretização do núcleo considera a deformação por força cortante nas vigas e não nas colunas, deve-se desprezar na formulação proposta esta influência nos coeficientes de rigidez das colunas. Isto é feito simplesmente adotando-se valor nulo para o fator de forma c .



$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \\ E_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S1 & 0 & 0 & 0 & -S1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S2 & S3 & 0 & 0 & -S2 & S3 & 0 \\ 0 & S3 & S4 & 0 & 0 & -S3 & S5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S6 & 0 & 0 & 0 & -S6 \\ -S1 & 0 & 0 & 0 & S1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S2 & -S3 & 0 & 0 & S2 & -S3 & 0 \\ 0 & S3 & S5 & 0 & 0 & -S3 & S4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S6 & 0 & 0 & 0 & S6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \end{pmatrix}$$

seção transversal: 

S ^P	Compressão (P < 0)	Zero	Tração (P > 0)
S1	$\frac{EA}{l}$	$\frac{EA}{l}$	$\frac{EA}{l}$
S2	$EI \frac{a^2 \alpha^3 \text{sen} \alpha l}{\phi_c}$	$\frac{12EI'}{l^3}$	$EI \frac{a^2 \alpha^3 \text{sen} \alpha l}{\phi_t}$
S3	$EI \frac{\alpha \alpha^2 (1 - \text{cos} \alpha l)}{\phi_c}$	$\frac{6EI'}{l^2}$	$EI \frac{\alpha \alpha^2 (\text{cosh} \alpha l - 1)}{\phi_t}$
S4	$EI \frac{\alpha (\text{sen} \alpha l - \alpha l \text{cos} \alpha l)}{\phi_c}$	$(4+k) \frac{EI'}{l}$	$EI \frac{\alpha (\alpha l \text{cosh} \alpha l - \text{sen} \alpha l)}{\phi_t}$
S5	$EI \frac{\alpha (\alpha \alpha l - \text{sen} \alpha l)}{\phi_c}$	$(2-k) \frac{EI'}{l}$	$EI \frac{\alpha (\text{sen} \alpha l - \alpha \alpha l)}{\phi_t}$
S6	$\frac{GJ_t + Pr^2}{l}$	$\frac{GJ_t}{l}$	$\frac{GJ_t + Pr^2}{l}$

$\phi_c = 2 - 2\text{cos} \alpha l - \alpha l \text{sen} \alpha l$

$\phi_t = 2 - 2\text{cosh} \alpha l + \alpha l \text{sen} \alpha l$

$a = 1 + \frac{cP}{GA}$

$A = tb$

$I' = \frac{I}{1+k}$

$\alpha = \sqrt{\frac{|P|}{aEI}}$

$I = tb^3/12$

$k = \frac{12cEI}{GA l^2}$

$c = \text{fator de forma}$

$r^2 = I/A$

$C1 = \frac{1}{3} (1 - 0,63 \frac{t}{b})$

QUADRO IV.1 - Coeficientes de rigidez - formulário

CAPÍTULO V

EXEMPLOS

V.1 - EXEMPLO NÚMERO 1

Com a finalidade de mostrar a versatilidade do modelo, como primeiro exemplo serão feitas comparações de resultados com dois casos apresentados por TIMOSHENKO⁰⁴. Os valores numéricos usados nos exemplos foram adotados sem preocupação com unidades.

Na chapa⁴⁹ mostrada na figura V.1.1 a), as tensões indicadas são determinadas segundo as equações apresentadas na própria figura. A chapa foi modelada em quatro painéis e oito andares, conforme figura V.1.1 b). Com os valores adotados para l , c e a constante d , todos os elementos têm dimensão 2×2 , espessura unitária e resultam as cargas aplicadas nas coordenadas do sistema conforme indicadas na figura b).

O programa fornece os resultados finais nas seções a meia altura das colunas (centrais) dos painéis. As tensões normais são determinadas nas extremidades destas seções, isto é, em pontos das prumadas divisórias dos painéis e as tensões de cisalhamento são a média das tensões nas referidas seções. Por apresentar simetria apenas os resultados dos painéis 1 e 2 serão reproduzidos.

Exceto nas vizinhanças dos apoios as tensões normais tiveram uma concordância muito boa com as obtidas por TIMOSHENKO. As tensões de cisalhamento fornecidas pelo programa também coincidiram com a média, obtida integrando-se a função τ_{xy} ao longo do intervalo correspondente ao painel e dividindo-se pela sua largura.

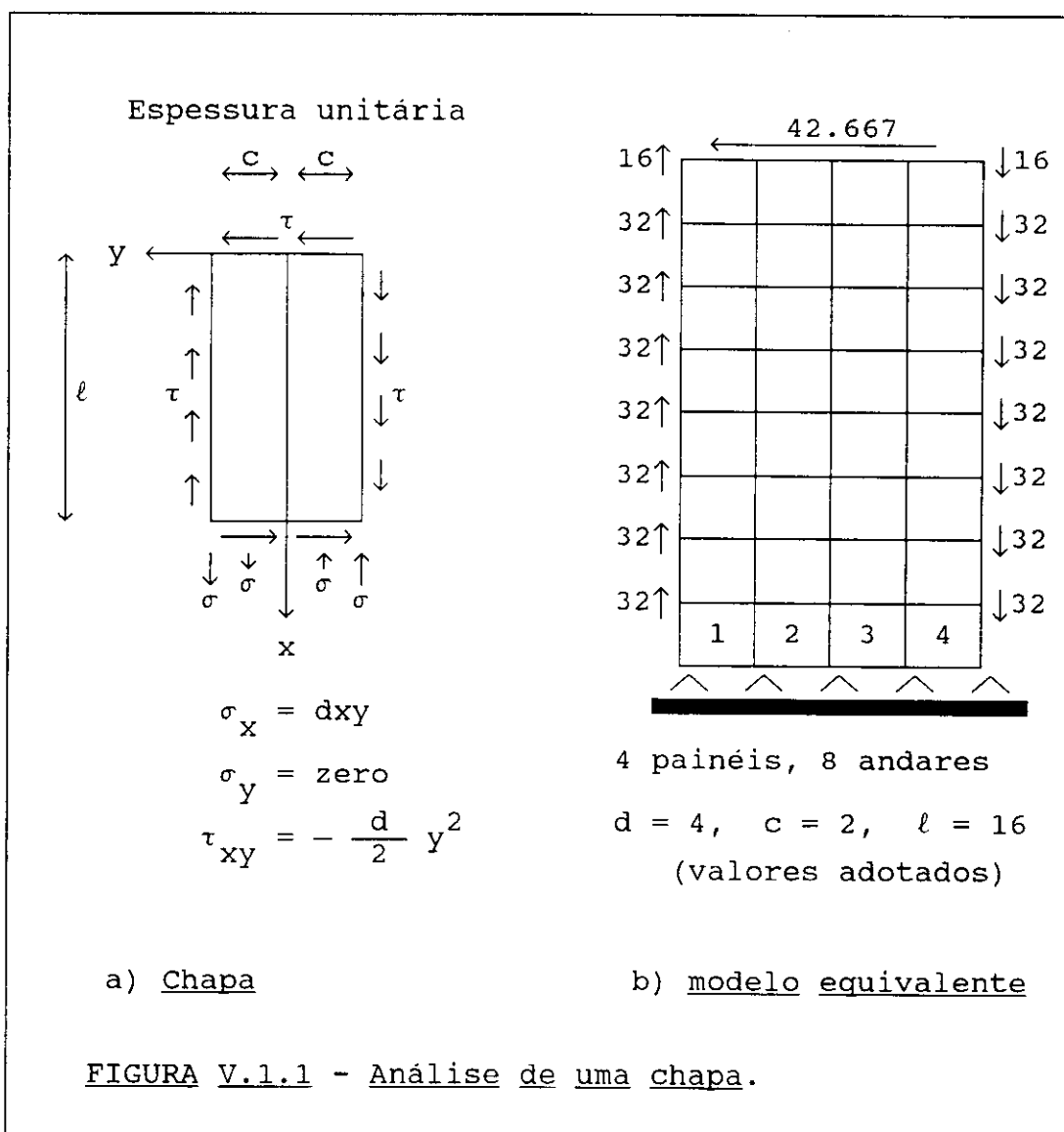


TABELA V.1.1 - RESULTADOS DO PAINEL NÚMERO 1

Processo	PROGRAMA			TIMOSHENKO		
Tensão	σ_{esq}	σ_{dir}	τ_{med}	σ_{esq}	σ_{dir}	τ_{med}
x = 1	8,00	4,00	-9,33	8,00	4,00	-9,33
x = 3	24,00	12,00	-9,33	24,00	12,00	-9,33
x = 5	40,00	20,00	-9,33	40,00	20,00	-9,33
x = 7	56,00	28,00	-9,33	56,00	28,00	-9,33
x = 9	71,97	36,03	-9,35	72,00	36,00	-9,33
x = 11	88,07	43,99	-9,28	88,00	44,00	-9,33
x = 13	104,20	52,15	-9,71	104,00	52,00	-9,33
x = 15	132,90	52,42	-7,02	136,00	68,00	-9,33

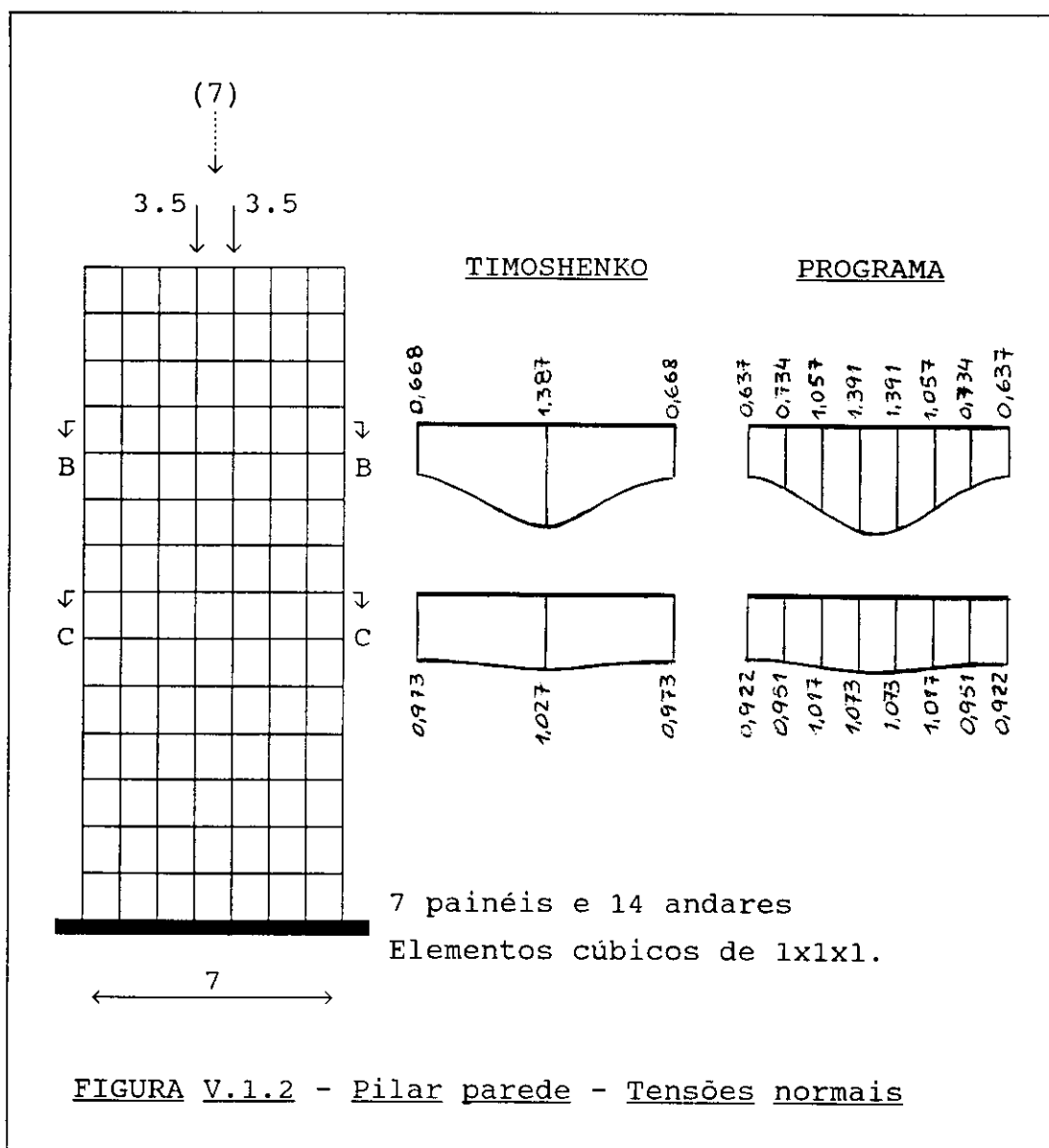
TABELA V.1.2 - RESULTADOS DO PAINEL NÚMERO 2

Processo	PROGRAMA			TIMOSHENKO		
Tensão	σ_{esq}	σ_{dir}	τ_{med}	σ_{esq}	σ_{dir}	τ_{med}
x = 1	4,00	0,00	-1,33	4,00	0,00	-1,33
x = 3	12,00	0,00	-1,33	12,00	0,00	-1,33
x = 5	20,00	0,00	-1,33	20,00	0,00	-1,33
x = 7	28,00	0,00	-1,33	28,00	0,00	-1,33
x = 9	36,03	0,00	-1,32	36,00	0,00	-1,33
x = 11	43,99	0,00	-1,39	44,00	0,00	-1,33
x = 13	52,15	0,00	-0,96	52,00	0,00	-1,33
x = 15	52,42	0,00	-3,65	60,00	0,00	-1,33

O segundo caso tomado para comparação de resultados é a parede mostrada na figura V.1.2, submetida a uma carga concentrada⁵⁰. A parede foi modelada em 7 painéis e 14 andares. Os valores numéricos indicados na figura foram adotados.

Optou-se por um número ímpar de painéis para poder comparar sem interpolações o resultado na seção situada a um quarto do topo, por considerar-se as tensões

nesta seção como as mais apropriadas para confronto entre as fornecidas por TIMOSHENKO. Os resultados das tensões normais estão reproduzidos na figura ao lado da seção correspondente. TIMOSHENKO fornece apenas três valores para cada curva.



V.2 - EXEMPLO NÚMERO 2

Como primeiro exemplo de um núcleo propriamente dito será apresentado um caso que foi analisado por diversos processos. O núcleo mostrado na figura V.2.1 foi concebido por RUTENBERG e co-autores²¹, que variando a rigidez dos lintéis compara os resultados obtidos por vários processos contínuos. A propósito, é comum na literatura comparações de resultados obtidos para um mesmo núcleo parcialmente fechado por lintéis com rigidez variável. A rigidez relativa de um lintel é medida pela relação a/ℓ , onde a é a altura da sua seção transversal e ℓ o seu comprimento.

RUTENBERG e co-autores desenvolvem no artigo citado²¹ basicamente 4 processos contínuos para o cálculo de núcleos formados por duas seções canal ligadas por lintéis. O primeiro processo, baseado na teoria de VLASSOV, negligencia a deformação por força cortante e o quarto, mais sofisticado, é baseado nos trabalhos de UMANSKY⁴⁹ e BENSCOTER⁵⁰, que considera a deformação por força cortante. Como sistematicamente os resultados obtidos pelas 4 formulações se distribuem entre os baseados em VLASSOV e UMANSKY-BENSCOTER (U-B), somente as curvas relativas a estes dois processos serão reproduzidas.

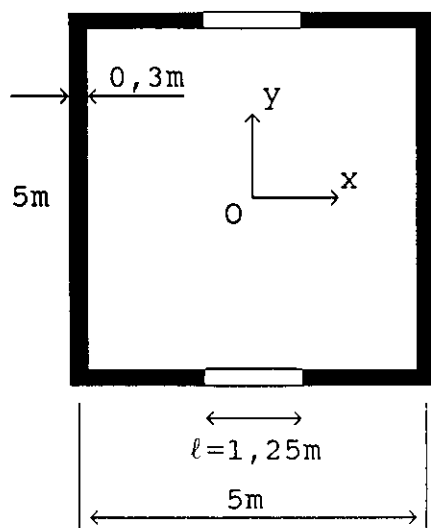
Os gráficos da figura V.2.1 mostram os deslocamentos rotação dos diafragmas produzidos por um

momento torçor aplicado no topo, para duas situações de "fechamento" do núcleo: a) com lintel "fraco", seção de 0,3m x 0,25m, ou $a/\ell = 0,2$ e b) com lintel "forte", seção de 0,3m x 0,625m ou $a/\ell = 0,5$. Como seria de se esperar os resultados obtidos usando a teoria de VLASSOV, por não considerar as deformações por cisalhamento, superestimam a rigidez do núcleo resultando em deslocamentos menores. Este fato se acentua conforme a rigidez dos lintéis aumenta tornando a deformação por cisalhamento mais significativa. Por este motivo, os processos contínuos baseados na teoria de VLASSOV não são muito convenientes no caso de núcleos parcialmente fechados, principalmente se o forem por lintéis "fortes". Nos núcleos abertos ou "fracamente" fechados, os resultados obtidos por praticamente todos os processos, sejam contínuos ou discretos, pouca diferença apresentam. Conforme a rigidez dos lintéis aumenta os resultados passam a divergir de forma mais acentuada. Este fato foi uma constante em todas as comparações de resultados efetuadas pelo autor.

No caso b), $a/\ell = 0,5$, os resultados baseados em U-B para as rotações dos diafragmas dos andares mais elevados são em torno de 25% menores que os obtidos neste trabalho. Aparentemente poderia se supor que o processo discreto proposto está subestimando a rigidez do núcleo, mas os resultados parciais apresentados por RUTENBERG usando dois outros processos devem ser considerados. O processo usando a teoria de U-B, "incorporando a correção de MICHAEL⁵¹ no comprimento efetivo dos lintéis" e o

processo usando elementos finitos (E.F.) têm os resultados fornecidos no artigo citado apenas para rotações no topo. O valor obtido usando E.F. praticamente coincide com o obtido pelo processo aqui proposto e o baseado em U-B com a correção de MICHAEL se situa 5% abaixo. Por este motivo julga-se os resultados calculados pelo programa bastante satisfatórios, inclusive tomando a liberdade de ponderar que U-B "incorporando a correção de MICHAEL" é técnica mais rigorosa que U-B, pois não se imagina incorporar correção para prejudicar uma formulação.

Em todos os vários exemplos analisados por RUTENBERG no artigo citado, os resultados usando processos contínuos quando comparados com os obtidos usando E.F são sempre inferiores, enquanto que os alcançados pelo processo discreto aqui proposto se situam muito próximos. A "correção de MICHAEL" quando aplicada nas formulações contínuas tornam o modelo mais flexível, aproximando os resultados com os obtidos usando E.F.



10 andares com $h = 3,5\text{m}$.

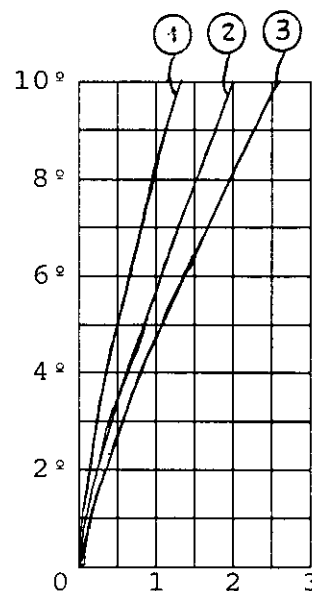
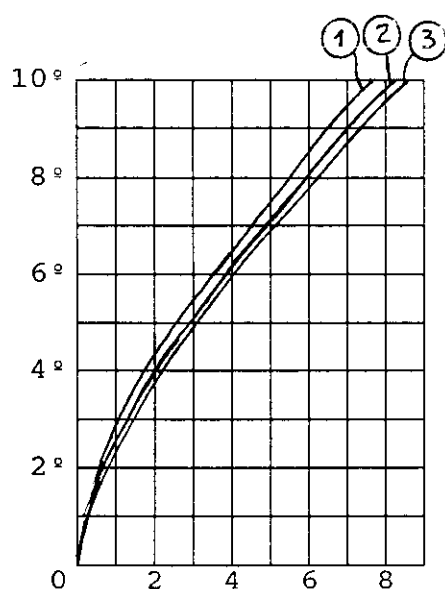
Carga: momento torçor
concentrado no
topo = $1,0\text{ tm}$.

$$E = 3 \times 10^6 \text{ t/m}^2.$$

$$\nu = 0,2.$$

CASO a) lintéis: $0,3 \times 0,25$
($a/l = 0,2$)

CASO b) lintéis: $0,3 \times 0,625$
($a/l = 0,5$)



a) lintéis de $0,3 \times 0,25$

b) lintéis de $0,3 \times 0,625$

Deslocamentos rotação dos diafragmas em rad $\times 10^{-5}$

① = VLASSOV

② = UMANSKY-BENSCOTER (sem a correção de MICHAEL)

③ = PROGRAMA

FIGURA V.2.1 - Núcleo analisado por RUTENBERG e
co-autores (comparação de resultados)

V.3 - EXEMPLO NÚMERO 3

O exemplo apresentado neste item é de um modelo analisado e ensaiado por TSO e BISWAS¹⁸ e para efeito de comparação também examinado por RUTENBERG e co-autores^{20,21} e KWAN³⁹. A figura V.3.1 mostra o núcleo ensaiado e os resultados obtidos para as rotações dos diafragmas.

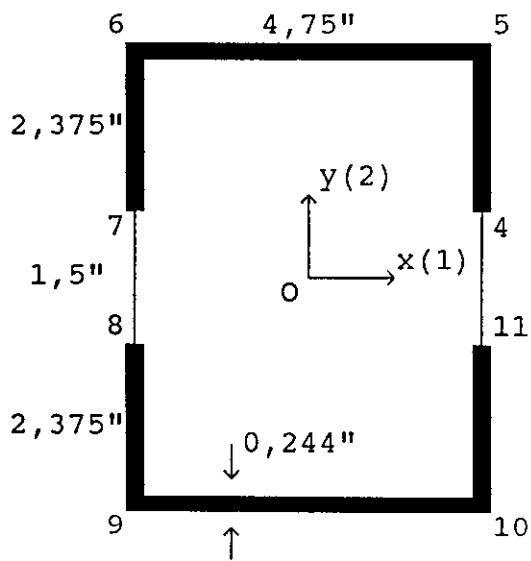
Como já foi discutido no exemplo anterior, os processos contínuos que se baseiam na teoria de VLASSOV, por superestimarem a rigidez do núcleo apresentam valores menores para os deslocamentos, conforme pode ser observado no gráfico.

Os resultados obtidos pelo programa superam os resultados experimentais e os calculados usando a teoria de UMANSKY-BENSCOTER em aproximadamente 12 e 6% respectivamente. Entretanto, o modelo ensaiado é reforçado nas ligações lintel/parede com uma "mísula dupla" de forma circular com raio de 0,125". Isto certamente altera a rigidez dos lintéis enrijecendo o conjunto.

Este exemplo teve a finalidade de comparar resultados com um modelo ensaiado de ampla aceitação entre os pesquisadores. A comparação com resultados experimentais é problemática, pois poucos ensaios foram realizados e divulgados, sempre com geometria e carregamento simples, pois aparentemente foram concebidos para comparações com resultados teóricos usando procedimento contínuo. Os modelos matemáticos mais

sofisticados usando elementos finitos, chegam em geral a resultados maiores para os deslocamentos que os obtidos por processos contínuos.

Os resultados teóricos usando E.F. e incorporando a "correção de MICHAEL" não estão disponíveis nos artigos de RUTENBERG para este exemplo, mas certamente produziriam resultados maiores para os deslocamentos que os da curva 2, reforçando a opinião do autor, que o modelo ensaiado por ter mísulas duplas nas ligações lintéis/paredes é mais rígido que os modelos teóricos que não consideram este reforço.



8 pontos nodais

6 painéis

20 andares com $h = 2,45''$

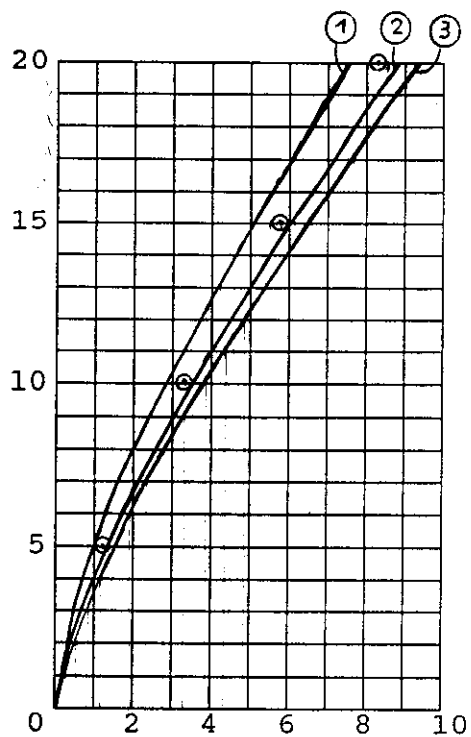
Lintéis: $0,244'' \times 0,375''$

$E = 4,3 \times 10^5$ psi

$\nu = 0,34375$

Carga: momento torçor
concentrado no topo de
 $200 \text{ lb} \times \text{in.}$

a) Planta e dados.



① = VLASSOV

② = UMANSKY-BENSCOTER

③ = PROGRAMA

⊙ = RESULTADOS
EXPERIMENTAIS

b) Deslocamentos rotação dos diafragmas em rad x 10⁻³

FIGURA V.3.1 - Núcleo ensaiado por TSO e BISWAS.

(comparação de resultados)

V.4 - EXEMPLO NÚMERO 4.

Este exemplo com carregamento horizontal foi analisado primeiramente por STAFFORD SMITH e TARANATH²³ usando processo contínuo baseado na teoria de Vlassov e posteriormente os resultados foram comparados nos trabalhos de KHAN e STAFFORD SMITH²², BARBOSA⁴³ e MacLEOD e HOSNY³⁶.

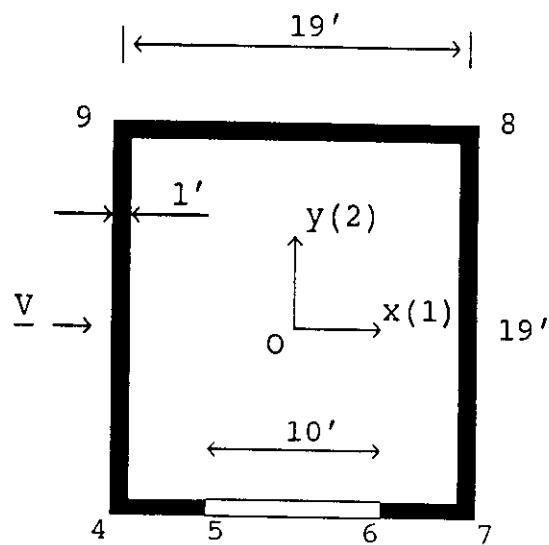
Este núcleo foi analisado com e sem lintel. Os resultados obtidos no caso do núcleo aberto são muito próximos, independente do processo usado, motivo pelo qual apenas os resultados do núcleo parcialmente fechado serão apresentados.

Como nos exemplos anteriores, os resultados obtidos por processos que se baseiam na teoria de VLASSOV superestimam a rigidez do núcleo. A diferença entre os resultados é de aproximadamente 14% para os deslocamentos angulares e 12% para os lineares. Por considerar os efeitos do cisalhamento nas deformações - importantes nos núcleos parcialmente fechados - julga-se os resultados obtidos pelo programa desenvolvido neste trabalho mais realista.

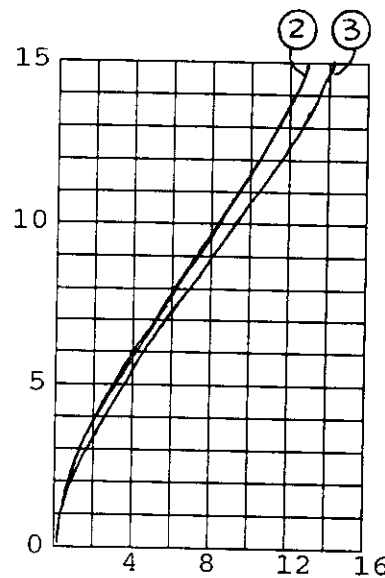
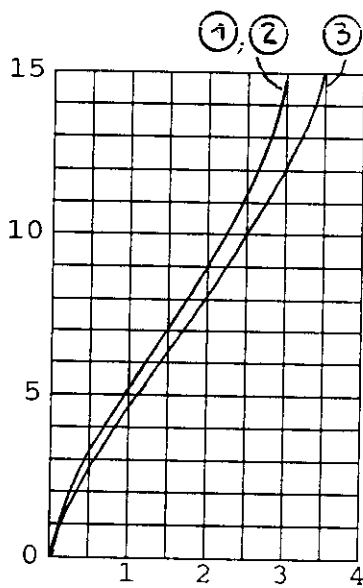
BARBOSA⁴³ analisou esta estrutura por processo contínuo e discreto. No processo discreto baseado no artigo de HEIDEBRECHT e SWIFT²⁷, o segmento de núcleo entre dois andares é considerado como um membro linear, com a inclusão de um sétimo deslocamento em cada

extremidade para considerar o empenamento. O coeficiente de rigidez correspondente a este deslocamento é obtido usando a teoria de Vlassov. Os resultados obtidos pelos dois processos praticamente coincidem, pois ambos negligenciam a deformação por força cortante. A técnica discreta usada é interessante e poderia ser aperfeiçoada, se os coeficientes de rigidez fossem determinados usando teorias mais apropriadas para seções delgadas parcialmente fechadas.

Os resultados para o mesmo núcleo obtidos por MacLEOD e HOSNY³⁶ usando um processo discreto que substitui os segmentos de parede por dois tipos de modelo, conforme estejam ou não conectados com lintéis, resultam em uma curva que se desenvolve entre as curvas 1,2 e 3 da figura V.4.1 e até onde foi possível obter valores confiáveis na curva apresentada no artigo ela se encontra bastante próxima da curva 3.



6 pontos nodais
 15 andares com $h = 12,5'$
 Lintéis de $1' \times 1,5'$
 $E = 5,76 \times 10^5$ kip/sq.ft
 $\nu = 0,15$
 Carga na direção x
 $V = 1,25$ kip/ft.



b) Rotações em $\text{rad} \times 10^{-3}$ c) Deslocamentos x em $\text{ft} \times 10^{-2}$

① = S. SMITH

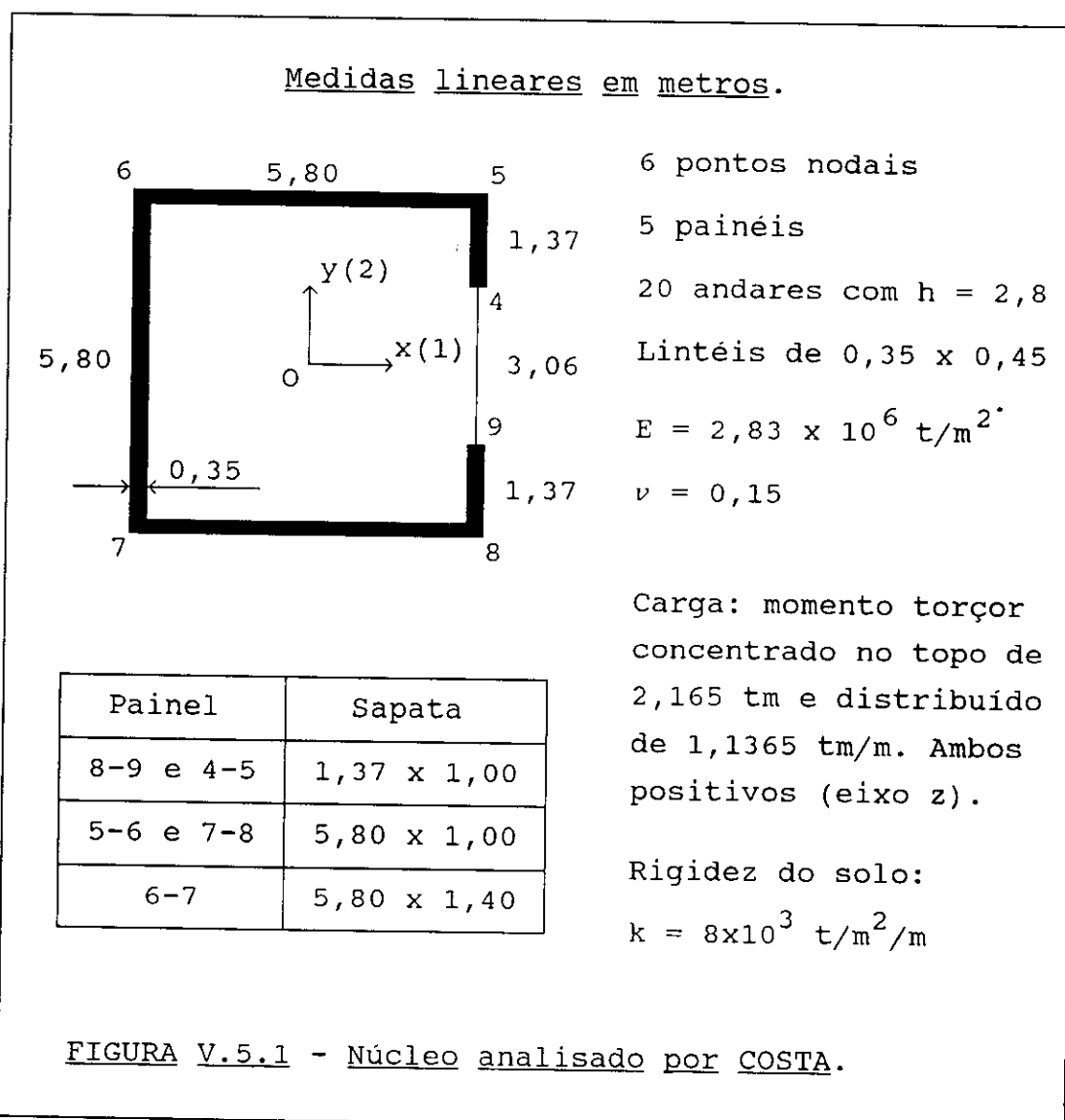
② = BARBOSA

③ = PROGRAMA

FIGURA V.4.1 - Núcleo analisado por STAFFORD SMITH e TARANATH (comparação de resultados)

V.5 - EXEMPLO NÚMERO 5

Neste exemplo serão considerados os efeitos da fundação elástica em um núcleo também analisado por COSTA⁴⁴. A comparação de resultados será feita entre os obtidos por COSTA usando processo contínuo baseado na teoria de VLASSOV e o processo discreto desenvolvido neste trabalho.



Na consideração da fundação elástica foram feitas as seguintes hipóteses:

- a) o solo possui o mesmo comportamento à tração e à compressão;
- b) a pressão do solo é constante na largura da sapata;
- c) não há interação entre sapatas.

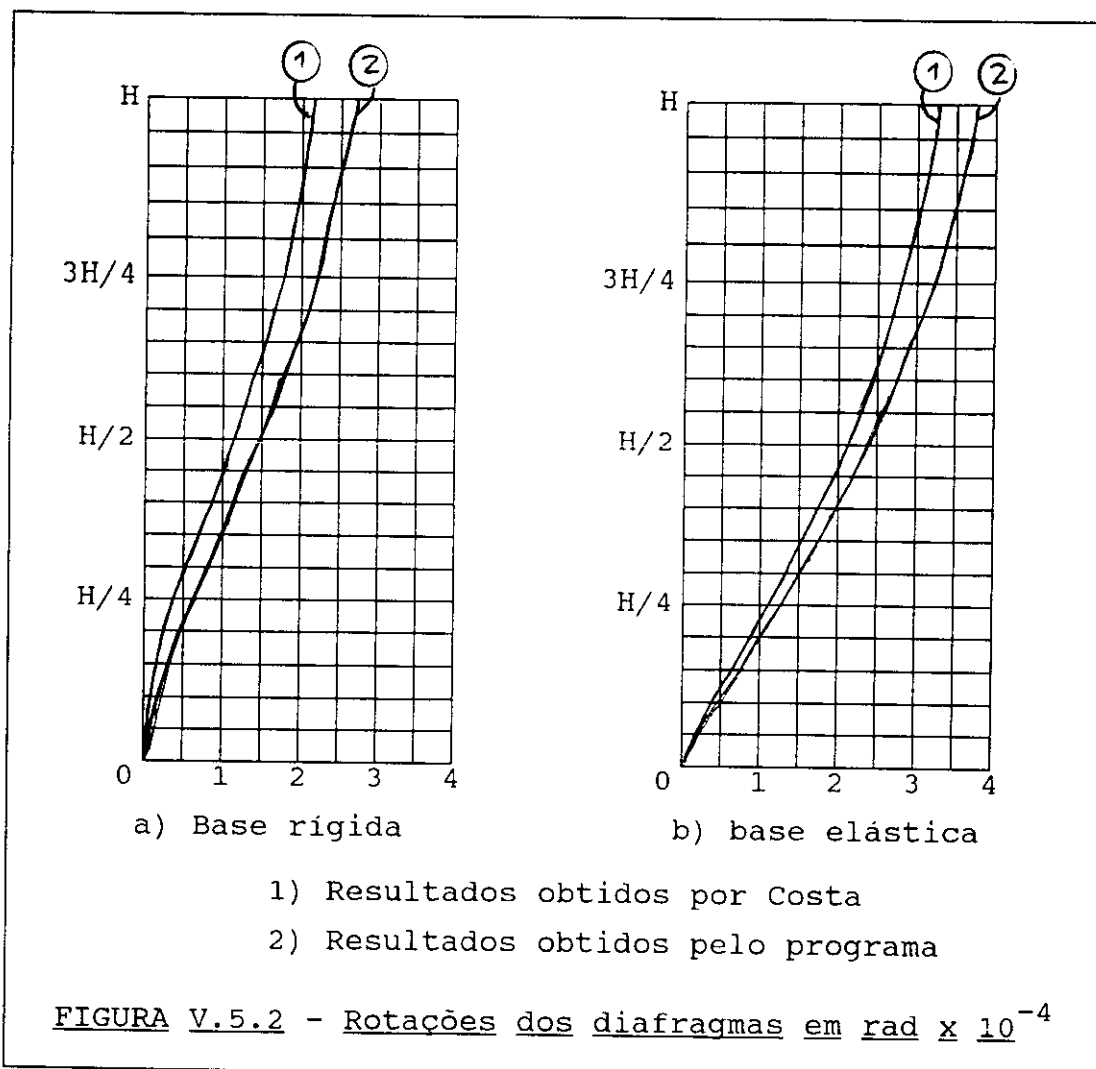
Com estas hipóteses a rigidez à translação vertical e ao giro das sapatas valem os valores indicados na tabela V.5.1.

TABELA V.5.1 - Coeficientes de rigidez das sapatas.

Sapata Rigidez	8-9	4-5	5-6	6-7	7-8
vertical (t/m)	10960	10960	46400	64960	46400
ao giro (t)	1714	1714	130075	182105	130075

A figura V.5.2 mostra os resultados obtidos para as rotações dos diafragmas, pelos dois processos, para os casos de fundação rígida e flexível. A tabela V.5.2 lista os valores numéricos representados na figura V.5.2 e as tabelas V.5.3 até V.5.11 os resultados obtidos para o esforço cortante nos lintéis, força normal, força cortante e momento fletor nas alturas médias dos andares para os painéis 4-5, 5-6 e 6-7. Os valores do processo proposto por Costa foram obtidos programando-se as expressões apresentadas em seu trabalho, uma vez que os resultados fornecidos em sua dissertação são aos níveis

dos diafragmas. Nos andares intermediários, apenas os de número par tiveram seus resultados reproduzidos nas tabelas.



Os resultados obtidos por COSTA para as rotações dos diafragmas, por serem baseados na teoria de Vlassov, são menores que os correspondentes deslocamentos obtidos pelo processo discreto proposto. Em sua dissertação de mestrado COSTA compara seus resultados com os obtidos por

processo discreto usando o modelo proposto por YAGUI. Entretanto, não obstante no texto apresente as expressões para os coeficientes de rigidez da coluna e lintéis conforme obtidas por YAGUI, que considera a deformação por força cortante, para efeito de comparação dos resultados COSTA executa o programa desprezando os seus efeitos, naturalmente superestimando também no processo discreto a rigidez do núcleo.

O tratamento discreto possibilita na opinião do autor uma solução mais realista no caso dos núcleos sobre base elástica. A análise do tipo de fundação que será usada pode conduzir a formulações de hipóteses diferentes daquelas adotadas no exemplo apresentado. Todas as coordenadas da base do núcleo, inclusive as três primeiras, com pequenas alterações no programa podem aceitar vínculos elásticos e recalques. Os coeficientes de rigidez destes vínculos podem ser determinados em um estudo global do núcleo, tipo de fundação e rigidez do solo e não sapata por sapata supondo que não há interação entre elas.

TABELA V.5.2 - ROTAÇÕES DOS DIAFRAGMAS em rad x 10⁻⁴

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	2,236	2,750	3,366	3,797
19	2,156	2,664	3,279	3,704
18	2,074	2,575	3,189	3,606
16	1,894	2,373	2,991	3,386
14	1,686	2,135	2,760	3,124
12	1,446	1,856	2,486	2,812
10	1,176	1,539	2,167	2,446
8	0,883	1,193	1,800	2,029
6	0,585	0,834	1,392	1,563
4	0,308	0,486	0,946	1,058
3	0,188	0,330	0,713	0,796
2	0,091	0,192	0,476	0,530
1	0,025	0,082	0,237	0,264
0	0	0	0	0

TABELA V.5.3 - FORÇA CORTANTE NOS LINTÉIS (t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	-0,622	-0,549	-0,683	-0,597
19	-0,633	-0,589	-0,706	-0,642
18	-0,662	-0,618	-0,747	-0,674
16	-0,757	-0,715	-0,871	-0,785
14	-0,879	-0,834	-1,030	-0,930
12	-1,004	-0,954	-1,208	-1,093
10	-1,111	-1,057	-1,391	-1,259
8	-1,171	-1,118	-1,565	-1,417
6	-1,151	-1,108	-1,718	-1,552
4	-1,002	-0,986	-1,829	-1,647
3	-0,859	-0,866	-1,862	-1,672
2	-0,654	-0,690	-1,875	-1,675
1	-0,374	-0,450	-1,862	-1,661
0	-0,000	-0,052	-1,844	-1,565

TABELA V.5.4 - FORÇA NORMAL A MEIA ALTURA DOS ANDARESPAINEL 4-5 (em t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	-0,330	-0,722	-0,368	-0,796
19	-0,877	-1,079	-0,992	-1,212
18	-1,293	-1,475	-1,490	-1,685
16	-1,799	-1,942	-2,192	-2,331
14	-1,939	-2,059	-2,595	-2,689
12	-1,735	-1,839	-2,769	-2,813
10	-1,152	-1,248	-2,746	-2,722
8	-0,089	-0,189	-2,521	-2,401
6	1,641	1,509	-2,055	-1,797
4	4,341	4,130	-1,267	-0,815
3	6,194	5,975	-0,712	-0,120
2	8,483	8,546	-0,018	0,746
1	11,309	13,971	0,843	2,311

TABELA V.5.5 - FORÇA NORMAL A MEIA ALTURA DOS ANDARESPAINEL 5-6 (em t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	0,084	0,335	0,093	0,365
19	0,223	0,311	0,252	0,343
18	0,329	0,435	0,379	0,487
16	0,457	0,553	0,557	0,649
14	0,493	0,583	0,660	0,738
12	0,441	0,529	0,704	0,768
10	0,293	0,383	0,698	0,746
8	0,023	0,123	0,641	0,667
6	-0,417	-0,295	0,523	0,518
4	-1,104	-0,952	0,322	0,273
3	-1,575	-1,487	0,181	0,080
2	-2,157	-2,567	0,005	-0,182
1	-2,875	-7,026	-0,214	-1,223

TABELA V.5.6 - FORÇA CORTANTE A MEIA ALTURA DOS ANDARES

PAINEL 4-5 (em t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	0,451	0,652	0,488	0,704
19	0,511	0,463	0,549	0,494
18	0,581	0,575	0,623	0,614
16	0,741	0,729	0,795	0,779
14	0,915	0,902	0,990	0,971
12	1,087	1,073	1,197	1,173
10	1,244	1,229	1,407	1,375
8	1,366	1,354	1,613	1,569
6	1,431	1,426	1,803	1,746
4	1,405	1,419	1,969	1,891
3	1,343	1,408	2,037	1,967
2	1,238	1,400	2,092	1,948
1	1,081	2,532	2,131	2,522

TABELA V.5.7 - FORÇA CORTANTE A MEIA ALTURA DOS ANDARES

PAINEL 5-6 (em t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	-0,425	-0,833	-0,514	-0,951
19	-0,001	0,086	-0,095	0,006
18	0,398	0,395	0,297	0,299
16	1,147	1,148	1,016	1,026
14	1,864	1,858	1,680	1,689
12	2,584	2,573	2,316	2,328
10	3,343	3,325	2,944	2,967
8	4,184	4,154	3,584	3,624
6	5,166	5,112	4,259	4,325
4	6,368	6,265	4,997	5,103
3	7,088	6,876	5,400	5,493
2	7,913	7,496	5,836	6,078
1	8,867	5,841	6,311	5,485

TABELA V.5.8 - FORÇA CORTANTE A MEIA ALTURA DOS ANDARES
PAINEL 6-7 (em t)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	0,907	1,304	0,975	1,407
19	1,022	0,925	1,099	0,989
18	1,162	1,151	1,245	1,229
16	1,483	1,459	1,590	1,558
14	1,830	1,804	1,981	1,942
12	2,175	2,147	2,395	2,346
10	2,487	2,458	2,815	2,750
8	2,732	2,707	3,225	3,139
6	2,862	2,851	3,607	3,492
4	2,810	2,837	3,937	3,782
3	2,686	2,816	4,073	3,933
2	2,477	2,799	4,184	3,897
1	2,161	5,063	4,262	5,043

TABELA V.5.9 - MOMENTO FLETOR A MEIA ALTURA DOS ANDARES
PAINEL 4-5 (em tm)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	-0,034	-0,182	-0,038	-0,199
19	-0,090	-0,087	-0,101	-0,099
18	-0,132	-0,149	-0,152	-0,170
16	-0,184	-0,192	-0,224	-0,230
14	-0,198	-0,203	-0,265	-0,265
12	-0,177	-0,181	-0,283	-0,277
10	-0,118	-0,123	-0,281	-0,268
8	-0,009	-0,019	-0,258	-0,237
6	0,168	0,148	-0,210	-0,177
4	0,444	0,406	-0,130	-0,082
3	0,633	0,596	-0,073	-0,005
2	0,868	0,827	-0,002	0,042
1	1,157	1,466	0,086	0,377

TABELA V.5.10 - MOMENTO FLETOR A MEIA ALTURA DOS ANDARES

PAINEL 5-6 (em tm)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	-0,826	-0,024	-0,921	-0,050
19	-2,196	-3,154	-2,485	-3,523
18	-3,238	-3,789	-3,734	-4,322
16	-4,507	-5,049	-5,491	-6,046
14	-4,856	-5,352	-6,500	-6,970
12	-4,346	-4,789	-6,937	-7,288
10	-2,887	-3,271	-6,879	-7,053
8	-0,224	-0,553	-6,316	-6,229
6	4,110	3,803	-5,149	-4,680
4	10,874	10,551	-3,174	-2,136
3	15,515	15,206	-1,783	-0,481
2	21,251	22,628	-0,046	2,478
1	28.330	37.688	2.112	3.876

TABELA V.5.11 - MOMENTO FLETOR A MEIA ALTURA DOS ANDARES

PAINEL 6-7 (em tm)

NÍVEL	BASE RÍGIDA		BASE ELÁSTICA	
	COSTA	SERRA	COSTA	SERRA
20	0,907	0,347	1,011	0,403
19	2,412	3,454	2,729	3,855
18	3,556	4,210	4,101	4,793
16	4,950	5,584	6,030	6,673
14	5,334	5,915	7,138	7,683
12	4,773	5,300	7,618	8,030
10	3,171	3,641	7,555	7,774
8	0,245	0,672	6,937	6,873
6	-4,514	-4,087	5,655	5,181
4	-11,942	-11,471	3,486	2,401
3	-17,040	-16,643	1,958	0,558
2	-23,340	-25,110	0,050	-2,655
1	-31,114	-44,481	-2,320	-5,058

V.6 - EXEMPLO NÚMERO 6

Com o objetivo de verificar a influência da força normal e presença ou não de lintéis será analisado um núcleo de concreto armado - figura V.6.1 - que recebe em seu topo, através de uma treliça espacial, cargas verticais oriundas de pendurais de aço periféricos. O carregamento vertical foi avaliado considerando-se duas vezes o peso próprio do núcleo aplicado proporcionalmente em todas as coordenadas verticais e para simular o efeito das cargas provenientes dos pendurais periféricos, treliça e caixa d'água, será considerado três vezes seu peso próprio agindo nas coordenadas verticais do topo correspondentes às prumadas 4, 7, 8 e 9. Devido à ação do vento atua uma carga na direção x. A tabela V.6.1 reproduz os dados do carregamento resultante nas coordenadas do sistema conforme foi fornecido para o programa.

A figura V.6.2 mostra os deslocamentos rotação e na direção x dos diafragmas do núcleo aberto, isto é, sem lintéis. As curvas 1 fornecem os valores sem considerar a influência da força normal e as curvas 2 consideram os seus efeitos de segunda ordem. Os deslocamentos nos andares mais elevados considerando os efeitos da força normal, são em torno de 20% maiores que os correspondentes da curva 1. As tensões normais na seção transversal a dois metros da base, reproduzidas na tabela V.6.2, além de um pouco excessivas na aresta 5, chegam a trocar trocar de

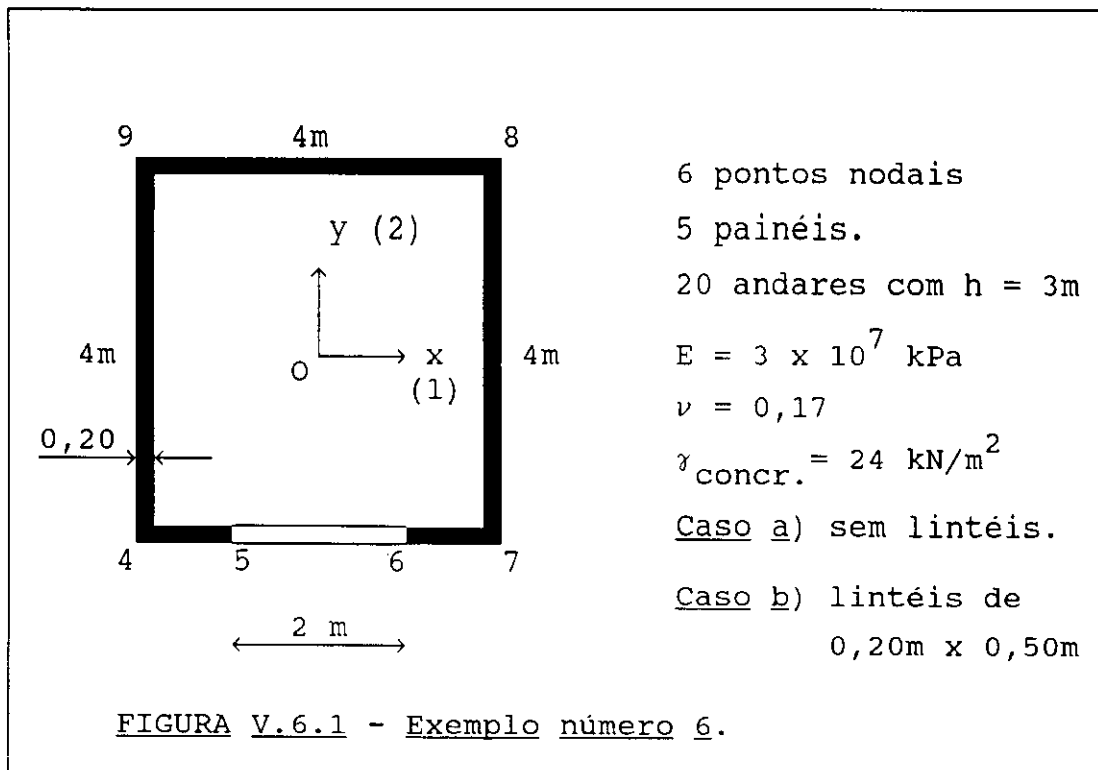


TABELA V.6.1 - Cargas nas coord. verticais do sistema (kN)

NÍVEL	COORDENADAS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	9	0	0	-36	-7,2	-7,2	-36	-57,6	-57,6
1	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
2	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
3	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
4	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
5	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
6	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
7	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
8	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
9	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
10	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
11	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
12	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
13	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
14	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
15	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
16	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
17	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
18	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
19	18	0	0	-72	-14,4	-14,4	-72	-115,2	-115,2
20	18	0	0	-3060	-7,2	-7,2	-3060	-3081,6	-3081,6

sinal nas vizinhanças das arestas 6 e 9. A consideração dos efeitos da força normal no caso do núcleo aberto resultou em tensões maiores na maior parte da seção.

A figura V.6.3 apresenta os mesmos deslocamentos para o caso do núcleo ser parcialmente fechado por lintéis de 0,20m x 0,50m. Nota-se claramente neste caso que as curvas são bastante próximas, apresentando uma variação máxima menor que 4%. As tensões normais a 2m da base, conforme tabela V.6.3, também pouco variam.

Os deslocamentos no caso do núcleo parcialmente fechado são muito menores que os correspondentes no núcleo aberto e os lintéis nitidamente têm um efeito de melhorar a distribuição de tensões, resultando em tensões menores e mais uniformes. Estes fatos são observados mesmo nos casos de lintéis pouco rígidos.

Nota-se que a presença de lintéis é favorável em todos os aspectos e a consideração dos efeitos de segunda ordem, que no caso dos núcleos abertos altera de modo sensível os resultados obtidos, pouco afetam os resultados no caso dos núcleos parcialmente fechados.

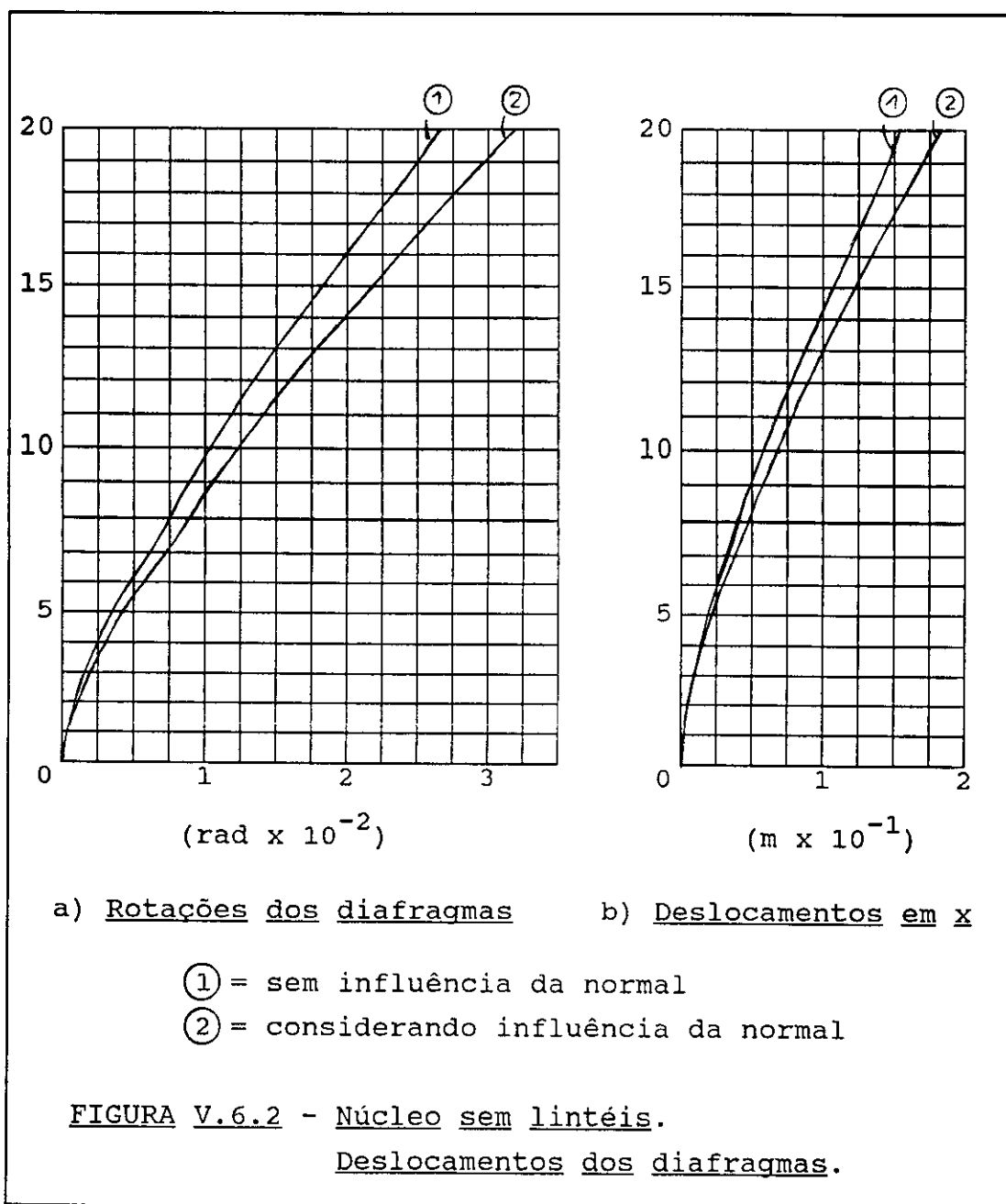


TABELA V.6.2 - Tensões normais a 2m da base em $\text{kN/m}^2 \times 10^{-3}$
 Núcleo sem lintéis

ARESTA	4	5	6	7	8	9
SEM NORMAL	-9,84	-18,40	+1,60	-7,13	-14,19	+1,95
COM NORMAL	-10,18	-19,79	+2,85	-6,97	-15,11	+2,98

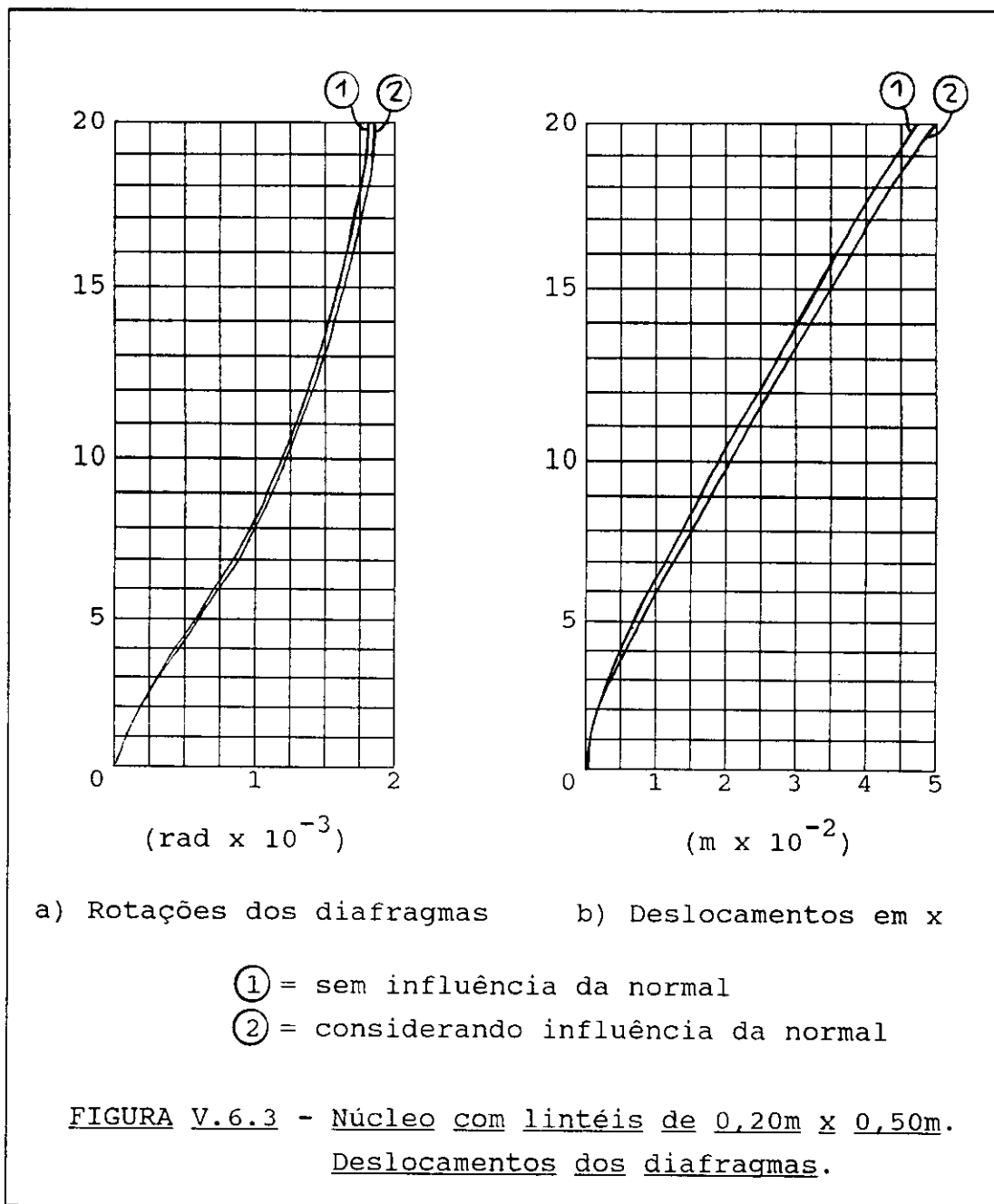


TABELA V.6.3 - Tensões normais a 2m a base em $\text{kN/m}^2 \times 10^{-3}$
Núcleo com lintéis

ARESTA	4	5	6	7	8	9
SEM NORMAL	-6,91	-9,28	-7,53	-10,06	-10,01	-2,23
COM NORMAL	-6,96	-9,37	-7,65	-10,23	-10,02	-2,05

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido neste trabalho para discretizar o elemento de parede, é formado por duas vigas horizontais rígidas à flexão, unidas por uma coluna central. Por considerar a deformação por força cortante dos segmentos de parede nas vigas horizontais e não nas colunas, a deformação por cortante nos lintéis pode ser considerada sem problemas de compatibilidade nos pontos de união com a parede.

Por permitir deformação por força cortante nas vigas, os resultados obtidos quando se analisa uma chapa ou um pilar parede são bastante satisfatórios, como pode ser visto no exemplo número 1.

Os dados da estrutura são preparados com extrema facilidade e os resultados fornecidos pelo programa, permitem uma análise franca e sem dificuldades do comportamento da estrutura. A compreensão do processo não requer conhecimento muito além daquele fornecido pela análise matricial.

Pelos resultados obtidos nos exemplos apresentados neste trabalho e outros analisados pelo autor, o processo é confiável e bastante geral, permitindo os mais diversos arranjos, como por exemplo o "núcleo" usado para exemplo no anexo 1.

Os efeitos de segunda ordem, sensíveis no caso de núcleos abertos, não alteram de maneira substancial na maioria das vezes os resultados caso o núcleo seja parcialmente fechado por lintéis.

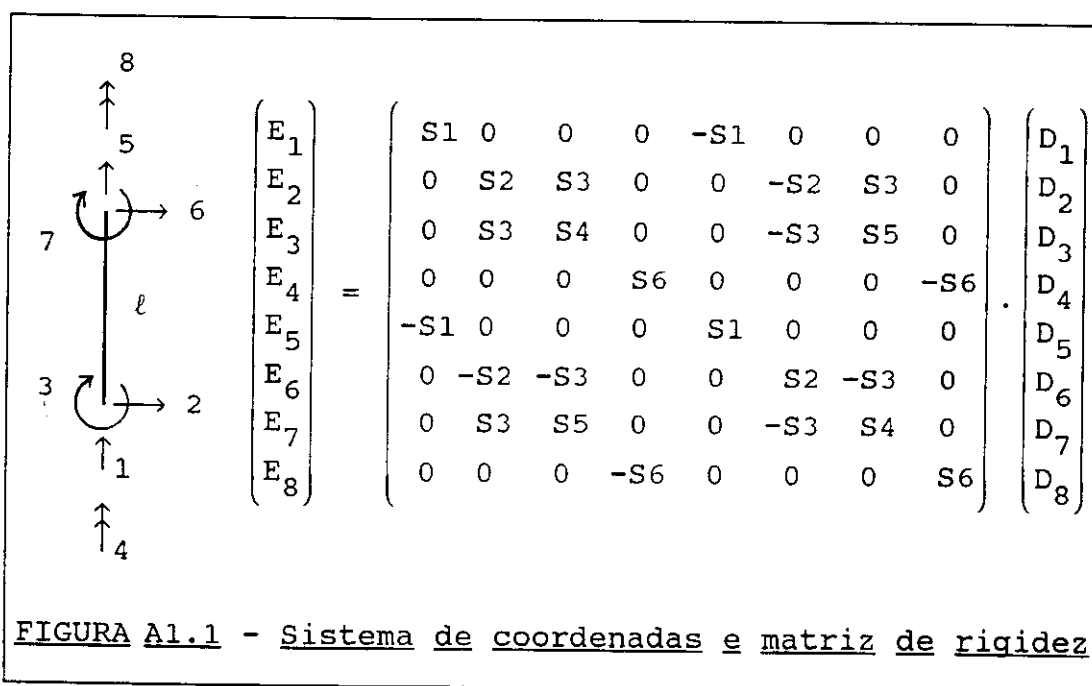
Com as hipóteses usuais admitidas para o caso de núcleos sobre fundações elásticas, o processo discreto permite solução simples e coerente. Em um projeto, o estudo particular das condições do solo e tipo de fundação adotada pode conduzir a pequenas alterações nas condições vinculares do núcleo - sempre ao nível do primeiro diafragma - para melhor simular a vinculação da estrutura. No que diz respeito ao programa propriamente dito, qualquer adaptação para atender casos particulares de vinculações pode ser executada com relativa facilidade.

Com a conclusão deste trabalho, que incorpora vários aperfeiçoamentos importantes quando confrontado com outros processos similares já divulgados e do conhecimento do autor, acredita-se que se tenha obtido um modelo versátil, eficiente e simples de ser usado na análise de núcleos estruturais de concreto armado.

ANEXO 1

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE RIGIDEZ DE UMA BARRA, CONSIDERANDO OS EFEITOS DO MOMENTO FLETOR, FORÇA CORTANTE, FORÇA NORMAL E MOMENTO TORÇOR.

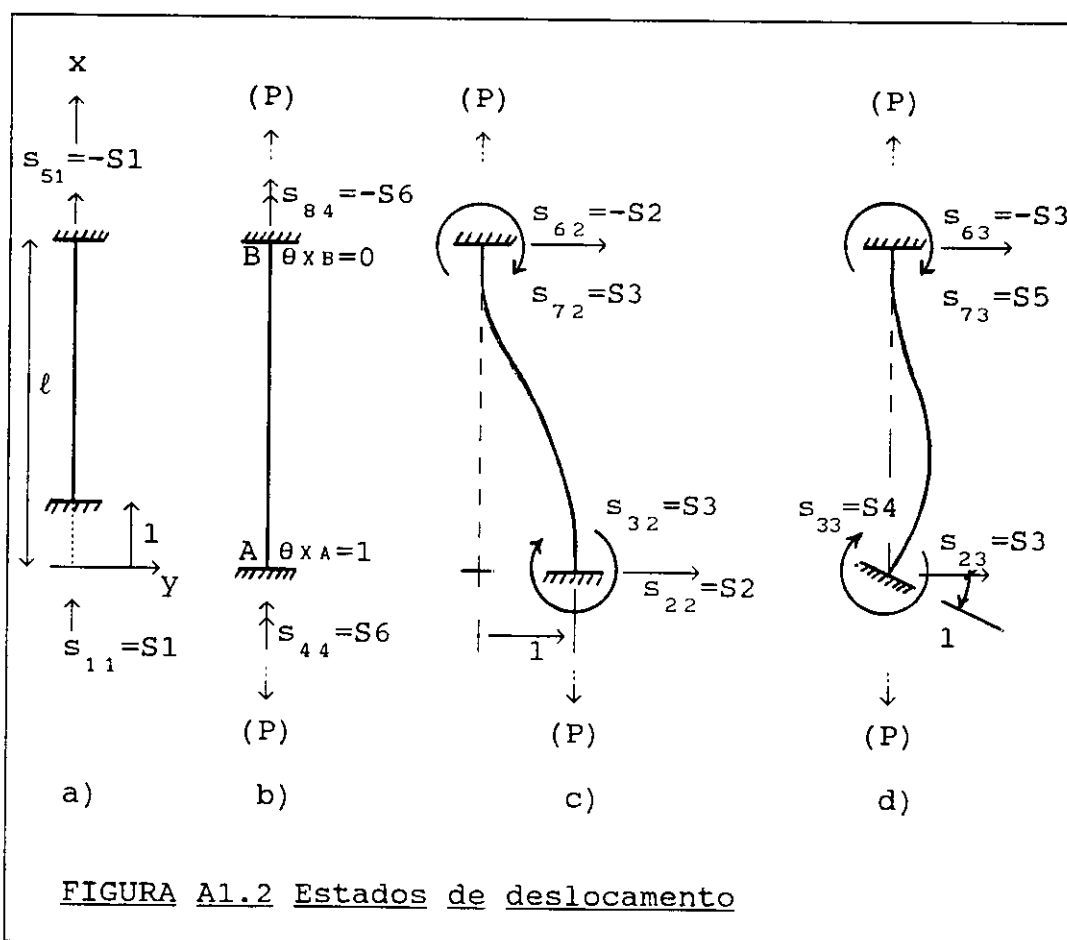
Seja a barra da figura A1.1, de seção prismática, com o sistema de coordenadas indicado. Por considerações de simetria, equilíbrio de esforços e aplicação do Teorema da Reciprocidade conclue-se que, para as oito coordenadas definidas a matriz de rigidez, que relaciona os deslocamentos D_i com os esforços E_i , tem a forma mostrada na figura A1.1, cujos valores não nulos foram denominados S_1, S_2, \dots, S_6 .



A figura A1.2, na qual apenas os valores não nulos estão indicados, ilustra os quatro "estados de deslocamento" básicos para a determinação dos coeficientes de rigidez.

Os coeficientes $s_{11} = -s_{51} = S1$, cujo valor é a rigidez axial da barra, naturalmente não se altera com a presença de um eventual esforço normal P . Usando a notação tradicional para as características da seção e elásticas do material resulta:

$$S1 = \frac{E A}{\ell} \quad (A1.1)$$



Os coeficientes $s_{44} = -s_{84} = S_6$ são afetados pelo valor da força normal P (positiva de tração). A equação relativa ao momento torçor vale^{45,46}:

$$(GJ_t + Pr^2)\theta' = M_{XB} \quad (A1.2)$$

Onde r é o raio de giração da seção transversal.

Chamando de θ_A e θ_B as rotações em torno do eixo x nas extremidades A e B respectivamente, resulta:

$$\theta' = \frac{\theta_B - \theta_A}{\ell}$$

$$M_{XB} = (\theta_B - \theta_A) \frac{GJ_t + Pr^2}{\ell}$$

Ou seja, para $\theta_A = 1$ e $\theta_B = 0$ tem-se:

$$s_{44} = -s_{84} = S_6 = \frac{GJ_t + Pr^2}{\ell} \quad (A1.3)$$

A constante de torção J_t vale para uma seção retangular de dimensões $b > t$ ⁴⁷:

$$J_t = C_1 \cdot b \cdot t^3 \quad (A1.4)$$

$$C_1 = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{192}{\pi^5} \frac{t}{b} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \operatorname{tgh} \frac{n\pi b}{2t} \right)$$

A série da expressão de C_1 converge rapidamente, e para $b/t > 1,2$ resulta aproximadamente:

$$C1 = \frac{1}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t}{b} \right) \quad (A1.5)$$

Portanto $S6$ é determinado pela expressão A1.3, com Jt e $C1$ calculados conforme A1.4 e A1.5.

A condição de equilíbrio de momentos aplicada nos estados de deslocamento das figuras A1.2 c) e d) resulta respectivamente:

$$S2 = \frac{2 \times S3 + P}{\ell} \quad (A1.6)$$

$$S5 = S3 \times \ell - S4 \quad (A1.7)$$

Conclue-se portanto que o cálculo de $S1$, $S3$, $S4$ e $S6$ é suficiente para a montagem da matriz de rigidez. A figura A1.3 repete o estado de deslocamento da figura A1.2 d).

O valor de $S3$ e $S4$ depende do sentido do esforço normal P que influe no valor do momento fletor e sua derivada, esforço cortante. Independente do valor e sentido de P , a diferença entre o giro ϕ da seção transversal e a inclinação θ da linha elástica é a distorção γ , ou seja:

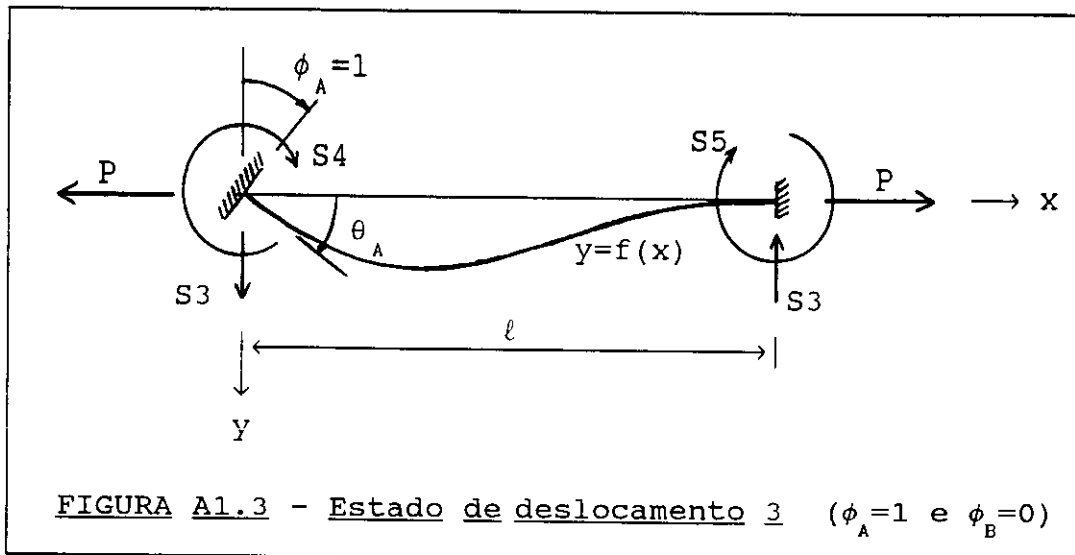
$$y' = \theta = \phi + \gamma \quad (A1.8)$$

$$\gamma = \frac{cQ}{GA} \quad (A1.9)$$

Onde c é o fator de forma. Substituindo A1.9 em A1.8, derivando a expressão obtida e lembrando que $\phi' = -M/EI$, resulta:

$$y' = \phi + \frac{cQ}{GA} \quad (A1.10)$$

$$y'' = -\frac{M}{EI} + \frac{c}{GA} \left(\frac{dQ}{dx} \right) \quad (A1.11)$$



A1.1 - CASO $P = \text{ZERO}$.

$$M = S4 - S3x \quad (A1.12)$$

$$Q = \frac{dM}{dx} = -S3 \quad (A1.13)$$

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (A1.14)$$

Com estes valores A1.10 e A1.11 ficam:

$$y' = \phi + \frac{cS3}{GA} \quad (A1.15)$$

$$y'' = -\frac{S4}{EI} + \frac{S3}{EI} x \quad (A1.16)$$

A aplicação da expressão A1.16 para $x=0$ e $x=l$ resulta:

$$Y''_{(0)} = \frac{S_4}{EI} \quad (A1.17)$$

$$Y''_{(l)} = -\frac{S_4}{EI} + \frac{S_3 l}{EI} \quad (A1.18)$$

Derivando duas vezes a equação A1.16, obtém-se:

$$y^{IV} = 0$$

Solução geral: $y = C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x + C_4 \quad (A1.19)$

$$y' = 3C_1 x^2 + 2C_2 x + C_3 \quad (A1.20)$$

$$y'' = 6C_1 x + 2C_2 \quad (A1.21)$$

A equação A1.21 aplicada em $x=0$ e $x=l$ comparada com A1.17 e A1.18 fornece os valores de C_1 e C_2 em função de S_3 e S_4 :

$$C_2 = -\frac{S_4}{2EI} \quad (A1.22)$$

$$C_1 = \frac{S_3}{6EI} \quad (A1.23)$$

As condições de contorno fornecem, juntamente com a equação A1.15:

$$Y(0) = 0 \quad \longrightarrow \quad C1 = 0 \quad (A1.24)$$

$$Y(l) = 0 \quad \longrightarrow \quad C1l^3 + C2l^3 + C3l + C4 = 0 \quad (A1.25)$$

$$Y'(0) = \phi_A + \frac{CS3}{GA} \longrightarrow C3 = 1 + \frac{CS3}{GA} \quad (A1.26)$$

$$Y'(l) = \phi_B + \frac{CS3}{GA} \longrightarrow 3C1l^2 + 2C2l + C3 = 0 + \frac{CS3}{GA} \quad (A1.27)$$

Estas últimas seis equações formam um sistema com seis incógnitas, C1, C2, C3, C4, S3 e S4. Resolvendo para S3 e S4:

$$S3 = \frac{6EI}{\ell^2} \quad (A1.28)$$

$$S4 = (4 + k) \frac{EI'}{\ell} \quad (A1.29)$$

$$I' = \frac{I}{1 + k} \quad (A1.30)$$

$$k = \frac{12cEI}{GA\ell^2} \quad (A1.31)$$

Os valores de S2 e S5 são determinados pela aplicação de A1.6 e A1.7 respectivamente.

$$S2 = \frac{12EI'}{\ell^3} \quad (A1.32)$$

$$S5 = (2 - k) \frac{EI'}{\ell} \quad (A1.33)$$

A1.2 - CASO P DE COMPRESSÃO:

$$M = S_4 - S_3x + Py \quad (\text{A1.34})$$

$$Q = -S_3 + Py' \quad (\text{A1.35})$$

$$\frac{dQ}{dx} = Py'' \quad (\text{A1.36})$$

Aplicando em A1.10 e A1.11 resulta:

$$y' = \phi - \frac{cS_3}{GA} + \frac{cP}{GA} y' \quad (\text{A1.37})$$

$$y'' = -\frac{S_4}{EI} + \frac{S_3}{EI} x - \frac{P}{EI} y + \frac{cP}{GA} y'' \quad (\text{A1.38})$$

Agrupando os termos semelhantes:

$$y' = \frac{1}{a} \left(\phi - \frac{cS_3}{GA} \right) \quad (\text{A1.39})$$

$$y'' = \frac{1}{aEI} (-S_4 + S_3x - Py) \quad (\text{A1.40})$$

$$a = 1 - \frac{cP}{GA} \quad (\text{A1.41})$$

Derivando duas vezes a equação A1.40:

$$y^I + \alpha^2 = 0 \quad (\text{A1.42})$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{P}{aEI}} \quad (\text{A1.43})$$

Solução geral: $y = C_1 \operatorname{sen}\alpha x + C_2 \operatorname{cos}\alpha x + C_3x + C_4$ (A1.44)

$$y' = \alpha C_1 \operatorname{cos}\alpha x - \alpha C_2 \operatorname{sen}\alpha x + C_3 \quad (\text{A1.45})$$

$$y'' = -\alpha^2 (C_1 \operatorname{sen}\alpha x + C_2 \operatorname{cos}\alpha x) \quad (\text{A1.46})$$

As expressões A1.40 e A1.45 aplicadas para $x = 0$ e $x = \ell$ fornecem, usando o valor de P obtido em A1.43:

$$C_2 = \frac{S_4}{P} \quad (A1.47)$$

$$C_1 = \frac{-S_3 \ell + S_4 (1 - \cos \alpha \ell)}{P \operatorname{sen} \alpha \ell} \quad (A1.48)$$

Condições de contorno:

$$Y_{(0)} = 0 \rightarrow C_2 + C_4 = 0 \quad (A1.49)$$

$$Y_{(\ell)} = 0 \rightarrow C_1 \operatorname{sen} \alpha \ell + C_2 \cos \alpha \ell + C_3 \ell + C_4 = 0 \quad (A1.50)$$

$$Y'_{(0)} = \frac{1}{a} - \frac{cS_3}{aGA} \rightarrow \alpha C_1 + C_3 = \frac{1}{a} - \frac{cS_3}{aGA} \quad (A1.51)$$

$$Y'_{(\ell)} = -\frac{cS_3}{aGA} \rightarrow \alpha C_1 \cos \alpha \ell - \alpha C_2 \operatorname{sen} \alpha \ell + C_3 = -\frac{cS_3}{aGA} \quad (A1.52)$$

Analogamente ao caso $P=0$, as seis últimas equações formam um sistema com seis incógnitas. Eliminando C_1 , C_2 , C_3 e C_4 , resulta:

$$\alpha (1 - \cos \alpha \ell) S_4 + \left(\frac{\operatorname{sen} \alpha \ell}{a} - \alpha \ell \right) S_3 = \frac{P \operatorname{sen} \alpha \ell}{a} \quad (A1.53)$$

$$2\alpha (1 - \cos \alpha \ell) S_4 - \alpha \ell (1 - \cos \alpha \ell) S_3 = \frac{P \operatorname{sen} \alpha \ell}{a} \quad (A1.54)$$

Resolvendo por substituição e lembrando que $P = \alpha^2 aEI$, resulta:

$$S3 = EI \frac{a\alpha^2 \text{sen}\alpha l}{2\text{sen}\alpha l - a\alpha \text{cos}\alpha l - a\alpha l} \quad (\text{A1.55})$$

$$S4 = EI \frac{\alpha(\text{sen}\alpha l - a\alpha \text{cos}\alpha l)}{2 - 2\text{cos}\alpha l - a\alpha \text{sen}\alpha l} \quad (\text{A1.56})$$

Para que o denominador das expressões acima se tornem iguais, multiplica-se o numerador e denominador da expressão de S3 pelo fator $(1 - \text{cos}\alpha l)$, obtendo:

$$S3 = EI \frac{a\alpha^2(1 - \text{cos}\alpha l)}{2 - 2\text{cos}\alpha l - a\alpha \text{sen}\alpha l} \quad (\text{A1.57})$$

Os valores de S3 e S4 aplicados em A1.6 e A1.7 fornece:

$$S2 = EI \frac{a^2 \alpha^3 \text{sen}\alpha l}{2 - 2\text{cos}\alpha l - a\alpha \text{sen}\alpha l} \quad (\text{A1.58})$$

$$S5 = EI \frac{\alpha(a\alpha l - \text{sen}\alpha l)}{2 - 2\text{cos}\alpha l - a\alpha \text{sen}\alpha l} \quad (\text{A1.59})$$

A1.3 - CASO P DE TRAÇÃO:

$$M = S4 - S3x - Py \quad (\text{A1.60})$$

$$Q = -S3 - Py' \quad (\text{A1.61})$$

$$\frac{dQ}{dx} = -Py'' \quad (\text{A1.62})$$

Neste caso, a equação diferencial vale:

$$y^{IV} - \alpha^2 y'' = 0 \quad (\text{A1.63})$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{P}{aEI}} \quad (\text{A1.64})$$

$$a = 1 + \frac{cP}{GA} \quad (\text{A1.65})$$

A solução geral é:

$$y = C_1 \sinh \alpha x + C_2 \cosh \alpha x + C_3 x + C_4 \quad (\text{A1.66})$$

$$y' = \alpha C_1 \cosh \alpha x + \alpha C_2 \sinh \alpha x + C_3 \quad (\text{A1.67})$$

$$y'' = \alpha^2 (C_1 \sinh \alpha x + C_2 \cosh \alpha x) \quad (\text{A1.68})$$

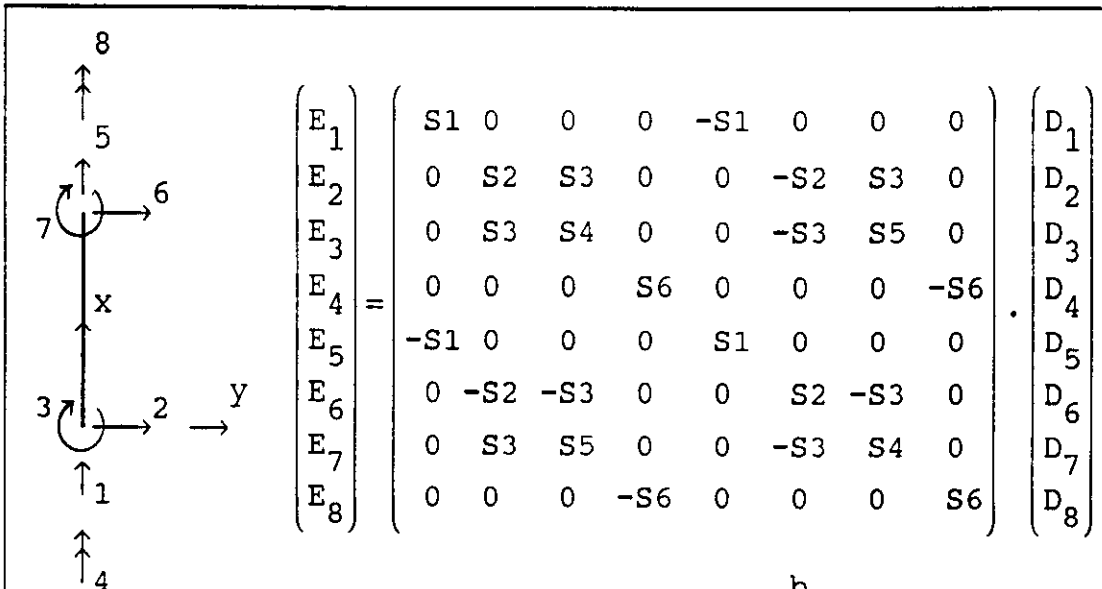
Procedendo analogamente ao caso anterior e lembrando que para as funções hiperbólicas vale a identidade $\cosh^2 \alpha x - \sinh^2 \alpha x = 1$, chega-se a:

$$S_3 = EI \frac{a\alpha^2 (\cosh \alpha l - 1)}{2 - 2\cosh \alpha l + a\alpha l \sinh \alpha l} \quad (\text{A1.69})$$

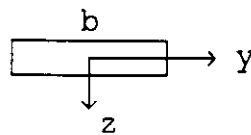
$$S_4 = EI \frac{\alpha (a\alpha l \cosh \alpha l - \sinh \alpha l)}{2 - 2\cosh \alpha l + a\alpha l \sinh \alpha l} \quad (\text{A1.70})$$

$$S_2 = EI \frac{a^2 \alpha^3 \sinh \alpha l}{2 - 2\cosh \alpha l + a\alpha l \sinh \alpha l} \quad (\text{A1.71})$$

$$S_5 = EI \frac{\alpha (\sinh \alpha l - a\alpha l)}{2 - 2\cosh \alpha l + a\alpha l \sinh \alpha l} \quad (\text{A1.72})$$



seção transversal:



$\frac{P}{S}$	Compressão ($P < 0$)	Zero	Tração ($P > 0$)
S1	$\frac{E A}{l}$	$\frac{E A}{l}$	$\frac{E A}{l}$
S2	$EI \frac{a^2 \alpha^3 \text{sen} \alpha l}{\phi_c}$	$\frac{12EI'}{l^3}$	$EI \frac{a^2 \alpha^3 \text{sen} \alpha l}{\phi_t}$
S3	$EI \frac{\alpha \alpha^2 (1 - \text{cos} \alpha l)}{\phi_c}$	$\frac{6EI'}{l^2}$	$EI \frac{\alpha \alpha^2 (\text{cosh} \alpha l - 1)}{\phi_t}$
S4	$EI \frac{\alpha (\text{sen} \alpha l - \alpha l \text{cos} \alpha l)}{\phi_c}$	$(4+k) \frac{EI'}{l}$	$EI \frac{\alpha (\alpha l \text{cosh} \alpha l - \text{sen} \alpha l)}{\phi_t}$
S5	$EI \frac{\alpha (\alpha \alpha l - \text{sen} \alpha l)}{\phi_c}$	$(2-k) \frac{EI'}{l}$	$EI \frac{\alpha (\text{sen} \alpha l - \alpha \alpha l)}{\phi_t}$
S6	$\frac{GJt + Pr^2}{l}$	$\frac{GJt}{l}$	$\frac{GJt + Pr^2}{l}$

$\phi_c = 2 - 2\text{cos} \alpha l - \alpha \alpha l \text{sen} \alpha l$

$\phi_t = 2 - 2\text{cosh} \alpha l + \alpha \alpha l \text{sen} \alpha l$

sen

$a = 1 + \frac{cP}{GA}$

$A = tb$

$I' = \frac{I}{1 + k}$

$I = tb^3/12$

$\alpha = \sqrt{\frac{|P|}{aEI}}$

$Jt = C1 \cdot bt^3$

$k = \frac{12cEI}{GA l^2}$

$c =$ fator de forma

$r^2 = I/A$

$C1 = \frac{1}{3} (1 - 0,63 \frac{t}{b})$

QUADRO A1.1 - Coeficientes de rigidez - formulário

ANEXO 2

CONTRIBUIÇÃO AO MODELO "YAGUI".

Com as alterações sugeridas no capítulo I seção I.3, ou sejam, considerar o fator de forma na coluna igual a 1; não considerar a deformação por cortante nos lintéis e usar o coeficiente sugerido por TIMOSHENKO para o cálculo da constante de torção J_t , vários exemplos foram calculados com o propósito de comparar os resultados obtidos pelo modelo "YAGUI clássico", "YAGUI modificado" e resultados obtidos por outros autores.

A rigidez relativa de um lintel é geralmente medida pela relação a/l , onde a é a altura da seção transversal do lintel e l o seu comprimento. Valores de a/l variando entre 0,2 e 0,5 foram usados nos exemplos. Naturalmente como era de se esperar, para os valores mais baixos de a/l os deslocamentos obtidos pelo modelo clássico do Prof. YAGUI e o modelo com as alterações sugeridas pouco variaram e para valores mais elevados de a/l , a variação nos resultados foi em torno de 20%. No que diz respeito a comparações com os resultados obtidos por outros autores, o modelo com as alterações sugeridas apresentou resultados bastante próximos com aqueles calculados pelas técnicas consideradas as mais apuradas.

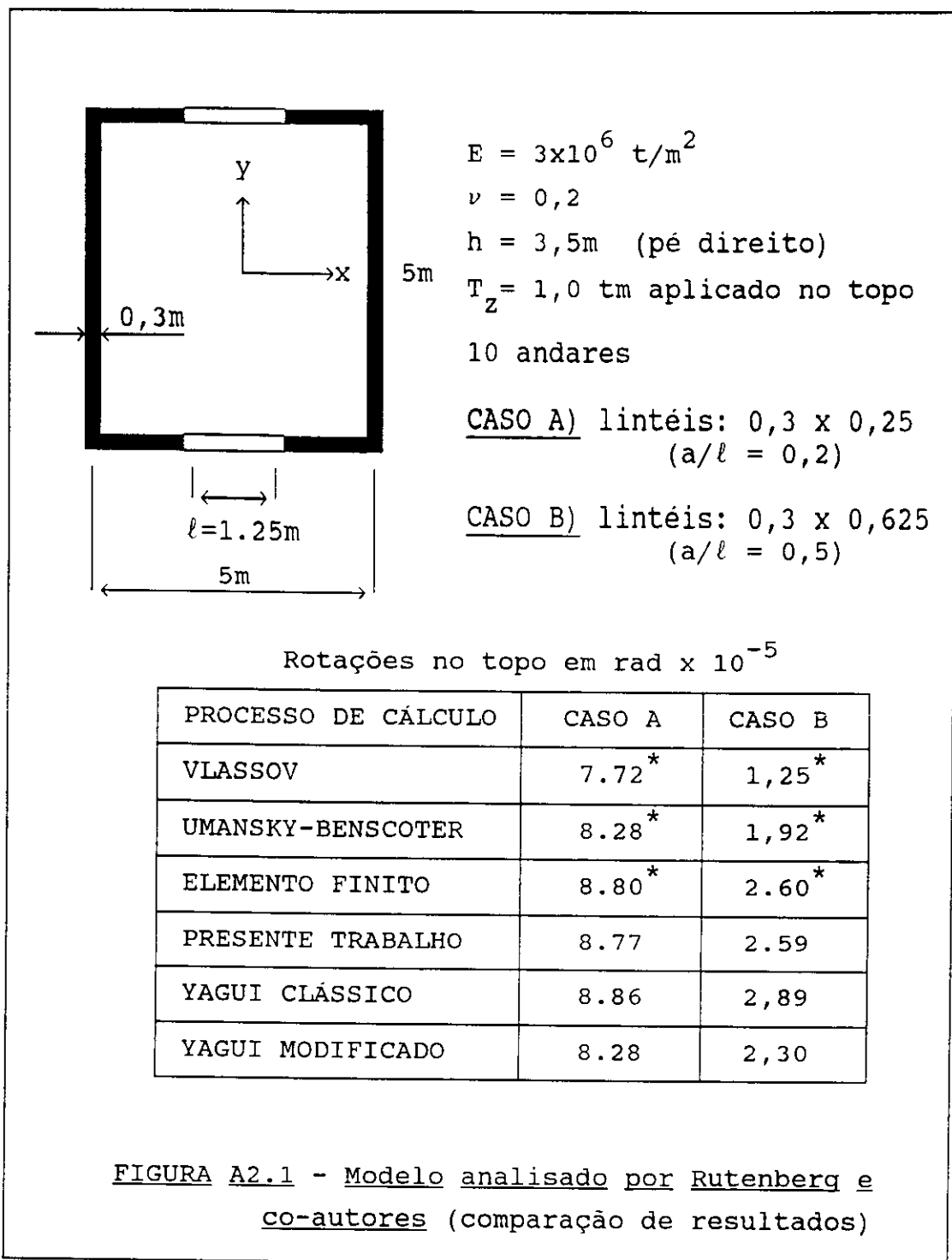
Para exemplificar retoma-se o núcleo do exemplo número 2 que foi analisado por RUTENBERG e co-autores²¹

usando vários processos. A figura A2.1 apresenta os resultados obtidos para as rotações no topo. Os resultados apresentados com asterisco foram obtidos graficamente (figuras 8,9 e 11 do artigo mencionado).

As discrepâncias nos resultados se acentuam conforme a rigidez do lintel aumenta. VLASSOV, por ignorar a deformação por força cortante nas paredes, considera a estrutura mais rígida, produzindo deformações menores e não é recomendado principalmente no caso de núcleos parcialmente fechados por lintéis "fortes". RUTENBERG considera a teoria de UMANSKY com as contribuições de BENSCOTER, um método bastante apropriado entre os processos de conexão contínua, não obstante os resultados obtidos sejam sistematicamente inferiores aos obtidos usando elementos finitos.

Os resultados apresentados por RUTENBERG usando a teoria de UMANSKY-BENSCOTER "incorporando a correção de MICHAEL", não foram possíveis de se obter com relativa precisão no gráfico, motivo pelo qual não foram explicitamente reproduzidos; porém está claro que os resultados reproduzidos graficamente apresentam valores superiores aos obtidos pela teoria de UMANSKY-BENSCOTER sem a citada correção e se aproximam bastante dos resultados obtidos usando a técnica dos elementos finitos.

A diferença entre "YAGUI clássico" e "YAGUI modificado" que no caso $a/l = 0,2$ (lintel fraco) se situa



em torno de 7%, supera 20% no caso $a/l = 0,5$ (lintel forte). O modelo clássico apresenta sempre valores numericamente maiores para os deslocamentos, aparentemente subestimando a rigidez do núcleo, reforçando a observação que a conexão parede-lintel deve receber um tratamento

cuidadoso. O modelo modificado em relação ao modelo desenvolvido neste trabalho, se mostrou um pouco mais rígido, cerca de 5% no caso A e 10% no caso B.

Como já foi mencionado, muitos exemplos foram usados para comparação de resultados. As conclusões sempre se mostraram similar às obtidas com o exemplo acima, motivo pelo qual sugere-se que os programas que usam o modelo YAGUI para discretizar as paredes sejam alterados em três itens para incorporarem as modificações aqui discutidas. Para isto, basta alterar o fator de forma para considerar a cortante nas colunas e lintéis para um e zero respectivamente e introduzir no cálculo da constante de torção da coluna o coeficiente C_1 , dado pela equação 1.2. Nenhum esforço adicional é necessário.

ANEXO 3

PROGRAMA

A3.1 - INTRODUÇÃO.

O programa foi escrito em uma versão do BASIC, denominada MS-DOS QBasic, linguagem bastante simples e suficientemente poderosa. Esta versão faz parte integrante dos pacotes MS-DOS 5 e 6. Durante a elaboração do programa, por ser uma linguagem interpretada e possuir um excelente ambiente de edição, o programador tem facilidade para correção, aperfeiçoamento e alterações, tanto no programa propriamente dito como nos bancos de dados dos exemplos. Após os testes habituais, quando se julga que o programa está na sua versão definitiva, ele pode ser compilado, passando então para versão executável que dispensa o prévio carregamento do Qbasic para seu funcionamento. Duas informações adicionais podem ser úteis para aqueles que não estão habituados com a linguagem BASIC e querem observar algum trecho do programa: as plicas (') significam que a seguir vem comentário que será ignorado pelo programa e o sinal de dois pontos (:), separa comandos, isto é, tem o mesmo efeito que uma mudança de linha.

A3.2 - NOTAÇÃO

A notação relevante, isto é, que não é restrita a um pequeno trecho do programa está gravada em um arquivo auxiliar

denominado NOTACAO.TXT. Na página 86 ela é reproduzida para eventuais consultas e por ser cópia fiel de arquivo (em ASCII), as palavras aparecem como lá, onde foram grafadas sem compromisso com acentuação e cedilhas.

A3.3 - PREPARAÇÃO DOS DADOS.

O programa inicia com uma tela, abaixo reproduzida, contendo informações sobre a montagem do arquivo de dados.

PROGRAMA <NUCLEO-S.BAS>	INSTRUcoes	J.L.SERRA
Os diafragmas e andares sao numerados de baixo para cima. Os dados devem estar em um arquivo na sequencia:		
a) Uma linha com nome conveniente para o exemplo		
b) Uma linha com observacoes, unidades, etc..		
c) Elasticidade, Poisson (dos paineis)		1 linha
d) NJ, NP, NA, NL		1 linha
e) K, X(K), Y(K)		NJ linhas
f) IP, JJ(IP), JK(IP), RT(IP), RV(IP)		NP linhas
g) IA, H(IA), T(IA,IP) (IA=1 ate NA, IP=1 ate NP)		NA linhas
h) L, EL(L), POL(L), J1(L), J2(L), IEL(L)		1 linha
i) I, BL(I,L), AL(I,L)		NF linhas
j) A(I) (Cargas: NF linhas com 3 + NJ dados cada)		
Repetir os itens h), i) NL vezes	Tolerancia=0 nao altera [S]	
Arquivo com os dados	? EXEMPLO.DAT	
Arquivo p/os resultados	? EXEMPLO.RES	
Tolerancia em % nas normais ...	? 2	

Os dados são separados por vírgulas ou mudança de linha não havendo necessidade de formatá-los. Os espaços em branco situados entre vírgulas e numerais são ignorados, tornando-se uma opção para melhorar o padrão visual do banco de dados. No exemplo deste capítulo vários dados foram

fornecidos em grupos, sem mudança de linha, para ilustrar esta liberdade.

No exemplo procurou-se ser abrangente. Tem-se vários tipos de lintéis no que diz respeito às condições de extremidade; o lintel número 1 por exemplo é do tipo articulado/engastado (IEL = 1). Caso se altere sua orientação, passará a ser do tipo 2 (IEL = 2 ou engastado/articulado).

As informações do quadro acima reproduzido, embora limitadas a uma tela, contém resumidamente as informações necessárias para se preparar os dados de um núcleo. Ao fornecer os dados do carregamento, que devem estar na seqüência das coordenadas do sistema, deve-se levar em conta que as últimas n_p coordenadas de cada diafragma referem-se às rotações das fibras verticais e naturalmente não há na prática, necessidade de se prever cargas externas segundo essas direções. Assim, apenas as cargas nas direções x, y, z (ou $1, 2, 3$) e as verticais aplicadas nos pontos nodais dos diafragmas devem ser fornecidas.

O programa principal, praticamente só define as variáveis comuns (globais), dimensiona as matrizes e gerencia a chamada das subrotinas. Uma olhada nesta parte inicial do programa mostra a lógica usada no fluxo do programa.

Em algumas linhas da listagem do programa existem comandos realmente desnecessários, feitos com a finalidade da linha anterior ou posterior não ultrapassar um limite de comprimento estabelecido para não prejudicar eventuais encadernações. Por este motivo, o quadro mostrado na

sub-rotina "Instrucoes" está truncado. O quadro completo é o reproduzido na página 83. Para as variáveis não inteiras o programa usa precisão dupla.

A3.4 - EXEMPLO.

A figura A3.1 mostra o núcleo usado como exemplo, para o qual serão apresentados os arquivos de entrada e saída.

O carregamento vertical é duas vezes o peso próprio, que para cada elemento de parede é dividido igualmente entre as quatro coordenadas verticais do modelo, assim como o dobro do peso próprio de um lintel se distribue igualmente entre suas coordenadas verticais. Ao longo da direção x atua uma pressão de $2,42 \text{ kN/m}^2$ correspondente a ação do vento. As dimensões se referem a linha do esqueleto e usou-se 25 kN/m^3 para peso específico do concreto.

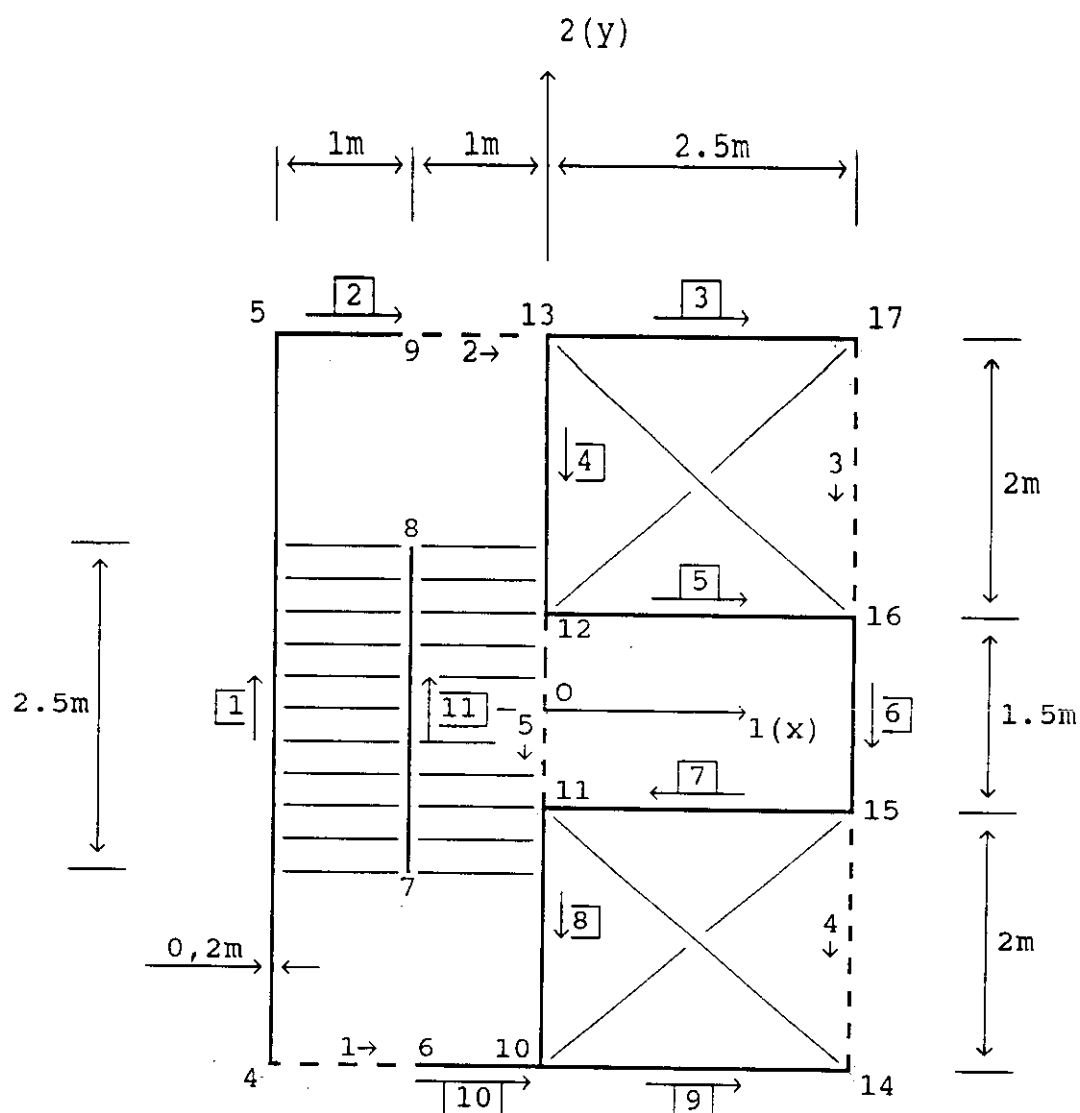
NOTACAO RELEVANTE DO PROGRAMA <NUCLEO.BAS> - ordem alfabetica

A) Inteiros e reais:

E	= modulo de elasticidade longitudinal das paredes
G	= modulo de elasticidade transversal das paredes
IVE	= indicador se o nucleo tem vinculo elastico
LBS	= largura superior da banda (= 2 * ND)
N	= numero total de desloc/os do sistema (= NF * ND)
NA	= numero de andares
NCICLOS	= numero de ciclos (p/considerar efeito de 2a ordem)
ND	= numero de desloca/os por diafragma (= 3 + NJ + NP)
NF	= numero de diafragmas (inclusive a base = NA + 1)
NJ	= numero de pontos nodais dos diafragmas
NL	= numero de prumadas de linteis
NP	= numero de paineis
PO	= coeficiente de POISSON das paredes
TOL	= tolerancia entre normais para encerrar ciclos

B) Vetores e matrizes:

A(N)	= vetor das acoes na estrutura
AL(NF,NL)	= altura da secao dos linteis
BL(NF,NL)	= base da secao dos linteis
BP(NP)	= largura dos paineis (cte para cada painel)
CFL(NL)	= fator de forma dos linteis de uma prumada
CO(NP)	= primeiro cosseno diretor dos paineis
EL(NL)	= modulo de elast. longitudinal dos linteis
GL(NL)	= modulo de elast. transversal dos linteis
H(NA)	= distancia entre diafragmas - altura dos andares
HL(NL)	= comprimento do linteis - igual em cada prumada
IEL(NL)	= cond. de extrem. dos linteis (1/2/3 = AE/EA/EE)
JJ(NP)	= no inicial do painel orientado
JK(NP)	= no final do painel orientado
J1(NL)	= no inicio da prumada de linteis
J2(NL)	= no fim da prumada de linteis
K1(NL)	= coord. rotacao a esquerda da prumada de linteis
K2(NL)	= coord. rotacao a direita da prumada de linteis
NVR(ND)	= contem os numeros das coordenadas rigidas
P(NA,NP)	= vetor com as forcas normais das colunas
PA(NA,NP)	= vetor auxiliar c/as normais do ciclo anterior
POL(NL)	= coef. de POISSON dos linteis - igual na prumada
R(NP)	= distancia do painel a origem (orientada)
RC(ND)	= contem as "reacoes" nos vinculos da base
RT(NP)	= rigidez ao giro da fundacao do painel (0=rigida)
RV(NP)	= rigidez vertical da fundacao do painel (0=rigida)
S(N,LSB)	= matriz de rigidez do sistema
SE(NP)	= segundo coseno diretor dos paineis
SL(4,NF,NL)	= contem os coeficientes de rigidez dos linteis
SK(9,NA,NP)	= contem os coeficientes de rigidez dos elementos
SR(ND,LSB)	= submatriz de [S] usada no calculo das reacoes
T(NA,NP)	= espessura dos paineis (permite variacao)
V(N)	= vetor deslocamentos do sistema
X(NJ),Y(NJ)	= coordenadas dos pontos nodais



14 pontos nodais (numerados a partir do 4)
 11 painéis, 18 andares, 5 prumadas de lintéis
 Seção dos lintéis: 0,20m x 0,40m
 Pé direito = 3m, $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$
 $E = 25 \times 10^6 \text{ kPa}$, $\nu = 0,2$
 Carga vertical = 2 x o peso próprio
 Carga horizontal = $2,42 \text{ kN/m}^2$ na direção x
 ($1/2/3 = x/y/z$)

FIGURA A3.1 - Exemplo

A3.5 - ARQUIVO DE DADOS.

Exemplo de nucleo com elevadores e escada

Unidades: SI

25000000,.2

14,11,18,5

4, -2, -2.75, 5, -2, 2.75, 6, -1, -2.75, 7, -1, -1.25

8, -1, 1.25, 9, -1, 2.75, 10, 0, -2.75, 11, 0, -.75

12, 0, .75, 13, 0, 2.75, 14, 2.5, -2.75, 15, 2.5, -.75

16, 2.5, .75, 17, 2.5, 2.75

1, 4, 5,0,0, 2, 5, 9,0,0, 3,13,17,0,0, 4,13,12,0,0

5,12,16,0,0, 6,16,15,0,0, 7,15,11,0,0, 8,11,10,0,0

9,10,14,0,0, 10, 6,10,0,0 11, 7, 8,0,0

1, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

2, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

3, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

4, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

5, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

6, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

7, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

8, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

9, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

10, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

11, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

12, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

13, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

14, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

15, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

16, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

17, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

18, 3, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2, .2

1,25000000,.2,4,6,1

1, .2, .4, 2, .2, .4, 3, .2, .4, 4, .2, .4, 5, .2, .4

6, .2, .4, 7, .2, .4, 8, .2, .4, 9, .2, .4, 10, .2, .4

11, .2, .4, 12, .2, .4, 13, .2, .4, 14, .2, .4, 15, .2, .4

16, .2, .4, 17, .2, .4, 18, .2, .4, 19, .2, .4

2,25000000,.2,9,13,3

1, .2, .4, 2, .2, .4, 3, .2, .4, 4, .2, .4, 5, .2, .4

6, .2, .4, 7, .2, .4, 8, .2, .4, 9, .2, .4, 10, .2, .4

11, .2, .4, 12, .2, .4, 13, .2, .4, 14, .2, .4, 15, .2, .4

16, .2, .4, 17, .2, .4, 18, .2, .4, 19, .2, .4

3,25000000,.2,17,16,1

1, .2, .4, 2, .2, .4, 3, .2, .4, 4, .2, .4, 5, .2, .4

6, .2, .4, 7, .2, .4, 8, .2, .4, 9, .2, .4, 10, .2, .4

11, .2, .4, 12, .2, .4, 13, .2, .4, 14, .2, .4, 15, .2, .4

16, .2, .4, 17, .2, .4, 18, .2, .4, 19, .2, .4

4,25000000,.2,15,14,2

1, .2, .4, 2, .2, .4, 3, .2, .4, 4, .2, .4, 5, .2, .4

6, .2, .4, 7, .2, .4, 8, .2, .4, 9, .2, .4, 10, .2, .4

11, .2, .4, 12, .2, .4, 13, .2, .4, 14, .2, .4, 15, .2, .4

16, .2, .4, 17, .2, .4, 18, .2, .4, 19, .2, .4

<u>5</u> ,25000000,.2,12,11,3									
1, .2, .4,	2, .2, .4,	3, .2, .4,	4, .2, .4,	5, .2, .4					
6, .2, .4,	7, .2, .4,	8, .2, .4,	9, .2, .4,	10, .2, .4					
11, .2, .4,	12, .2, .4,	13, .2, .4,	14, .2, .4,	15, .2, .4					
16, .2, .4,	17, .2, .4,	18, .2, .4,	19, .2, .4						
20,0,0,	-43.25,	-48.75,	-9.50,	-18.75,	-18.75,	-9.5			
	-41.25,	-36.75,	-36.75,	-35.75,	-22.75,	-34,	-34,	-22.75	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
40,0,0,	-84.50,	-97.50,	-17.00,	-37.50,	-37.50,	-17			
	-82.50,	-70.50,	-70.50,	-69.50,	-41.50,	-64,	-64,	-41.5	
20,0,0,	-43.25,	-48.75,	-9.50,	-18.75,	-18.75,	-9.5			
	-41.25,	-36.75,	-36.75,	-35.75,	-22.75,	-34,	-34,	-22.75	

1-11

A3.6 - ARQUIVO DE SAIDA - RESULTADOS

PROGRAMA <NUCLEO.BAS> - DEFORMACAO POR CORTANTE NAS VIGAS

Exemplo de nucleo com elevadores e escada

Unidades: kN e m

Rodado em (dia/mes/ano): 19/04/1994 as 07:11:27 horas

Numero de andares: 18
 Numero de paineis: 11
 Numero de prumadas de linteis: 5
 Numero de pontos nodais por diafragma: 14
 Modulo de elasticidade dos paineis: 2.5000D+07
 Coeficiente de Poisson dos paineis: 2.0000D-01
 Elasticidade transversal dos paineis: 1.0417D+07

COORDENADAS DOS PONTOS NODAIS

PONTO	COORD.X	COORD.Y
4	-2.000	-2.750
5	-2.000	2.750
6	-1.000	-2.750
7	-1.000	-1.250
8	-1.000	1.250
9	-1.000	2.750
10	0.000	-2.750
11	0.000	-0.750
12	0.000	0.750
13	0.000	2.750
14	2.500	-2.750
15	2.500	-0.750
16	2.500	0.750
17	2.500	2.750

DADOS DOS PAINEIS

NUM	JJ	JK	COS	SEN	BRACO	LARGURA	RT	RV
1	4	5	0.000	1.000	-2.000	5.500	0.000D+00	0.000D+00
2	5	9	1.000	0.000	-2.750	1.000	0.000D+00	0.000D+00
3	13	17	1.000	0.000	-2.750	2.500	0.000D+00	0.000D+00
4	13	12	0.000	-1.000	0.000	2.000	0.000D+00	0.000D+00
5	12	16	1.000	0.000	-0.750	2.500	0.000D+00	0.000D+00
6	16	15	0.000	-1.000	-2.500	1.500	0.000D+00	0.000D+00
7	15	11	-1.000	0.000	-0.750	2.500	0.000D+00	0.000D+00
8	11	10	0.000	-1.000	0.000	2.000	0.000D+00	0.000D+00
9	10	14	1.000	0.000	2.750	2.500	0.000D+00	0.000D+00
10	6	10	1.000	0.000	2.750	1.000	0.000D+00	0.000D+00
11	7	8	0.000	1.000	-1.000	2.500	0.000D+00	0.000D+00

DISTANCIA ENTRE DIAFRAGMAS E ESPESSURA DOS PAINAIS

ANDAR 1	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 2	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 3	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 4	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 5	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 6	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 7	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 8	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 9	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 10	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 11	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 12	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		
ANDAR 13	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20	
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20	
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20		

ANDAR 14	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20	
ANDAR 15	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20	
ANDAR 16	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20	
ANDAR 17	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20	
ANDAR 18	H= 3.000	T 1= 0.20	T 2= 0.20	T 3= 0.20	T 4= 0.20
		T 5= 0.20	T 6= 0.20	T 7= 0.20	T 8= 0.20
		T 9= 0.20	T10= 0.20	T11= 0.20	

DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 1

~~~~~

No inicial do lintel .....: 4  
 No final do lintel .....: 6  
 Comprimento do lintel .....: 1  
 Modulo de elasticidade longitudinal ...: 2.5000D+07  
 Coeficiente de Poisson .....: 2.0000D-01  
 Modulo de elasticidade transversal ....: 1.0417D+07  
 Coeficiente de forma da secao .....: 1.1833D+00  
 Lintel articulado/engastado

| SECAO TRANSVERSAL: NIVEL | BASE  | ALTURA |
|--------------------------|-------|--------|
| 0                        | 0.200 | 0.400  |
| 1                        | 0.200 | 0.400  |
| 2                        | 0.200 | 0.400  |
| 3                        | 0.200 | 0.400  |
| 4                        | 0.200 | 0.400  |
| 5                        | 0.200 | 0.400  |
| 6                        | 0.200 | 0.400  |
| 7                        | 0.200 | 0.400  |
| 8                        | 0.200 | 0.400  |
| 9                        | 0.200 | 0.400  |
| 10                       | 0.200 | 0.400  |
| 11                       | 0.200 | 0.400  |
| 12                       | 0.200 | 0.400  |
| 13                       | 0.200 | 0.400  |
| 14                       | 0.200 | 0.400  |
| 15                       | 0.200 | 0.400  |
| 16                       | 0.200 | 0.400  |
| 17                       | 0.200 | 0.400  |
| 18                       | 0.200 | 0.400  |

## DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 2

~~~~~

No inicial do lintel: 9
 No final do lintel: 13
 Comprimento do lintel: 1
 Modulo de elasticidade longitudinal ...: 2.5000D+07
 Coeficiente de Poisson: 2.0000D-01
 Modulo de elasticidade transversal: 1.0417D+07
 Coeficiente de forma da secao: 1.1833D+00
 Lintel engastado/engastado

SECAO TRANSVERSAL: NIVEL	BASE	ALTURA
0	0.200	0.400
1	0.200	0.400
2	0.200	0.400
3	0.200	0.400
4	0.200	0.400
5	0.200	0.400
6	0.200	0.400
7	0.200	0.400
8	0.200	0.400
9	0.200	0.400
10	0.200	0.400
11	0.200	0.400
12	0.200	0.400
13	0.200	0.400
14	0.200	0.400
15	0.200	0.400
16	0.200	0.400
17	0.200	0.400
18	0.200	0.400

DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 3

~~~~~

No inicial do lintel .....: 17  
 No final do lintel .....: 16  
 Comprimento do lintel .....: 2  
 Modulo de elasticidade longitudinal ...: 2.5000D+07  
 Coeficiente de Poisson .....: 2.0000D-01  
 Modulo de elasticidade transversal ....: 1.0417D+07  
 Coeficiente de forma da secao .....: 1.1833D+00  
 Lintel articulado/engastado

| SECAO TRANSVERSAL: NIVEL | BASE  | ALTURA |
|--------------------------|-------|--------|
| 0                        | 0.200 | 0.400  |
| 1                        | 0.200 | 0.400  |
| 2                        | 0.200 | 0.400  |
| 3                        | 0.200 | 0.400  |
| 4                        | 0.200 | 0.400  |
| 5                        | 0.200 | 0.400  |
| 6                        | 0.200 | 0.400  |
| 7                        | 0.200 | 0.400  |
| 8                        | 0.200 | 0.400  |
| 9                        | 0.200 | 0.400  |
| 10                       | 0.200 | 0.400  |
| 11                       | 0.200 | 0.400  |
| 12                       | 0.200 | 0.400  |
| 13                       | 0.200 | 0.400  |
| 14                       | 0.200 | 0.400  |
| 15                       | 0.200 | 0.400  |
| 16                       | 0.200 | 0.400  |
| 17                       | 0.200 | 0.400  |
| 18                       | 0.200 | 0.400  |

DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 4

~~~~~  
 No inicial do lintel: 15
 No final do lintel: 14
 Comprimento do lintel: 2
 Modulo de elasticidade longitudinal ...: 2.5000D+07
 Coeficiente de Poisson: 2.0000D-01
 Modulo de elasticidade transversal: 1.0417D+07
 Coeficiente de forma da secao: 1.1833D+00
 Lintel engastado/articulado

SECAO TRANSVERSAL: NIVEL	BASE	ALTURA
0	0.200	0.400
1	0.200	0.400
2	0.200	0.400
3	0.200	0.400
4	0.200	0.400
5	0.200	0.400
6	0.200	0.400
7	0.200	0.400
8	0.200	0.400
9	0.200	0.400
10	0.200	0.400
11	0.200	0.400
12	0.200	0.400
13	0.200	0.400
14	0.200	0.400
15	0.200	0.400
16	0.200	0.400
17	0.200	0.400
18	0.200	0.400

DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 5

```

~~~~~
No inicial do lintel .....: 12
No final do lintel .....: 11
Comprimento do lintel .....: 1.5
Modulo de elasticidade longitudinal ...: 2.5000D+07
Coeficiente de Poisson .....: 2.0000D-01
Modulo de elasticidade transversal ....: 1.0417D+07
Coeficiente de forma da secao .....: 1.1833D+00
Lintel engastado/engastado

```

SECAO TRANSVERSAL: NIVEL	BASE	ALTURA
0	0.200	0.400
1	0.200	0.400
2	0.200	0.400
3	0.200	0.400
4	0.200	0.400
5	0.200	0.400
6	0.200	0.400
7	0.200	0.400
8	0.200	0.400
9	0.200	0.400
10	0.200	0.400
11	0.200	0.400
12	0.200	0.400
13	0.200	0.400
14	0.200	0.400
15	0.200	0.400
16	0.200	0.400
17	0.200	0.400
18	0.200	0.400

CARGAS APLICADAS NAS COORDENADAS DOS DIAFRAGMAS

```

~~~~~
NIVEL      CARGA X      CARGA Y      CARGA Z
0          20.000      0.000      0.000
1          40.000      0.000      0.000
2          40.000      0.000      0.000
3          40.000      0.000      0.000
4          40.000      0.000      0.000
5          40.000      0.000      0.000
6          40.000      0.000      0.000
7          40.000      0.000      0.000
8          40.000      0.000      0.000
9          40.000      0.000      0.000
10         40.000      0.000      0.000
11         40.000      0.000      0.000
12         40.000      0.000      0.000
13         40.000      0.000      0.000
14         40.000      0.000      0.000
15         40.000      0.000      0.000
16         40.000      0.000      0.000
17         40.000      0.000      0.000
18         20.000      0.000      0.000

```

SOMA DAS CARGAS Fx ...: 720.000
 SOMA DAS CARGAS Fy ...: 0.000
 SOMA DAS CARGAS Mz ...: 0.000

CARGAS VERTICAIS NOS PONTOS NODAIS DOS DIAFRAGMAS

```

~~~~~
NIVEL  0  V 4= -43.250  V 5= -48.750  V 6=  -9.500  V 7= -18.750
          V 8= -18.750  V 9=  -9.500  V10= -41.250  V11= -36.750
          V12= -36.750  V13= -35.750  V14= -22.750  V15= -34.000
          V16= -34.000  V17= -22.750

NIVEL  1  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  2  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  3  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  4  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  5  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  6  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  7  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  8  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500

NIVEL  9  V 4= -84.500  V 5= -97.500  V 6= -17.000  V 7= -37.500
          V 8= -37.500  V 9= -17.000  V10= -82.500  V11= -70.500
          V12= -70.500  V13= -69.500  V14= -41.500  V15= -64.000
          V16= -64.000  V17= -41.500
  
```

NIVEL 10	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 11	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 12	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 13	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 14	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 15	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 16	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 17	V 4= -84.500	V 5= -97.500	V 6= -17.000	V 7= -37.500
	V 8= -37.500	V 9= -17.000	V10= -82.500	V11= -70.500
	V12= -70.500	V13= -69.500	V14= -41.500	V15= -64.000
	V16= -64.000	V17= -41.500		
NIVEL 18	V 4= -43.250	V 5= -48.750	V 6= -9.500	V 7= -18.750
	V 8= -18.750	V 9= -9.500	V10= -41.250	V11= -36.750
	V12= -36.750	V13= -35.750	V14= -22.750	V15= -34.000
	V16= -34.000	V17= -22.750		

SOMA DAS CARGAS VERTICAIS ...: -14340.000

RESULTADOS FINAIS - OBTIDOS APOS 4 CICLOS

~~~~~  
TOLERANCIA NA VARIACAO DAS NORMAIS = 2.0 %  
~~~~~

DESLOCAMENTOS DOS DIAFRAGMAS

```

~~~~~
NIVEL      DESL.X      DESL.Y      DESL.Z
18      6.3699D-02    1.8456D-03    6.3974D-04
17      5.9780D-02    1.6539D-03    6.1821D-04
16      5.5820D-02    1.4658D-03    5.9519D-04
15      5.1799D-02    1.2826D-03    5.6996D-04
14      4.7712D-02    1.1059D-03    5.4176D-04
13      4.3561D-02    9.3708D-04    5.0991D-04
12      3.9357D-02    7.7734D-04    4.7397D-04
11      3.5116D-02    6.2804D-04    4.3379D-04
10      3.0866D-02    4.9057D-04    3.8950D-04
 9      2.6638D-02    3.6630D-04    3.4159D-04
 8      2.2474D-02    2.5665D-04    2.9087D-04
 7      1.8423D-02    1.6297D-04    2.3853D-04
 6      1.4546D-02    8.6525D-05    1.8618D-04
 5      1.0914D-02    2.8366D-05    1.3585D-04
 4      7.6111D-03   -1.0777D-05    8.9949D-05
 3      4.7396D-03   -3.0707D-05    5.1268D-05
 2      2.4219D-03   -3.2158D-05    2.2698D-05
 1      8.0339D-04   -1.7278D-05    6.6145D-06
 0      0.0000D+00    0.0000D+00    0.0000D+00

```

ESFORCOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 1 (convencao usual)

```

~~~~~
NIVEL      M esq.      M dir.      Cortante
18      0.0000D+00   -4.5480D+01   -4.5480D+01
17      0.0000D+00   -5.4420D+01   -5.4420D+01
16      0.0000D+00   -5.8251D+01   -5.8251D+01
15      0.0000D+00   -6.4072D+01   -6.4072D+01
14      0.0000D+00   -7.0728D+01   -7.0728D+01
13      0.0000D+00   -7.8027D+01   -7.8027D+01
12      0.0000D+00   -8.5568D+01   -8.5568D+01
11      0.0000D+00   -9.2998D+01   -9.2998D+01
10      0.0000D+00   -9.9943D+01   -9.9943D+01
 9      0.0000D+00   -1.0600D+02   -1.0600D+02
 8      0.0000D+00   -1.1073D+02   -1.1073D+02
 7      0.0000D+00   -1.1360D+02   -1.1360D+02
 6      0.0000D+00   -1.1396D+02   -1.1396D+02
 5      0.0000D+00   -1.1105D+02   -1.1105D+02
 4      0.0000D+00   -1.0388D+02   -1.0388D+02
 3      0.0000D+00   -9.1248D+01   -9.1248D+01
 2      0.0000D+00   -7.1669D+01   -7.1669D+01
 1      0.0000D+00   -4.3897D+01   -4.3897D+01
 0      0.0000D+00   -2.6580D+00   -2.6580D+00

```

ESFORCOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 2 (convencao usual)

NIVEL	M esq.	M dir.	Cortante
18	3.1878D+01	3.7400D+01	5.5221D+00
17	3.5883D+01	3.5398D+01	-4.8474D-01
16	3.9374D+01	3.2067D+01	-7.3073D+00
15	4.4641D+01	2.7376D+01	-1.7265D+01
14	5.0689D+01	2.1755D+01	-2.8935D+01
13	5.7197D+01	1.5488D+01	-4.1710D+01
12	6.3894D+01	8.7195D+00	-5.5175D+01
11	7.0556D+01	1.5732D+00	-6.8983D+01
10	7.6967D+01	-5.8412D+00	-8.2809D+01
9	8.2894D+01	-1.3396D+01	-9.6290D+01
8	8.8055D+01	-2.0923D+01	-1.0898D+02
7	9.2091D+01	-2.8182D+01	-1.2027D+02
6	9.4519D+01	-3.4822D+01	-1.2934D+02
5	9.4674D+01	-4.0329D+01	-1.3500D+02
4	9.1617D+01	-4.3946D+01	-1.3556D+02
3	8.4072D+01	-4.4611D+01	-1.2868D+02
2	6.9947D+01	-4.0586D+01	-1.1053D+02
1	4.8979D+01	-3.1163D+01	-8.0143D+01
0	2.8588D+00	-1.2946D+00	-4.1534D+00

ESFORCOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 3 (convencao usual)

NIVEL	M esq.	M dir.	Cortante
18	0.0000D+00	-5.4174D+00	-2.7087D+00
17	0.0000D+00	-5.3317D+00	-2.6659D+00
16	0.0000D+00	-5.3763D+00	-2.6881D+00
15	0.0000D+00	-5.3772D+00	-2.6886D+00
14	0.0000D+00	-5.3639D+00	-2.6820D+00
13	0.0000D+00	-5.3206D+00	-2.6603D+00
12	0.0000D+00	-5.2461D+00	-2.6230D+00
11	0.0000D+00	-5.1373D+00	-2.5686D+00
10	0.0000D+00	-4.9929D+00	-2.4964D+00
9	0.0000D+00	-4.8123D+00	-2.4062D+00
8	0.0000D+00	-4.5960D+00	-2.2980D+00
7	0.0000D+00	-4.3450D+00	-2.1725D+00
6	0.0000D+00	-4.0608D+00	-2.0304D+00
5	0.0000D+00	-3.7438D+00	-1.8719D+00
4	0.0000D+00	-3.3898D+00	-1.6949D+00
3	0.0000D+00	-2.9832D+00	-1.4916D+00
2	0.0000D+00	-2.4749D+00	-1.2375D+00
1	0.0000D+00	-1.8190D+00	-9.0949D-01
0	0.0000D+00	4.1423D-02	2.0712D-02

ESFORCOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 4 (convencao usual)

NIVEL	M esq.	M dir.	Cortante
18	5.1341D+01	0.0000D+00	-2.5670D+01
17	5.1911D+01	0.0000D+00	-2.5956D+01
16	5.2348D+01	0.0000D+00	-2.6174D+01
15	5.2908D+01	0.0000D+00	-2.6454D+01
14	5.3404D+01	0.0000D+00	-2.6702D+01
13	5.3773D+01	0.0000D+00	-2.6887D+01
12	5.3926D+01	0.0000D+00	-2.6963D+01
11	5.3779D+01	0.0000D+00	-2.6889D+01
10	5.3246D+01	0.0000D+00	-2.6623D+01
9	5.2238D+01	0.0000D+00	-2.6119D+01
8	5.0659D+01	0.0000D+00	-2.5330D+01
7	4.8407D+01	0.0000D+00	-2.4204D+01
6	4.5367D+01	0.0000D+00	-2.2683D+01
5	4.1408D+01	0.0000D+00	-2.0704D+01
4	3.6380D+01	0.0000D+00	-1.8190D+01
3	3.0108D+01	0.0000D+00	-1.5054D+01
2	2.2401D+01	0.0000D+00	-1.1201D+01
1	1.3114D+01	0.0000D+00	-6.5572D+00
0	4.2429D+00	0.0000D+00	-2.1215D+00

ESFORCOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO 5 (convencao usual)

NIVEL	M esq.	M dir.	Cortante
18	-6.5618D+01	1.7752D+01	5.5580D+01
17	-6.7428D+01	1.9229D+01	5.7771D+01
16	-6.8446D+01	1.9703D+01	5.8766D+01
15	-6.9664D+01	2.0309D+01	5.9982D+01
14	-7.0794D+01	2.0837D+01	6.1087D+01
13	-7.1775D+01	2.1316D+01	6.2061D+01
12	-7.2485D+01	2.1712D+01	6.2798D+01
11	-7.2821D+01	2.2005D+01	6.3217D+01
10	-7.2677D+01	2.2176D+01	6.3236D+01
9	-7.1944D+01	2.2205D+01	6.2766D+01
8	-7.0502D+01	2.2064D+01	6.1711D+01
7	-6.8209D+01	2.1718D+01	5.9951D+01
6	-6.4893D+01	2.1110D+01	5.7335D+01
5	-6.0328D+01	2.0152D+01	5.3653D+01
4	-5.4213D+01	1.8706D+01	4.8613D+01
3	-4.6120D+01	1.6544D+01	4.1776D+01
2	-3.5503D+01	1.3350D+01	3.2569D+01
1	-2.1432D+01	8.4731D+00	1.9937D+01
0	-6.7469D+00	2.8563D+00	6.4022D+00

ESFORÇOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 1
 (convencao: N > 0 tracao M > 0 tracao na esq. Q > 0 horario)

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-4.81D+01	1.39D+02	-6.09D+01	9.39D+01	-1.81D+02	-5.54D+01
17	-1.67D+02	5.81D+01	-4.41D+01	-9.42D+01	-2.09D+02	-4.01D+01
16	-2.78D+02	9.37D+01	-4.35D+01	-1.60D+02	-3.45D+02	-3.95D+01
15	-3.73D+02	1.13D+02	-4.11D+01	-2.26D+02	-4.51D+02	-3.73D+01
14	-4.51D+02	1.32D+02	-3.96D+01	-2.79D+02	-5.41D+02	-3.60D+01
13	-5.12D+02	1.47D+02	-3.80D+01	-3.19D+02	-6.11D+02	-3.45D+01
12	-5.54D+02	1.59D+02	-3.62D+01	-3.46D+02	-6.61D+02	-3.29D+01
11	-5.77D+02	1.66D+02	-3.41D+01	-3.61D+02	-6.89D+02	-3.10D+01
10	-5.83D+02	1.68D+02	-3.17D+01	-3.63D+02	-6.96D+02	-2.88D+01
9	-5.71D+02	1.65D+02	-2.89D+01	-3.56D+02	-6.83D+02	-2.62D+01
8	-5.44D+02	1.55D+02	-2.55D+01	-3.41D+02	-6.49D+02	-2.32D+01
7	-5.05D+02	1.39D+02	-2.16D+01	-3.21D+02	-5.97D+02	-1.97D+01
6	-4.57D+02	1.14D+02	-1.71D+01	-3.03D+02	-5.29D+02	-1.56D+01
5	-4.07D+02	7.88D+01	-1.19D+01	-2.92D+02	-4.48D+02	-1.08D+01
4	-3.61D+02	3.40D+01	-5.89D+00	-2.95D+02	-3.62D+02	-5.36D+00
3	-3.31D+02	-2.74D+01	6.17D-01	-3.28D+02	-2.74D+02	5.61D-01
2	-3.33D+02	-5.70D+01	7.93D+00	-3.59D+02	-2.46D+02	7.21D+00
1	-3.73D+02	-3.96D+02	2.37D+01	-7.31D+02	5.32D+01	2.16D+01

ESFORÇOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 2

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-1.35D+01	-3.80D+00	1.30D+01	-1.81D+02	4.67D+01	6.50D+01
17	-3.86D+01	-5.41D-01	1.06D+01	-2.09D+02	-1.77D+02	5.29D+01
16	-6.14D+01	-1.28D+00	1.62D+01	-3.45D+02	-2.68D+02	8.11D+01
15	-8.42D+01	-9.93D-01	2.15D+01	-4.51D+02	-3.91D+02	1.08D+02
14	-1.05D+02	-5.13D-01	2.75D+01	-5.41D+02	-5.10D+02	1.38D+02
13	-1.24D+02	2.61D-01	3.38D+01	-6.11D+02	-6.27D+02	1.69D+02
12	-1.40D+02	1.29D+00	4.03D+01	-6.61D+02	-7.38D+02	2.01D+02
11	-1.53D+02	2.59D+00	4.68D+01	-6.89D+02	-8.44D+02	2.34D+02
10	-1.64D+02	4.15D+00	5.31D+01	-6.96D+02	-9.45D+02	2.65D+02
9	-1.72D+02	5.99D+00	5.91D+01	-6.83D+02	-1.04D+03	2.95D+02
8	-1.79D+02	8.13D+00	6.44D+01	-6.49D+02	-1.14D+03	3.22D+02
7	-1.83D+02	1.06D+01	6.89D+01	-5.97D+02	-1.23D+03	3.45D+02
6	-1.86D+02	1.34D+01	7.20D+01	-5.29D+02	-1.33D+03	3.60D+02
5	-1.90D+02	1.67D+01	7.31D+01	-4.48D+02	-1.45D+03	3.66D+02
4	-1.95D+02	2.04D+01	7.13D+01	-3.62D+02	-1.59D+03	3.57D+02
3	-2.04D+02	2.50D+01	6.56D+01	-2.74D+02	-1.77D+03	3.28D+02
2	-2.19D+02	2.83D+01	5.05D+01	-2.46D+02	-1.94D+03	2.53D+02
1	-2.54D+02	4.41D+01	4.43D+01	5.32D+01	-2.59D+03	2.21D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 3

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-3.17D+01	-6.05D+00	-1.38D+01	-9.25D+01	-3.44D+01	-2.76D+01
17	-1.17D+02	-3.62D+01	2.53D+00	-4.08D+02	-6.04D+01	5.05D+00
16	-2.06D+02	-3.93D+01	4.26D+00	-6.00D+02	-2.23D+02	8.53D+00
15	-3.01D+02	-3.99D+01	9.75D+00	-7.93D+02	-4.10D+02	1.95D+01
14	-4.02D+02	-3.39D+01	1.40D+01	-9.67D+02	-6.41D+02	2.80D+01
13	-5.10D+02	-2.31D+01	1.84D+01	-1.13D+03	-9.09D+02	3.68D+01
12	-6.24D+02	-7.37D+00	2.27D+01	-1.28D+03	-1.21D+03	4.54D+01
11	-7.46D+02	1.31D+01	2.70D+01	-1.43D+03	-1.55D+03	5.40D+01
10	-8.73D+02	3.86D+01	3.13D+01	-1.56D+03	-1.93D+03	6.27D+01
9	-1.01D+03	6.93D+01	3.58D+01	-1.68D+03	-2.35D+03	7.16D+01
8	-1.15D+03	1.06D+02	4.04D+01	-1.79D+03	-2.80D+03	8.07D+01
7	-1.29D+03	1.49D+02	4.52D+01	-1.87D+03	-3.31D+03	9.05D+01
6	-1.45D+03	2.01D+02	5.06D+01	-1.93D+03	-3.86D+03	1.01D+02
5	-1.61D+03	2.63D+02	5.68D+01	-1.95D+03	-4.47D+03	1.14D+02
4	-1.77D+03	3.38D+02	6.44D+01	-1.92D+03	-5.17D+03	1.29D+02
3	-1.94D+03	4.32D+02	7.56D+01	-1.81D+03	-5.96D+03	1.51D+02
2	-2.14D+03	5.54D+02	8.96D+01	-1.61D+03	-6.93D+03	1.79D+02
1	-2.41D+03	8.13D+02	1.27D+02	-9.20D+02	-8.73D+03	2.54D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 4

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-6.94D+01	1.08D+01	-4.04D+01	-9.25D+01	-2.55D+02	-1.01D+02
17	-1.62D+02	-4.42D-01	-2.09D+01	-4.08D+02	-4.01D+02	-5.22D+01
16	-2.44D+02	1.22D+00	-1.78D+01	-6.00D+02	-6.18D+02	-4.45D+01
15	-3.19D+02	4.81D-01	-1.01D+01	-7.93D+02	-8.00D+02	-2.54D+01
14	-3.88D+02	3.62D-01	-2.77D+00	-9.67D+02	-9.72D+02	-6.94D+00
13	-4.52D+02	3.71D-02	5.30D+00	-1.13D+03	-1.13D+03	1.32D+01
12	-5.13D+02	-3.12D-01	1.37D+01	-1.28D+03	-1.28D+03	3.43D+01
11	-5.69D+02	-7.20D-01	2.24D+01	-1.43D+03	-1.42D+03	5.61D+01
10	-6.21D+02	-1.17D+00	3.14D+01	-1.56D+03	-1.54D+03	7.85D+01
9	-6.68D+02	-1.68D+00	4.04D+01	-1.68D+03	-1.66D+03	1.01D+02
8	-7.08D+02	-2.25D+00	4.94D+01	-1.79D+03	-1.75D+03	1.23D+02
7	-7.40D+02	-2.92D+00	5.80D+01	-1.87D+03	-1.83D+03	1.45D+02
6	-7.60D+02	-3.77D+00	6.57D+01	-1.93D+03	-1.87D+03	1.64D+02
5	-7.64D+02	-4.93D+00	7.19D+01	-1.95D+03	-1.87D+03	1.80D+02
4	-7.46D+02	-6.77D+00	7.50D+01	-1.92D+03	-1.82D+03	1.87D+02
3	-6.97D+02	-9.52D+00	7.28D+01	-1.81D+03	-1.67D+03	1.82D+02
2	-5.95D+02	-1.69D+01	5.95D+01	-1.61D+03	-1.36D+03	1.49D+02
1	-3.31D+02	-1.22D+01	2.42D+01	-9.20D+02	-7.37D+02	6.05D+01

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 5

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-5.85D+01	-2.87D+01	4.48D+01	-2.55D+02	2.05D+01	8.95D+01
17	-1.27D+02	-3.08D+01	3.93D+01	-4.01D+02	-1.06D+02	7.86D+01
16	-2.11D+02	-4.11D+01	5.33D+01	-6.18D+02	-2.24D+02	1.07D+02
15	-3.01D+02	-4.14D+01	6.18D+01	-8.00D+02	-4.02D+02	1.24D+02
14	-3.98D+02	-3.67D+01	7.12D+01	-9.72D+02	-6.20D+02	1.42D+02
13	-5.02D+02	-2.64D+01	8.01D+01	-1.13D+03	-8.78D+02	1.60D+02
12	-6.14D+02	-1.08D+01	8.88D+01	-1.28D+03	-1.18D+03	1.78D+02
11	-7.33D+02	1.01D+01	9.73D+01	-1.42D+03	-1.51D+03	1.95D+02
10	-8.60D+02	3.65D+01	1.06D+02	-1.54D+03	-1.89D+03	2.11D+02
9	-9.94D+02	6.88D+01	1.14D+02	-1.66D+03	-2.32D+03	2.28D+02
8	-1.13D+03	1.08D+02	1.23D+02	-1.75D+03	-2.79D+03	2.46D+02
7	-1.28D+03	1.54D+02	1.32D+02	-1.83D+03	-3.31D+03	2.64D+02
6	-1.44D+03	2.09D+02	1.42D+02	-1.87D+03	-3.88D+03	2.83D+02
5	-1.60D+03	2.75D+02	1.52D+02	-1.87D+03	-4.51D+03	3.04D+02
4	-1.76D+03	3.54D+02	1.64D+02	-1.82D+03	-5.22D+03	3.28D+02
3	-1.92D+03	4.50D+02	1.75D+02	-1.67D+03	-5.99D+03	3.51D+02
2	-2.06D+03	5.76D+02	1.95D+02	-1.36D+03	-6.89D+03	3.91D+02
1	-2.20D+03	7.63D+02	1.74D+02	-7.37D+02	-8.06D+03	3.48D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 6

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	4.90D+00	3.15D-01	1.88D+01	2.05D+01	1.21D+01	6.28D+01
17	-2.76D+01	-1.01D+00	1.83D+01	-1.06D+02	-7.86D+01	6.11D+01
16	-6.65D+01	-1.63D-01	1.64D+01	-2.24D+02	-2.19D+02	5.47D+01
15	-1.21D+02	-1.70D-02	1.59D+01	-4.02D+02	-4.02D+02	5.31D+01
14	-1.86D+02	1.60D-02	1.54D+01	-6.20D+02	-6.20D+02	5.14D+01
13	-2.63D+02	-1.12D-01	1.49D+01	-8.78D+02	-8.75D+02	4.95D+01
12	-3.51D+02	-3.69D-01	1.42D+01	-1.18D+03	-1.17D+03	4.73D+01
11	-4.51D+02	-7.56D-01	1.34D+01	-1.51D+03	-1.49D+03	4.46D+01
10	-5.63D+02	-1.27D+00	1.25D+01	-1.89D+03	-1.86D+03	4.16D+01
9	-6.87D+02	-1.92D+00	1.14D+01	-2.32D+03	-2.27D+03	3.81D+01
8	-8.25D+02	-2.70D+00	1.03D+01	-2.79D+03	-2.71D+03	3.45D+01
7	-9.77D+02	-3.58D+00	9.22D+00	-3.31D+03	-3.21D+03	3.07D+01
6	-1.15D+03	-4.53D+00	8.20D+00	-3.88D+03	-3.76D+03	2.73D+01
5	-1.33D+03	-5.48D+00	7.47D+00	-4.51D+03	-4.37D+03	2.49D+01
4	-1.54D+03	-6.33D+00	7.30D+00	-5.22D+03	-5.05D+03	2.43D+01
3	-1.77D+03	-6.78D+00	8.07D+00	-5.99D+03	-5.81D+03	2.69D+01
2	-2.04D+03	-7.11D+00	1.04D+01	-6.89D+03	-6.70D+03	3.46D+01
1	-2.40D+03	-4.32D+00	5.80D+00	-8.06D+03	-7.94D+03	1.93D+01

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 7

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-2.98D+01	1.49D+01	9.57D+00	1.21D+01	-1.31D+02	1.91D+01
17	-1.18D+02	3.27D+01	-1.36D+00	-7.86D+01	-3.92D+02	-2.72D+00
16	-2.14D+02	4.35D+01	-1.34D+01	-2.19D+02	-6.37D+02	-2.68D+01
15	-3.09D+02	4.49D+01	-2.25D+01	-4.02D+02	-8.33D+02	-4.51D+01
14	-4.07D+02	4.05D+01	-3.23D+01	-6.20D+02	-1.01D+03	-6.46D+01
13	-5.10D+02	3.03D+01	-4.20D+01	-8.75D+02	-1.17D+03	-8.39D+01
12	-6.18D+02	1.46D+01	-5.17D+01	-1.17D+03	-1.31D+03	-1.03D+02
11	-7.31D+02	-6.85D+00	-6.16D+01	-1.49D+03	-1.43D+03	-1.23D+02
10	-8.48D+02	-3.41D+01	-7.17D+01	-1.86D+03	-1.53D+03	-1.43D+02
9	-9.71D+02	-6.76D+01	-8.20D+01	-2.27D+03	-1.62D+03	-1.64D+02
8	-1.10D+03	-1.08D+02	-9.27D+01	-2.71D+03	-1.68D+03	-1.85D+02
7	-1.23D+03	-1.56D+02	-1.04D+02	-3.21D+03	-1.71D+03	-2.08D+02
6	-1.37D+03	-2.14D+02	-1.15D+02	-3.76D+03	-1.71D+03	-2.31D+02
5	-1.51D+03	-2.82D+02	-1.27D+02	-4.37D+03	-1.66D+03	-2.54D+02
4	-1.65D+03	-3.63D+02	-1.39D+02	-5.05D+03	-1.56D+03	-2.78D+02
3	-1.80D+03	-4.62D+02	-1.50D+02	-5.81D+03	-1.38D+03	-3.01D+02
2	-1.94D+03	-5.86D+02	-1.62D+02	-6.70D+03	-1.07D+03	-3.24D+02
1	-2.07D+03	-7.93D+02	-1.60D+02	-7.94D+03	-3.29D+02	-3.21D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 8

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-3.87D+01	-4.60D+00	-3.79D+01	-1.31D+02	-6.23D+01	-9.47D+01
17	-1.57D+02	1.32D-01	-4.14D+01	-3.92D+02	-3.94D+02	-1.04D+02
16	-2.41D+02	-4.48D+00	-4.13D+01	-6.37D+02	-5.69D+02	-1.03D+02
15	-3.17D+02	-5.29D+00	-4.64D+01	-8.33D+02	-7.53D+02	-1.16D+02
14	-3.85D+02	-6.19D+00	-5.18D+01	-1.01D+03	-9.16D+02	-1.30D+02
13	-4.46D+02	-6.76D+00	-5.78D+01	-1.17D+03	-1.06D+03	-1.44D+02
12	-5.01D+02	-7.25D+00	-6.38D+01	-1.31D+03	-1.20D+03	-1.59D+02
11	-5.48D+02	-7.66D+00	-6.97D+01	-1.43D+03	-1.31D+03	-1.74D+02
10	-5.89D+02	-8.00D+00	-7.54D+01	-1.53D+03	-1.41D+03	-1.89D+02
9	-6.22D+02	-8.24D+00	-8.07D+01	-1.62D+03	-1.49D+03	-2.02D+02
8	-6.46D+02	-8.33D+00	-8.53D+01	-1.68D+03	-1.55D+03	-2.13D+02
7	-6.60D+02	-8.18D+00	-8.91D+01	-1.71D+03	-1.59D+03	-2.23D+02
6	-6.61D+02	-7.66D+00	-9.15D+01	-1.71D+03	-1.59D+03	-2.29D+02
5	-6.46D+02	-6.55D+00	-9.19D+01	-1.66D+03	-1.57D+03	-2.30D+02
4	-6.11D+02	-4.37D+00	-8.91D+01	-1.56D+03	-1.50D+03	-2.23D+02
3	-5.52D+02	-4.17D-01	-8.12D+01	-1.38D+03	-1.38D+03	-2.03D+02
2	-4.54D+02	8.52D+00	-6.34D+01	-1.07D+03	-1.20D+03	-1.59D+02
1	-2.34D+02	3.41D+01	-1.51D+01	-3.29D+02	-8.41D+02	-3.77D+01

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 9

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-3.39D+01	1.15D+00	-5.77D+01	-6.23D+01	-7.33D+01	-1.15D+02
17	-9.48D+01	-4.27D+01	-2.86D+01	-3.94D+02	1.52D+01	-5.71D+01
16	-1.68D+02	-4.87D+01	-2.71D+01	-5.69D+02	-1.02D+02	-5.43D+01
15	-2.50D+02	-5.29D+01	-2.05D+01	-7.53D+02	-2.45D+02	-4.10D+01
14	-3.40D+02	-4.94D+01	-1.57D+01	-9.16D+02	-4.42D+02	-3.15D+01
13	-4.37D+02	-3.98D+01	-1.09D+01	-1.06D+03	-6.83D+02	-2.18D+01
12	-5.41D+02	-2.41D+01	-6.11D+00	-1.20D+03	-9.66D+02	-1.22D+01
11	-6.51D+02	-2.22D+00	-1.13D+00	-1.31D+03	-1.29D+03	-2.25D+00
10	-7.69D+02	2.60D+01	4.23D+00	-1.41D+03	-1.66D+03	8.46D+00
9	-8.94D+02	6.11D+01	1.02D+01	-1.49D+03	-2.08D+03	2.03D+01
8	-1.03D+03	1.04D+02	1.69D+01	-1.55D+03	-2.55D+03	3.38D+01
7	-1.17D+03	1.55D+02	2.47D+01	-1.59D+03	-3.08D+03	4.94D+01
6	-1.32D+03	2.16D+02	3.41D+01	-1.59D+03	-3.67D+03	6.81D+01
5	-1.48D+03	2.90D+02	4.55D+01	-1.57D+03	-4.35D+03	9.11D+01
4	-1.65D+03	3.78D+02	5.99D+01	-1.50D+03	-5.12D+03	1.20D+02
3	-1.85D+03	4.85D+02	7.92D+01	-1.38D+03	-6.03D+03	1.58D+02
2	-2.08D+03	6.17D+02	1.01D+02	-1.20D+03	-7.12D+03	2.02D+02
1	-2.43D+03	8.37D+02	1.42D+02	-8.41D+02	-8.87D+03	2.83D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 10

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-5.63D+01	-7.31D+00	4.33D+01	-5.01D+02	-6.23D+01	2.16D+02
17	-8.62D+01	-1.22D+00	3.48D+01	-4.67D+02	-3.94D+02	1.74D+02
16	-1.27D+02	-2.12D+00	4.00D+01	-6.97D+02	-5.69D+02	2.00D+02
15	-1.62D+02	-1.94D+00	4.49D+01	-8.70D+02	-7.53D+02	2.25D+02
14	-1.93D+02	-1.63D+00	5.07D+01	-1.01D+03	-9.16D+02	2.53D+02
13	-2.19D+02	-9.63D-01	5.66D+01	-1.12D+03	-1.06D+03	2.83D+02
12	-2.39D+02	2.20D-02	6.26D+01	-1.20D+03	-1.20D+03	3.13D+02
11	-2.55D+02	1.34D+00	6.85D+01	-1.23D+03	-1.31D+03	3.42D+02
10	-2.65D+02	2.99D+00	7.39D+01	-1.23D+03	-1.41D+03	3.70D+02
9	-2.69D+02	5.00D+00	7.88D+01	-1.19D+03	-1.49D+03	3.94D+02
8	-2.66D+02	7.41D+00	8.27D+01	-1.11D+03	-1.55D+03	4.13D+02
7	-2.56D+02	1.03D+01	8.54D+01	-9.73D+02	-1.59D+03	4.27D+02
6	-2.37D+02	1.36D+01	8.65D+01	-7.78D+02	-1.59D+03	4.32D+02
5	-2.08D+02	1.75D+01	8.54D+01	-5.13D+02	-1.57D+03	4.27D+02
4	-1.66D+02	2.22D+01	8.15D+01	-1.66D+02	-1.50D+03	4.07D+02
3	-1.10D+02	2.75D+01	7.39D+01	2.76D+02	-1.38D+03	3.70D+02
2	-3.69D+01	3.38D+01	6.14D+01	8.29D+02	-1.20D+03	3.07D+02
1	8.39D+01	4.20D+01	5.25D+01	1.68D+03	-8.41D+02	2.62D+02

ESFORCOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS DOS ELEMENTOS DO PAINEL 11

ANDAR	NORMAL	MOMENTO	CORTANTE	σ (esq)	σ (dir)	τ (medio)
18	-3.75D+01	2.18D+00	1.45D+00	-6.46D+01	-8.54D+01	2.90D+00
17	-1.13D+02	4.58D+00	1.52D-01	-2.03D+02	-2.47D+02	3.04D-01
16	-1.88D+02	5.92D+00	7.40D-01	-3.47D+02	-4.03D+02	1.48D+00
15	-2.63D+02	7.66D+00	4.23D-01	-4.88D+02	-5.62D+02	8.47D-01
14	-3.38D+02	8.95D+00	4.33D-01	-6.32D+02	-7.18D+02	8.65D-01
13	-4.13D+02	1.01D+01	3.54D-01	-7.76D+02	-8.74D+02	7.08D-01
12	-4.88D+02	1.11D+01	2.97D-01	-9.22D+02	-1.03D+03	5.94D-01
11	-5.63D+02	1.19D+01	2.25D-01	-1.07D+03	-1.18D+03	4.50D-01
10	-6.38D+02	1.24D+01	1.43D-01	-1.22D+03	-1.33D+03	2.86D-01
9	-7.13D+02	1.27D+01	4.33D-02	-1.36D+03	-1.49D+03	8.66D-02
8	-7.88D+02	1.27D+01	-7.88D-02	-1.51D+03	-1.64D+03	-1.58D-01
7	-8.63D+02	1.22D+01	-2.26D-01	-1.67D+03	-1.78D+03	-4.52D-01
6	-9.38D+02	1.13D+01	-4.09D-01	-1.82D+03	-1.93D+03	-8.18D-01
5	-1.01D+03	9.73D+00	-6.04D-01	-1.98D+03	-2.07D+03	-1.21D+00
4	-1.09D+03	7.47D+00	-9.03D-01	-2.14D+03	-2.21D+03	-1.81D+00
3	-1.16D+03	4.56D+00	-1.04D+00	-2.30D+03	-2.35D+03	-2.08D+00
2	-1.24D+03	7.77D-01	-1.49D+00	-2.47D+03	-2.48D+03	-2.97D+00
1	-1.31D+03	-2.24D+01	-8.81D+00	-2.73D+03	-2.52D+03	-1.76D+01

REACOES NA ORIGEM DO SISTEMA

EIXO	REACAO
X	-7.2000D+02
Y	7.1387D-11
Z	1.0333D-11

REACOES NOS VINCULOS VERTICAIS

VINCULO	REACAO	TIPO
4	2.4910D+02	RIGIDO
5	2.3545D+02	RIGIDO
6	-1.4540D+02	RIGIDO
7	6.8615D+02	RIGIDO
8	6.6385D+02	RIGIDO
9	2.3716D+02	RIGIDO
10	1.1020D+03	RIGIDO
11	8.4238D+02	RIGIDO
12	9.8143D+02	RIGIDO
13	1.0733D+03	RIGIDO
14	1.5809D+03	RIGIDO
15	2.6103D+03	RIGIDO
16	2.6703D+03	RIGIDO
17	1.5532D+03	RIGIDO

SOMA DAS REACOES VERTICAIS ...: 1.4340D+04

TEMPO GASTO (total) : 71.67 segundos

A3.7 - LISTAGEM DO PROGRAMA.

```

' PROGRAMA <NUCLEO.BAS> - DEFORMACAO POR CORTANTE NAS VIGAS
' ~~~~~
DEFINT I-N: DEFDBL A-H, O-Z
COMMON SHARED DADO$, RE$, T1$, T2$, NORMAL$, E, PO, G
COMMON SHARED NJ, NP, NA, NL, ND, NF, N, LSB, IVE, TOL, NCICLOS
COMMON SHARED X(), Y(), JJ(), JK(), RT(), RV(), NVR(), BP()
COMMON SHARED CO(), SE(), R(), HL(), H(), T(), BL(), AL(), EL()
COMMON SHARED POL(), GL(), CFL(), V(), A(), SK(), SL(), J1()
COMMON SHARED J2(), K1(), K2(), S(), SR()
COMMON SHARED P(), PA(), RC(), IEL()
DECLARE SUB Introducao ()
DECLARE SUB DadosIniciais ()
DECLARE SUB LeituraDados ()
DECLARE SUB ImpressaoDados ()
DECLARE SUB RigidezElementos ()
DECLARE SUB RigidezSistema ()
DECLARE SUB FundacaoElastica ()
DECLARE SUB RigidezLinteis ()
DECLARE SUB SolveGauss ()
DECLARE SUB VerificaCiclo ()
DECLARE SUB ResultadosDiafragmas ()
DECLARE SUB EsforcosElementos ()
DECLARE SUB EsforcosLinteis ()
DECLARE SUB Reacoes ()
CALL Introducao          'sub-rotina inicial (instrucoes, etc..)
TI = TIMER              'inicio da contagem do tempo
CALL DadosIniciais      'dados p/ DIMENSION dinamico
DIM X(ND), Y(ND), JJ(NP), JK(NP), RT(NP), RV(NP), NVR(ND)
DIM BP(NP), CO(NP), SE(NP), R(NP), HL(NL), H(NA), T(NA, NP)
DIM BL(NF, NL), AL(NF, NL), EL(NL), POL(NL), GL(NL), CFL(NL)
DIM A(N), V(N), SK(9, NA, NP), S(N, LSB), SL(6, NF, NL), J1(NL)
DIM J2(NL), IEL(NL), K1(NL), K2(NL), SR(ND, LSB), P(NA, NP)
DIM RC(ND), PA(NA, NP)
CALL LeituraDados      'sub-rotina leitura de dados
CALL ImpressaoDados    'impressao dos dados
DO
CALL RigidezElementos  'calcula [SK]
CALL RigidezSistema    'inicia [S] - elem.
IF NL > 0 THEN CALL RigidezLinteis 'contr. dos linteis
CALL FundacaoElastica  'contr.da fund. elast.
CALL SolveGauss        'sol. de [S]{D} = {V}
IF NORMAL$ = "S" THEN CALL VerificaCiclo 'analisa se altera [S]
LOOP WHILE NORMAL$ = "S" AND NCICLOS < 5
CALL ResultadosDiafragmas 'desloc dos diafragmas
IF NL > 0 THEN CALL EsforcosLinteis 'esforcos nos linteis
CALL EsforcosElementos 'esforcos nos elemento
CALL Reacoes          'esf.nos vinc. da base
TP = TIMER - TI       'calcula tempo gasto
IF TP < 0 THEN TP = TP + 86400 'imprime tempo gasto
TP$ = STR$(TP): I = INSTR(TP$, "."): TP$ = LEFT$(TP$, I + 2)
TP$ = "TEMPO GASTO (total) :" + TP$ + " segundos"
PRINT #1, : PRINT #1, TP$: PRINT #1, STRING$(LEN(TP$), "~")
END

```



```

SUB DadosIniciais          'Leitura dos dados iniciais
  OPEN "I", #2, DADO$
  LINE INPUT #2, T1$      'titulo, etc ... (1a linha)
  LINE INPUT #2, T2$      'unidades/comentarios/etc.(2a linha)
  INPUT #2, E, PO         'elasticidade, coef. de Poisson
  G = E / (2 * (1 + PO)) 'modulo de elast. transversal
  INPUT #2, NJ, NP, NA, NL 'ptos nodais/pain./and./prum.de lint.
  ND = NJ + 3 + NP       'num de deslocamentos por diafragma
  NF = NA + 1            'numero de diafragmas
  N = ND * NF            'numero de graus de liberdade
  LSB = 2 * ND           'largura superior da banda
  OPEN "O", #1, RE$      'Impressao dos dados iniciais
  A$ = "PROGRAMA <NUCLEO.BAS> - "
  A$ = A$ + "DEFORMACAO POR CORTANTE NAS VIGAS"
  DT$ = MID$(DATE$, 4, 2) + "/" + LEFT$(DATE$, 2)
  DT$ = DT$ + "/" + RIGHT$(DATE$, 4)
  DT$ = "Rodado em (dia/mes/ano): " + DT$
  DT$ = DT$ + " as " + TIME$ + " horas"
  PRINT #1,
  PRINT #1, A$
  PRINT #1, STRING$(LEN(A$), "~")
  PRINT #1, T1$: PRINT #1, STRING$(LEN(T1$), "~")
  PRINT #1, T2$: PRINT #1, STRING$(LEN(T2$), "~")
  PRINT #1, DT$
  PRINT #1, STRING$(LEN(DT$), "~")
  PRINT #1, "Numero de andares .....: "; NA
  PRINT #1, "Numero de paineis .....: "; NP
  PRINT #1, "Numero de prumadas de linteis .....: "; NL
  PRINT #1, "Numero de pontos nodais por diafragma .....: "; NJ
  A$ = "##.###^"
  PRINT #1, "Modulo de elasticidade dos paineis .....: ";
  PRINT #1, USING A$; E
  PRINT #1, "Coeficiente de Poisson dos paineis .....: ";
  PRINT #1, USING A$; PO
  PRINT #1, "Elasticidade transversal dos paineis .....: ";
  PRINT #1, USING A$; G
  PRINT #1,
END SUB

```

```

SUB EsforçosElementos
  A$ = "ESFORÇOS E TENSOES NAS SECOES MEDIAS "
  A$ = A$ + "DOS ELEMENTOS DO PAINEL###"
  B$ = "(convencao: N > 0 tracao M > 0 "
  B$ = B$ + "tracao na esq. Q > 0 horario)"
  C$ = STRING$(LEN(A$), "~")
  D$ = "ANDAR          NORMAL          MOMENTO          CORTANTE"
  D$ = D$ + "          σ(esq)          σ(dir)          τ(medio)"
  E$ = "###          ##.###^"
  E$ = E$ + "          ##.###^"

```

```

FOR IP = 1 TO NP
PRINT #1, : PRINT #1, USING A$; IP
IF IP = 1 THEN PRINT #1, B$
PRINT #1, C$: PRINT #1, D$
  C = CO(IP): S = SE(IP): R = R(IP): B = BP(IP)
  JJ = JJ(IP): JK = JK(IP): JW = 3 + NJ + IP
  FOR IA = NA TO 1 STEP -1
    IL = (IA - 1) * ND      'calculo dos desloca/os do elemento
    D1 = C * V(IL + 1) + S * V(IL + 2) + R * V(IL + 3)
    D2 = V(IL + JJ)
    D3 = V(IL + JK)
    D4 = V(IL + JW)
    TA = (D2 - D3) / B      'giro da fibra horizontal inferior
    IL = IL + ND
    D6 = C * V(IL + 1) + S * V(IL + 2) + R * V(IL + 3)
    D7 = V(IL + JJ)
    D8 = V(IL + JK)
    D9 = V(IL + JW)
    TB = (D7 - D8) / B      'giro da fibra horizontal superior
    S1 = SK(1, IA, IP): S2 = SK(2, IA, IP): S3 = SK(3, IA, IP)
    S4 = SK(4, IA, IP): S5 = SK(5, IA, IP)
    P = .5 * S1 * (D7 + D8 - D2 - D3)      'Normal : (+) tracao
    FH = S2 * (D6 - D1) - S3 * (D4 + D9)   'Fhoriz.: (+) horario
    XMM = .5 * (S4 - S5) * (TB - TA)        'Mmedio : (+) tracao/
    AR = B * T(IA, IP)                      'Area          na esq.
    SG1 = P / AR
    SG2 = 6 * XMM / (AR * B)                 'Mm/Modulo de resist.
    SGE = SG1 + SG2                          'tensao normal na esq.
    SGD = SG1 - SG2                          'tensao normal na dir.
    TAU = FH / AR                            'tensao de cisalha/o
    PRINT #1, USING E$; IA, P, XMM, FH, SGE, SGD, TAU
  NEXT IA
NEXT IP
END SUB

SUB EsforçosLinteis
A$ = "ESFORÇOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO ## (conv. usual)"
B$ = "ESFORÇOS NOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO ## (conv. usual)"
C$ = "NIVEL          M esq.          M dir.          Cortante"
D$ = "###          ##.###^ ^ ^ ^          ##.###^ ^ ^ ^          ##.###^ ^ ^ ^"
FOR LT = 1 TO NL
  PRINT #1, : PRINT #1, USING A$; LT
  PRINT #1, B$: PRINT #1, C$
  J1 = J1(LT): J2 = J2(LT): K1 = K1(LT): K2 = K2(LT)
  ISN1 = 1: ISN2 = 1
  FOR IP = 1 TO NP
    IF JJ(IP) = J1 THEN ISN1 = -1      'ajuste de sinal caso
    IF JK(IP) = J2 THEN ISN2 = -1      'caso orientacao
    IF JK(IP) = J2 THEN ISN2 = -1      'lintel/painel
  NEXT IP
  'sejam diferentes.

```

```

FOR L = NF TO 1 STEP -1
  IL = (L - 1) * ND
  D1 = V(IL + J1)
  D2 = ISN1 * V(IL + K1)
  D3 = V(IL + J2)
  D4 = ISN2 * V(IL + K2)
  E1 = SL(1, L, LT) * (D1 - D3)
  E1 = E1 - SL(2, L, LT) * D2 - SL(5, L, LT) * D4
  E2 = SL(2, L, LT) * (D3 - D1)
  E2 = E2 + SL(3, L, LT) * D2 + SL(4, L, LT) * D4
  E4 = SL(5, L, LT) * (D3 - D1)
  E4 = E4 + SL(4, L, LT) * D2 + SL(6, L, LT) * D4
  PRINT #1, USING D$; L - 1, E2, -E4, E1
NEXT L
NEXT LT
END SUB

SUB FundacaoElastica
FOR I = 1 TO ND
  FOR J = I + 1 TO LSB
    SR(I, J) = S(I, J - I + 1)
  NEXT J
  FOR K = 1 TO I
    SR(I, K) = S(K, I - K + 1)
  NEXT K
NEXT I
IF IVE = 0 THEN EXIT SUB
FOR IP = 1 TO NP
  IF RT(IP) <> 0 OR RV(IP) <> 0 THEN
    R1 = .25 * RV(IP)
    R2 = RT(IP) / (BP(IP) * BP(IP))
    S(JJ(IP), 1) = S(JJ(IP), 1) + R1 + R2
    S(JK(IP), 1) = S(JK(IP), 1) + R1 + R2
    IF JK(IP) > JJ(IP) THEN
      JAUX = JK(IP) - JJ(IP) + 1
      S(JJ(IP), JAUX) = S(JJ(IP), JAUX) + R1 - R2
    ELSE
      JAUX = JJ(IP) - JK(IP) + 1
      S(JK(IP), JAUX) = S(JK(IP), JAUX) + R1 - R2
    END IF
  END IF
NEXT IP
END SUB

```

'montagem da sub-matriz
'[SR] (ndxlsb) a partir
'da matriz [S], para o
'calculo das reacoes:
'{RC} = [SR] * {D}
'ANTES das eventuais
'contribuicoes das
'fundacoes elasticas.
'nao tem fundacao elastica

SUB ImpressaoDados

```

PRINT #1, "COORDENADAS DOS PONTOS NODAIS"
PRINT #1, "~~~~~"
PRINT #1, "PONTO      COORD.X      COORD.Y"
      A$ = " ##      #####.###  #####.###"
FOR I = 4 TO ND - NP
  PRINT #1, USING A$; I, X(I), Y(I)
NEXT I
PRINT #1,
PRINT #1, "DADOS DOS PAINES"
PRINT #1, "~~~~~"
A$ = "NUM  JJ  JK      COS      SEN      BRACO"
A$ = A$ + "  LARGURA      RT      RV  "
B$ = "###  ##  ##  ##.###  ##.###  #####.###"
B$ = B$ + "  ###.###  ##.###^^^  ##.###^^^"
PRINT #1, A$
FOR I = 1 TO NP
  JJ = JJ(I): JK = JK(I): CO = CO(I): SE = SE(I): R = R(I)
  PRINT #1, USING B$; I, JJ, JK, CO, SE, R, BP(I), RT(I), RV(I)
NEXT I
PRINT #1,
PRINT #1, "DISTANCIA ENTRE DIAFRAGMAS E ESPESSURA DOS PAINES"
PRINT #1, "~~~~~"
FOR IA = 1 TO NA
  IF IA > 1 THEN PRINT #1,
  PRINT #1, USING "ANDAR###  H=#####.###"; IA, H(IA);
  FOR IP = 1 TO NP
    PRINT #1, USING "  T##=###.###"; IP, T(IA, IP);
    IF IP <> NP AND IP MOD 4 = 0 THEN
      PRINT #1, : PRINT #1, SPC(21);
    END IF
  NEXT IP
  PRINT #1,
NEXT IA
IF NL > 0 THEN
  A$ = "##.###^^^"
  B$ = "          ##  ##.###  ##.###"
  FOR I = 1 TO NL
    SELECT CASE IEL(I)
      CASE 1: E$ = "articulado/engastado"
      CASE 2: E$ = "engastado/articulado"
      CASE 3: E$ = "engastado/engastado"

```

```

END SELECT
PRINT #1,
PRINT #1, USING "DADOS DOS LINTEIS DA PRUMADA NUMERO##"; I
PRINT #1, "~~~~~"
PRINT #1, "No inicial do lintel .....: "; J1(I)
PRINT #1, "No final do lintel .....: "; J2(I)
PRINT #1, "Comprimento do lintel .....: "; HL(I)
PRINT #1, "Modulo de elasticidade longitudinal ....: ";
PRINT #1, USING A$; EL(I)
PRINT #1, "Coeficiente de Poisson .....: ";
PRINT #1, USING A$; POL(I)
PRINT #1, "Modulo de elasticidade transversal .....: ";
PRINT #1, USING A$; GL(I)
PRINT #1, "Coeficiente de forma da secao .....: ";
PRINT #1, USING A$; CFL(I)
PRINT #1, "Lintel "; E$
PRINT #1,
PRINT #1, "SECAO TRANSVERSAL: NIVEL          BASE          ALTURA"
FOR L = 1 TO NF
PRINT #1, USING B$; L - 1, BL(L, I), AL(L, I)
NEXT L
NEXT I
END IF
PRINT #1,
PRINT #1, "CARGAS APLICADAS NAS COORDENADAS DOS DIAFRAGMAS"
PRINT #1, "~~~~~"
PRINT #1, "NIVEL          CARGA X          CARGA Y          CARGA Z"
A$ = "###          #####.###          #####.###          #####.###"
B$ = "SOMA DAS CARGAS Fx ...:#####.###"
C$ = "SOMA DAS CARGAS Fy ...:#####.###"
D$ = "SOMA DAS CARGAS Mz ...:#####.###"
FOR I = 1 TO NF
J = (I - 1) * ND + 1
RCX = RCX + A(J): RCY = RCY + A(J + 1): RCZ = RCZ + A(J + 2)
PRINT #1, USING A$; I - 1, A(J), A(J + 1), A(J + 2)
NEXT I
PRINT #1,
PRINT #1, USING B$; RCX
PRINT #1, USING C$; RCY
PRINT #1, USING D$; RCZ
PRINT #1,
PRINT #1, "CARGAS VERTICAIS NOS PONTOS NODAIS DOS DIAFRAGMAS"
PRINT #1, "~~~~~"
A$ = "SOMA DAS CARGAS VERTICAIS ...:#####.###"
FOR I = 1 TO NF
IF I > 1 THEN PRINT #1,
PRINT #1, USING "NIVEL###"; I - 1;
FOR J = 4 TO ND - NP: K = (I - 1) * ND + J
RCV = RCV + A(K)
PRINT #1, USING " V## =#####.###"; J, A(K);
IF J <> ND AND (J + 1) MOD 4 = 0 THEN
PRINT #1, : PRINT #1, SPC(8);
END IF
NEXT J
PRINT #1,
NEXT I

```

```

PRINT #1,
PRINT #1, USING A$; RCV
END SUB

```

SUB Introducao

```

DIM W$(23)
W$(1) = "
W$(2) = " PROGRAMA <NUCLEO.BAS> INSTRUcoes
W$(3) = "
W$(4) = " Os diafragmas e andares sao numerados de baixo para ci
W$(5) = " Os dados devem estar em um arquivo na sequencia:
W$(6) = "
W$(7) = " a) Uma linha com nome conveniente para o exemplo
W$(8) = " b) Uma linha com observacoes, unidades, etc..
W$(9) = " c) Elasticidade, Poisson (dos paineis)
W$(10) = " d) NJ, NP, NA, NL
W$(11) = " e) K, X(K), Y(K)
W$(12) = " f) IP, JJ(IP), JK(IP), RT(IP), RV(IP)
W$(13) = " g) IA, H(IA), T(IA,IP) (IA=1 ate NA, IP=1 ate NP)
W$(14) = " h) L, EL(L), POL(L), J1(L), J2(L), IEL(L)
W$(15) = " i) I, BL(I,L), AL(I,L)
W$(16) = " j) A(I) (Cargas: NF linhas com 3 + NJ dados cada)
W$(17) = "
W$(18) = " Repetir os itens h) e i) NL vezes Tolerancia = 0 nao
W$(19) = "
W$(20) = " Arquivo com os dados .....:
W$(21) = " Arquivo p/os resultados .....:
W$(22) = " Tolerancia em % nas normais ...
W$(23) = "

```

CLS

```

FOR I = 1 TO 23
LOCATE I, 7
PRINT W$(I);
NEXT I
LOCATE 20, 42: INPUT DADO$
LOCATE 21, 42: INPUT RE$
LOCATE 22, 42: INPUT ; TOL: TOL = TOL / 100
IF TOL = 0 THEN NORMAL$ = "N" ELSE NORMAL$ = "S"
END SUB

```

SUB LeituraDados

```

FOR I = 1 TO NJ 'coordenadas dos nos
INPUT #2, K, X(K), Y(K)
NEXT I
NVR(1) = 1 'inicia a preparacao do vetor que indica os
NVR(2) = 2 'vinculos rigidos (vinculo elastico = 0).
NVR(3) = 3 'estes tres sao correspondentes a Ox, Oy e Oz
FOR I = 1 TO NP 'dados dos paineis
INPUT #2, K, JJ(K), JK(K), RT(K), RV(K)
CX = X(JK(K)) - X(JJ(K))
CY = Y(JK(K)) - Y(JJ(K))
BP(K) = SQR(CX * CX + CY * CY)
CO(K) = CX / BP(K)
SE(K) = CY / BP(K)
R(K) = X(JJ(K)) * SE(K) - Y(JJ(K)) * CO(K)

```

```

IF RT(K) <> 0 OR RV(K) <> 0 THEN
  IVE = 1                                'indica presenca de fund. elastica
ELSE
  NVR(JJ(K)) = JJ(K)
  NVR(JK(K)) = JK(K)
END IF
NEXT I
FOR J = 1 TO NA
  INPUT #2, IA, H(IA)                    'altura do andar
  FOR IP = 1 TO NP
    INPUT #2, T(IA, IP)                  'espessura dos paineis no andar
  NEXT IP
NEXT J
IF NL > 0 THEN
  FOR I = 1 TO NL                        'dados dos linteis
    INPUT #2, L, EL(L), POL(L), J1(L), J2(L), IEL(L)
    FOR J = 1 TO NP
      IF JJ(J) = J1(L) THEN K1(L) = NJ + 3 + J
      IF JK(J) = J1(L) THEN K1(L) = NJ + 3 + J
      IF JJ(J) = J2(L) THEN K2(L) = NJ + 3 + J
      IF JK(J) = J2(L) THEN K2(L) = NJ + 3 + J
    NEXT J
    GL(L) = EL(L) / (2 * (1 + POL(L)))
    CFL(L) = (1.2 + 1.1 * POL(L)) / (1 + POL(L))
    CX = X(J2(L)) - X(J1(L))
    CY = Y(J2(L)) - Y(J1(L))
    HL(L) = SQR(CX * CX + CY * CY)
    FOR J = 1 TO NF
      INPUT #2, IL, BL(IL, L), AL(IL, L)
    NEXT J
  NEXT I
END IF
FOR ID = 1 TO NF                          'dados do carregamento
  FOR I = 1 TO NJ + 3                      'as cargas correspondentes
    K = (ID - 1) * ND + I                  'as coordenadas rotacao dos
    INPUT #2, A(K)                          'dos elementos, sempre nulas
                                          'nao precisam ser fornecidas
  NEXT I
NEXT ID
FOR I = 1 TO 3 + NJ                        'contribuicao das cargas
  RC(I) = -A(I)                             'aplicadas nas coordenadas
                                          'das "reacoes"
NEXT I
END SUB

SUB Reacoes
FOR I = 1 TO 3 + NJ
  FOR J = 1 TO LSB
    RC(I) = RC(I) + SR(I, J) * V(J)
  NEXT J
NEXT I
PRINT #1,
PRINT #1, "REACOES NA ORIGEM DO SISTEMA"
PRINT #1, "~~~~~"

```

```

PRINT #1, "EIXO          REACAO"
  A$ = " \          ##.###^"
PRINT #1, USING A$; "X", RC(1)
PRINT #1, USING A$; "Y", RC(2)
PRINT #1, USING A$; "Z", RC(3)
PRINT #1,
PRINT #1, "REACOES NOS VINCULOS VERTICAIS"
PRINT #1, "~~~~~"
PRINT #1, "VINCULO          REACAO          TIPO"
  A$ = " ##          ##.###^"
  B$ = "SOMA DAS REACOES VERTICAIS ...:##.###^"
FOR I = 4 TO 3 + NJ
  RV = RV + RC(I)
  IF NVR(I) = 0 THEN R$ = "ELASTICO" ELSE R$ = " RIGIDO"
  PRINT #1, USING A$; I, RC(I), R$
NEXT I
PRINT #1, : PRINT #1, USING B$; RV
END SUB

```

SUB ResultadosDiafragmas

```

A$ = "RESULTADOS FINAIS - OBTIDOS APOS### CICLOS"
B$ = "TOLERANCIA NA VARIACAO DAS NORMAIS = ##.# %"
PRINT #1,
PRINT #1, USING A$; NCICLOS
PRINT #1, STRING$(LEN(A$), "~")
PRINT #1, USING B$; TOL * 100
PRINT #1, STRING$(LEN(B$), "~")
IF NORMAL$ = "S" THEN
  C$ = "ATENCAO - PARA A TOLERANCIA ADOTADA "
  C$ = C$ + "NAO CONVERGIU EM ## CICLOS"
  D$ = STRING$(LEN(C$), "~")
  PRINT #1, USING C$; NCICLOS: PRINT #1, D$
END IF
PRINT #1,
PRINT #1, "DESLOCAMENTOS DOS DIAFRAGMAS"
PRINT #1, "~~~~~"
PRINT #1, "NIVEL          DESL.X          DESL.Y          DESL.Z"
  A$ = " ##          ##.###^          ##.###^          ##.###^"
FOR I = NF TO 1 STEP -1
  J = (I - 1) * ND + 1
  PRINT #1, USING A$; I - 1, V(J), V(J + 1), V(J + 2)
NEXT I
END SUB

```

SUB RigidezElementos

```

FOR IP = 1 TO NP
  B = BP(IP)
  FOR IA = 1 TO NA
    T = T(IA, IP): H = H(IA): P = P(IA, IP)
    TA = T(IA - 1, IP): HA = H(IA - 1): PA = P(IA - 1, IP)
    IND = 1
    IF T = TA AND H = HA AND P = PA THEN IND = 0

```



```

IF IND = 0 THEN
  FOR K = 1 TO 9
    SK(K, IA, IP) = SK(K, IA - 1, IP)
  NEXT K
ELSE
  EA = E * T * B
  EI = EA * B * B / 12
  C1 = (1 - .63 * T / B) / 3      'coeficiente "TIMOSHENKO"
  TJ = C1 * B * T ^ 3           'momento polar de inercia
  SK(1, IA, IP) = EA / H
  SK(6, IA, IP) = G * TJ / H
  SK(7, IA, IP) = G * H * T / 2
  SK(8, IA, IP) = SK(7, IA, IP) / B
  SK(9, IA, IP) = SK(7, IA, IP) * B
  SELECT CASE P
    CASE IS < -.01
      AF = SQR(-P / EI)
      EP = AF * H
      S = SIN(EP)
      C = COS(EP)
      AUX = EI * AF / (2 - 2 * C - EP * S)
      SK(2, IA, IP) = AUX * AF * AF * S
      SK(3, IA, IP) = AUX * AF * (1 - C)
      SK(4, IA, IP) = AUX * (S - EP * C)
      SK(5, IA, IP) = AUX * (EP - S)
      SK(6, IA, IP) = SK(6, IA, IP) + P * B * B / (12 * H)
    CASE IS > .01
      AF = SQR(P / EI)
      EP = AF * H
      S = (EXP(EP) - EXP(-EP)) / 2
      C = (EXP(EP) + EXP(-EP)) / 2
      AUX = EI * AF / (2 - 2 * C + EP * S)
      SK(2, IA, IP) = AUX * AF * AF * S
      SK(3, IA, IP) = AUX * AF * (C - 1)
      SK(4, IA, IP) = AUX * (EP * C - S)
      SK(5, IA, IP) = AUX * (S - EP)
      SK(6, IA, IP) = SK(6, IA, IP) + P * B * B / (12 * H)
    CASE ELSE
      SK(5, IA, IP) = 2 * EI / H
      SK(4, IA, IP) = 2 * SK(5, IA, IP)
      SK(3, IA, IP) = 3 * SK(5, IA, IP) / H
      SK(2, IA, IP) = 2 * SK(3, IA, IP) / H
  END SELECT
END IF
NEXT IA
NEXT IP
END SUB

```

SUB RigidezLinteis

```

FOR LT = 1 TO NL
  HL = HL(LT)
  J1 = J1(LT): J2 = J2(LT): K1 = K1(LT): K2 = K2(LT)
  ISN1 = 1: ISN2 = 1
  FOR IP = 1 TO NP
    IF JJ(IP) = J1 THEN ISN1 = -1
    IF JK(IP) = J2 THEN ISN2 = -1
  NEXT IP
  ISN3 = ISN1 * ISN2
  FOR L = 1 TO NF
    BL1 = BL(L, LT): BLO = BL(L - 1, LT)
    AL1 = AL(L, LT): ALO = AL(L - 1, LT)
    IF NCICLOS = 0 THEN
      IF BL1 = BLO AND AL1 = ALO THEN
        FOR J = 1 TO 6
          SL(J, L, LT) = SL(J, L - 1, LT)
        NEXT J
      ELSE
        EI = EL(LT) * BL1 * AL1 ^ 3 / 12
        GA = GL(LT) * BL1 * AL1: IF GA = 0 THEN GA = 1
        AK = 12 * CFL(LT) * EI / (GA * HL * HL)
        SELECT CASE IEL(LT)
          CASE 1
            SL(6, L, LT) = 12 * EI / (HL * (4 + AK))
            SL(5, L, LT) = SL(6, L, LT) / HL
            SL(1, L, LT) = SL(5, L, LT) / HL
            SL(2, L, LT) = 0
            SL(3, L, LT) = 0
            SL(4, L, LT) = 0
          CASE 2
            SL(3, L, LT) = 12 * EI / (HL * (4 + AK))
            SL(2, L, LT) = SL(3, L, LT) / HL
            SL(1, L, LT) = SL(2, L, LT) / HL
            SL(4, L, LT) = 0
            SL(5, L, LT) = 0
            SL(6, L, LT) = 0
          CASE 3
            EIL = EI / (1 + AK)
            SL(2, L, LT) = 6 * EIL / (HL * HL)
            SL(1, L, LT) = 2 * SL(2, L, LT) / HL
            SL(3, L, LT) = (4 + AK) * EIL / HL
            SL(4, L, LT) = (2 - AK) * EIL / HL
            SL(5, L, LT) = SL(2, L, LT)
            SL(6, L, LT) = SL(3, L, LT)
        END SELECT
      END IF
    END IF
  END IF
  SL1 = SL(1, L, LT): SL2 = SL(2, L, LT): SL3 = SL(3, L, LT)
  SL4 = SL(4, L, LT): SL5 = SL(5, L, LT): SL6 = SL(6, L, LT)

```

```

IL = (L - 1) * ND
IC = -J1 + 1
S(IL + J1, IC + J1) = S(IL + J1, IC + J1) + SL1
IF J1 < J2 THEN
  S(IL + J1, IC + J2) = S(IL + J1, IC + J2) - SL1
END IF
S(IL + J1, IC + K1) = S(IL + J1, IC + K1) - ISN1 * SL2
S(IL + J1, IC + K2) = S(IL + J1, IC + K2) - ISN2 * SL5
IC = -J2 + 1
IF J2 < J1 THEN
  S(IL + J2, IC + J1) = S(IL + J2, IC + J1) - SL1
END IF
S(IL + J2, IC + J2) = S(IL + J2, IC + J2) + SL1
S(IL + J2, IC + K1) = S(IL + J2, IC + K1) + ISN1 * SL2
S(IL + J2, IC + K2) = S(IL + J2, IC + K2) + ISN2 * SL5
IC = -K1 + 1
S(IL + K1, IC + K1) = S(IL + K1, IC + K1) + SL3
IF K1 < K2 THEN
  S(IL + K1, IC + K2) = S(IL + K1, IC + K2) + ISN3 * SL4
END IF
IC = -K2 + 1
IF K2 < K1 THEN
  S(IL + K2, IC + K1) = S(IL + K2, IC + K1) + ISN3 * SL4
END IF
S(IL + K2, IC + K2) = S(IL + K2, IC + K2) + SL6
NEXT L
NEXT LT
END SUB

SUB RigidezSistema
ERASE S: REDIM S(N, LSB)
FOR IP = 1 TO NP
  C = CO(IP): S = SE(IP): R = R(IP)
  JJ = JJ(IP): JK = JK(IP)
  JW = NJ + 3 + IP
  FOR IA = 1 TO NA
    S1 = SK(1, IA, IP) / 4
    S2 = SK(2, IA, IP): S3 = SK(3, IA, IP): S4 = SK(4, IA, IP)
    S5 = SK(5, IA, IP): S6 = SK(6, IA, IP): S7 = SK(7, IA, IP)
    S8 = SK(8, IA, IP): S9 = SK(9, IA, IP)
    IL = (IA - 1) * ND
    IC = 0
    S(IL + 1, IC + 1) = S(IL + 1, IC + 1) + C * C * S2
    S(IL + 1, IC + 2) = S(IL + 1, IC + 2) + C * S * S2
    S(IL + 1, IC + 3) = S(IL + 1, IC + 3) + C * R * S2
    S(IL + 1, IC + JW) = S(IL + 1, IC + JW) + C * S3
    IC = ND + IC
    S(IL + 1, IC + 1) = S(IL + 1, IC + 1) - C * C * S2
    S(IL + 1, IC + 2) = S(IL + 1, IC + 2) - C * S * S2
    S(IL + 1, IC + 3) = S(IL + 1, IC + 3) - C * R * S2
    S(IL + 1, IC + JW) = S(IL + 1, IC + JW) + C * S3
    IC = -1
    S(IL + 2, IC + 2) = S(IL + 2, IC + 2) + S * S * S2
    S(IL + 2, IC + 3) = S(IL + 2, IC + 3) + S * R * S2
    S(IL + 2, IC + JW) = S(IL + 2, IC + JW) + S * S3
  
```

```

IC = ND + IC
S(IL + 2, IC + 1) = S(IL + 2, IC + 1) - S * C * S2
S(IL + 2, IC + 2) = S(IL + 2, IC + 2) - S * S * S2
S(IL + 2, IC + 3) = S(IL + 2, IC + 3) - S * R * S2
S(IL + 2, IC + JW) = S(IL + 2, IC + JW) + S * S3
IC = -2
S(IL + 3, IC + 3) = S(IL + 3, IC + 3) + R * R * S2 + S6
S(IL + 3, IC + JW) = S(IL + 3, IC + JW) + R * S3
IC = ND + IC
S(IL + 3, IC + 1) = S(IL + 3, IC + 1) - R * C * S2
S(IL + 3, IC + 2) = S(IL + 3, IC + 2) - R * S * S2
S(IL + 3, IC + 3) = S(IL + 3, IC + 3) - R * R * S2 - S6
S(IL + 3, IC + JW) = S(IL + 3, IC + JW) + R * S3
IC = -JJ + 1
S(IL + JJ, IC + JJ) = S(IL + JJ, IC + JJ) + S1 + S8
IF JJ < JK THEN
  S(IL + JJ, IC + JK) = S(IL + JJ, IC + JK) + S1 - S8
END IF
S(IL + JJ, IC + JW) = S(IL + JJ, IC + JW) - S7
IC = ND + IC
S(IL + JJ, IC + JJ) = S(IL + JJ, IC + JJ) - S1
S(IL + JJ, IC + JK) = S(IL + JJ, IC + JK) - S1
IC = -JK + 1
IF JK < JJ THEN
  S(IL + JK, IC + JJ) = S(IL + JK, IC + JJ) + S1 - S8
END IF
S(IL + JK, IC + JK) = S(IL + JK, IC + JK) + S1 + S8
S(IL + JK, IC + JW) = S(IL + JK, IC + JW) + S7
IC = ND + IC
S(IL + JK, IC + JJ) = S(IL + JK, IC + JJ) - S1
S(IL + JK, IC + JK) = S(IL + JK, IC + JK) - S1
IC = -JW + 1
S(IL + JW, IC + JW) = S(IL + JW, IC + JW) + S4 + S9
IC = ND + IC
S(IL + JW, IC + 1) = S(IL + JW, IC + 1) - C * S3
S(IL + JW, IC + 2) = S(IL + JW, IC + 2) - S * S3
S(IL + JW, IC + 3) = S(IL + JW, IC + 3) - R * S3
S(IL + JW, IC + JW) = S(IL + JW, IC + JW) + S5
IL = IL + ND
IC = 0
S(IL + 1, IC + 1) = S(IL + 1, IC + 1) + C * C * S2
S(IL + 1, IC + 2) = S(IL + 1, IC + 2) + C * S * S2
S(IL + 1, IC + 3) = S(IL + 1, IC + 3) + C * R * S2
S(IL + 1, IC + JW) = S(IL + 1, IC + JW) - C * S3
IC = -1
S(IL + 2, IC + 2) = S(IL + 2, IC + 2) + S * S * S2
S(IL + 2, IC + 3) = S(IL + 2, IC + 3) + S * R * S2
S(IL + 2, IC + JW) = S(IL + 2, IC + JW) - S * S3
IC = -2
S(IL + 3, IC + 3) = S(IL + 3, IC + 3) + R * R * S2 + S6
S(IL + 3, IC + JW) = S(IL + 3, IC + JW) - R * S3

```

```

    IC = -JJ + 1
    S(IL + JJ, IC + JJ) = S(IL + JJ, IC + JJ) + S1 + S8
    IF JJ < JK THEN
        S(IL + JJ, IC + JK) = S(IL + JJ, IC + JK) + S1 - S8
    END IF
    S(IL + JJ, IC + JW) = S(IL + JJ, IC + JW) - S7
    IC = -JK + 1
    IF JK < JJ THEN
        S(IL + JK, IC + JJ) = S(IL + JK, IC + JJ) + S1 - S8
    END IF
    S(IL + JK, IC + JK) = S(IL + JK, IC + JK) + S1 + S8
    S(IL + JK, IC + JW) = S(IL + JK, IC + JW) + S7
    IC = -JW + 1
    S(IL + JW, IC + JW) = S(IL + JW, IC + JW) + S4 + S9
NEXT IA
NEXT IP
END SUB

SUB SolveGauss
FOR I = 1 TO N
    V(I) = A(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO 3 + NJ
    IF NVR(I) <> 0 THEN
        S(I, 1) = 1
        V(I) = 0
        FOR J = 2 TO LSB
            S(I, J) = 0
            K = I - J + 1
            IF K > 0 THEN S(K, J) = 0
        NEXT J
    END IF
NEXT I
FOR L = 1 TO N - 1
    I1 = L + LSB - 1
    IF I1 > N THEN I1 = N
    FOR I = L + 1 TO I1
        IF S(L, I - L + 1) <> 0 THEN
            AUX = S(L, I - L + 1) / S(L, 1)
            I2 = L + LSB - I
            I3 = N - I + 1
            IF I2 > I3 THEN I2 = I3
            FOR J = 1 TO I2
                S(I, J) = S(I, J) - AUX * S(L, J - L + I)
            NEXT J
            IF V(L) <> 0 THEN V(I) = V(I) - AUX * V(L)
        END IF
    NEXT I
NEXT L

```

'V(N) = vetor auxiliar,
'necessario para preservar
'o vetor A(N) (varios ciclos).
'Imposicao das restricoes de apoio

'Solucao do sistema por Gauss

```

V(N) = V(N) / S(N, 1)
FOR I = N - 1 TO 1 STEP -1
  AUX = V(I)
  I2 = I + LSB - 1
  IF I2 > N THEN I2 = N
  FOR K = I + 1 TO I2
    IF S(I, K - I + 1) <> 0 THEN
      AUX = AUX - S(I, K - I + 1) * V(K)
    END IF
  NEXT K
  V(I) = AUX / S(I, 1)
NEXT I
END SUB

SUB VerificaCiclo
FOR IP = 1 TO NP
  JJ = JJ(IP): JK = JK(IP)
  FOR IA = 1 TO NA
    IL = (IA - 1) * ND
    D2 = V(IL + JJ)
    D3 = V(IL + JK)
    IL = IL + ND
    D7 = V(IL + JJ)
    D8 = V(IL + JK)
    P(IA, IP) = .5 * SK(1, IA, IP) * (D7 + D8 - D2 - D3)
  NEXT IA
NEXT IP
NCICLOS = NCICLOS + 1
IF NCICLOS > 1 THEN
  NORMAL$ = "N"
  'nao precisa verificar para
  'entrar no primeiro ciclo
  FOR IP = 1 TO NP
    FOR IA = 1 TO NA
      P = P(IA, IP): PA = PA(IA, IP): VARIACAO = 0
      IF P <> 0 AND ABS(P - PA) >= .01 THEN
        VARIACAO = ABS((P - PA) / P)
      END IF
      IF VARIACAO >= TOL THEN NORMAL$ = "S": EXIT FOR
    NEXT IA
  NEXT IP
END IF
IF NORMAL$ = "N" THEN EXIT SUB
FOR IP = 1 TO NP
  FOR IA = 1 TO NA
    PA(IA, IP) = P(IA, IP)
  NEXT IA
NEXT IP
END SUB

```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - GERE, J.M. and WEAVER, W.Jr. - Analysis of framed structures. - Van Nostrand Reinhold Company - 1965.
- 02 - WEAVER, W.Jr. - Computer programs for structural analysis - Van Nostrand Company - 1967.
- 03 - RUBINSTEIN, M.F. - Matrix computer analysis of structures - Prentice-Hall, Inc. - 1968.
- 04 - TIMOSHENKO, S.P. y GOODIER, J.N. - Teoria de la elasticidad - Segunda edição, Ediciones Urmo, Bilbao - 1968.
- 05 - TIMOSHENKO, S.P. and GERE, J.M. - Theory of elastic stability - Segunda edição, International Student Edicion, McGraw-Hill - 1963.
- 06 - McGUIRE, W. - Steel structures - Prentice-Hall, Inc. - 1968.
- 07 - VLASSOV, B.Z. - Pieces longues en voiles minces - Éditions Eyrolles - 1962.
- 08 - YAGUI, T. - Análise de estruturas de edifícios constituídos de núcleos de concreto armado e pilares ou pendurais de aço - Tese de livre docência - FEC - UNICAMP, 1978.
- 09 - STAMATO, M.C. - Estado atual da análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos - Publicação nº 163, EESC - USP, 1972.

- 10 - STAMATO, M.C. - Associação contínua de painéis de contraventamento - Publicação nº 157, EESC - USP, 1971.
- 11 - FRANCO, M. - Alguns problemas relativos à ação do vento em edifícios de grande altura - Tese de doutoramento, Escola Politécnica - USP, 1966.
- 12 - MANCINI, E. - Associação contínua tridimensional de pórticos e paredes com engastamento elástico - Dissertação de mestrado - Publicação nº 166, EESC - USP, 1972.
- 13 - MANCINI, E. - Análise contínua de estruturas de edifícios elevados sujeitos à ação do vento - Tese de doutoramento - Publicação nº 184, EESC - USP, 1973.
- 14 - MANCINI, E. - Núcleo estrutural sobre fundação flexível - Publicação da EESC - USP, 1983.
- 15 - BECK, H. - Contribution of the analysis of coupled shear walls - J. Am.Concr.Inst., 1962, august, pp 1055-1069.
- 16 - ROSMAN, R. - Approximate analysis of shear walls subject to lateral loads - J.Am.Concr.Inst., 1964, june, pp 717-732.
- 17 - TSO, W.K. and CHAN, P.C.K. - Flexible foundation effect on coupled shear wall - ACI Journal, 1972, nov., pp 678-683.

- 18 - TSO, W.K. and BISWAS, J.K. - General analysis of nonplanar coupled shear walls - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1973, march, pp 365-380.
- 19 - GLUCK, J. - Lateral-load analysis of asymmetric multistory structures - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1970, feb., pp 317-333.
- 20 - RUTENBERG, A.V. and TSO, W.K. - Torsional analysis of perforated core structure - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1975, march, pp 539-550.
- 21 - RUTENBERG, A.V. and SHTARKMAN, M. and EISENBERGER, M. - Torsional analysis methods for perforated cores - Journal of Structural Division, proc. ASCE, june, 1986, pp 1207-1227.
- 22 - KHAN, M.A.H. and STAFFORD SMITH, B - Restraining action of bracing in thin-walled open section beams - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1975, march, pp 67-78.
- 23 - STAFFORD SMITH, B and TARANATH, B.S. - The analysis of tall core-supported structures subject to torsion - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1972, sept., pp 173-188.
- 24 - COULL, A. and CHANTAKSINOPAS, B. - Design curves for coupled shear walls on flexible bases - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1974, dec., pp 595-618.

- 25 - LIAUW, T.C. and LUK, W.K. - Torsion of core walls of nonuniform section - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1980, sept., pp 1921-1931.
- 26 - TARANATH, B.S. - Analysis of interconnected open section shear wall structure - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1975, nov., pp 2367-2384.
- 27 - HEIDEBRECHT, A.C. and SWIFT, R.D. - Analysis of asymmetrical coupled shear walls - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1971, may, pp 1407-1422.
- 28 - ZIENKIEWICZ, O.C. and PAREKH, C.J. and TEPLY, B. - Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1971, july, pp 319-332.
- 29 - CHEUNG, Y.K. and SWADDIWUPONG, S. - Analysis of frame shear wall structures using finite strip elements - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1978, sept., pp 517-535.
- 30 - HO, D. and LIU, C.H. - Analysis of shear wall and shear-core assembly subjected to lateral and torsional loading - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1985, mar., pp 119-133.
- 31 - MacLEOD, I.A. - New rectangular finite element for shear wall analysis - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1969, march, pp 399-409.

- 32 - STAMATO, M.C. and STAFFORD SMITH, B. - An approximate method for the three-dimensional analysis of tall buildings - Proc. Instn. Civ. Engrs., 1969, july, pp 361-379.
- 33 - MacLEOD, I.A. - Structural analysis of wall systems - Structural Engineer, 1977, november, n° 11, vol 35.
- 34 - MacLEOD, I.A. - Analysis of shear wall buildings by the frame method - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1973, sept., pp 593-603.
- 35 - MacLEOD, I.A. - General frame element for shear wall analysis - Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1976, dec., pp 785-790.
- 36 - MacLEOD, I.A. and HOSNY, H.M. - Frame analysis of shear wall cores - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1977, oct., pp 2037-2047.
- 37 - STAFFORD SMITH, B. and ABATE, A. - Analysis of non-planar shear wall assemblies by analogous frame-Proc. Instn. Civ. Engrs., part 2, 1981, june, pp 395-406.
- 38 - STAFFORD SMITH, B. and GIRGIS, A. - Simple analogous frames for shear wall analysis - Journal of the Structural Division, proc. ASCE, 1984, nov., pp 2655-2666.
- 39 - KWAN, A.K.H. - Analysis of coupled wall/frame structures by frame method with shear deformation allowed - Proc. Instn. Civ. Engr., part 2, 1991, june, pp 273-297.

- 40 - YAGUI, T. - Critical loading of tall core-supported structures - Computer and Structures, vol. 36, n° 2, 1990, pp 223-235.
- 41 - YAGUI, T. - Estruturas constituídas de paredes delgadas com diafragmas transversais - Tese de Doutorado - EESC - ,USP, 1971.
- 42 - COWPER, G.R. - The shear coefficient in Timoshenko's beam theory - Journal of Applied Mechanics, June, 1966, pp 335-339.
- 43 - BARBOSA, J.A. - Edifícios com paredes de seção aberta contraventados por lintéis, sob carga lateral - Tese de mestrado - EESC - USP, 1978.
- 44 - COSTA, J.L. - Núcleos estruturais sobre fundações flexíveis - Tese de mestrado - EESC - USP, 1984.
- 45 - YAGUI, T. - Op. cit. 08, p 46.
- 46 - MCGUIRRE, W. - Op. cit. 06, pp 520-526.
- 47 - TIMOSHENKO, S.P y GERE, W - Op. cit. 05, p 315.
- 48 - RUBINSTEIN, M.F. - Op. cit. 03, p 189.
- 49 - UMANSKY. A.A. - Torsion and bending in thin-walled flight structures - Oborongiz, Moscow, 1931.
- 50 - BENSCOTER, S.V. - A teory of torsion bending of multicell beans - Journal of Applied Mechanics, mar, 1954, pp 25-34.

- 51 - MICHAEL, D. - The effect of local wall deformation on the elastic interaction of cross wall coupled by beams - Symposium on tall buildings - Univ. of Southampton, apr, 1966, pp 253-272.

