

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

***CONSIDERAÇÃO DAS LAJES NA ANÁLISE DE
ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS***

Fábio Luís Alminhana de Oliveira

Dissertação apresentada ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de *Mestre em Engenharia*.

PORTO ALEGRE

1998

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de *Mestre em Engenharia* e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Prof. Ronald José Ellwanger
Orientador

Prof^a. Denise Dal Molin
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA:

- Prof. Ronald José Ellwanger
Dr. pela COPPE/UFRJ

- Prof. Américo Campos Filho
Dr. pela EPUSP

- Prof. Francisco de P.S.L. Gastal
Ph.D. pela North Carolina State University

- Prof. Sérgio Roberto Maestrini
Ph.D. pela North Carolina State University

Porto Alegre, maio de 1998.

Dedico este trabalho à
minha família e à Cristiane.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ronald José Ellwanger, por sua dedicação e esforço pessoal na elaboração desta dissertação.

Ao professor Armando Miguel Awruch pela indicação do tema de dissertação.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo inestimável conhecimento transmitido; e aos funcionários pela colaboração cotidiana.

Aos colegas de Pós-Graduação, pelo convívio, amizade e colaboração prestados ao longo do curso.

Ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, pela oportunidade propiciada.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização do presente trabalho.

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	vii
LISTAS DE GRÁFICOS	ix
LISTAS DE TABELAS	x
LISTAS DE SÍMBOLOS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	1
1.2 - O MÉTODO DA SUBESTRUTURAÇÃO	2
1.3 - O SISTEMA ANASUPER/PAV - VERSÃO ORIGINAL	6
1.3.1 - BREVE HISTÓRICO	6
1.3.2 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA	7
1.3.3 - IDEALIZAÇÃO ESTRUTURAL	8
1.3.4 - SISTEMAS DE NUMERAÇÃO	12
1.3.5 - ENTRADA E GERAÇÃO DE DADOS	12
1.3.6 - DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS	16
1.4 - OBJETIVOS DO TRABALHO	18
1.5 - ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 - FORMULAÇÃO BÁSICA DO MÉTODO DA SUBESTRUTURAÇÃO	21
2.1.1 - SISTEMA LOCAL DE UM SUPERELEMENTO	23
2.2 - MODELOS DE SUBESTRUTURAÇÃO	25
2.3 - FORMULAÇÃO DO ELEMENTO TRIANGULAR DE FLEXÃO DE PLACA ..	29
2.4 - DEFINIÇÃO DAS MALHAS PARA AS LAJES	33
2.4.1 - MALHAS PARA LAJES RETANGULARES	36
2.4.2 - MALHAS PARA LAJES EM "L"	37

3	DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL	39
3.1	- MÓDULOS DO ANASUPER/PAV	39
3.1.1	- MÓDULO ETADAD	42
3.1.2	- MÓDULO ETAPRO	43
3.2	- DIMENSIONAMENTO DAS LAJES	50
4	EXEMPLOS	55
4.1	- EXEMPLO 1	55
4.2	- EXEMPLO 2	59
4.2.1	- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.2.2	- DIMENSIONAMENTO DAS LAJES	62
4.3	- EXEMPLO 3	67
4.3.1	- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	67
4.3.2	- DESEMPENHO COMPUTACIONAL	73
4.3.3	- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	74
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
	ANEXO A	97

LISTA DE FIGURAS

1.1 - Elemento finito e superelemento.....	3
1.2 - Exemplo de subestruturação em múltiplos níveis.....	5
1.3 - Sistema Global de Eixos do ANASUPER/PAV.....	7
1.4 - Graus de liberdade do nó principal e dos demais nós do pavimento.....	9
1.5 - Sistema Local de eixos de um pilar.....	10
1.6 - Definição dos tramos de uma viga.....	11
1.7 - Sistema de Referência Local de uma viga.....	11
1.8 - Distâncias DX e DY.....	15
2.1 - Sistema de referência local de um superelemento.....	23
2.2 - Pavimento a ser discretizado.....	26
2.3 - Tipos de nós.....	26
2.4 - Elemento triangular de flexão de placa DKT.....	30
2.5 - Coordenadas de área ξ e η	31
2.6 - Triângulo para definição do critério de distorção.....	33
2.7 - Malha 1.....	34
2.8 - Malha 2.....	35
2.9 - Malha para lajes com relação entre lados de 1,5 a 2...	36
2.10 - Divisão da laje em "L" em retângulos.....	38
3.1 - Módulos do ANASUPER/PAV.....	39
3.2 - Nós para a entrada de dados das lajes retangulares....	42
3.3 - Nós para a entrada de dados das lajes em "L".....	43
3.4 - Fluxograma do gerador de malhas.....	46
3.5 - Malha gerada para uma laje retangular alongada.....	47
3.6 - Malha gerada para uma laje em "L".....	47
3.7 - Malha gerada para uma laje em "L" com abas curtas.....	47
3.8 - Fluxograma da criação dos elementos de barra.....	49
3.9 - Geração das barras que compõe a grelha do pavimento...	51

3.10 - Fluxograma do processo de dimensionamento das lajes..	52
3.11 - Numeração dos bordos das lajes.....	54
4.1 - Pavimento do exemplo 1 e malha da laje L1.....	56
4.2 - Superfícies deformadas da laje.....	58
4.3 - Pavimentos do exemplo 2.....	60
4.4 - Distribuição de momentos na dir. X para o pav. 1.....	63
4.5 - Distribuição de momentos na dir. X para o pav. 2.....	63
4.6 - Distribuição de momentos na dir. X para o pav. 3.....	64
4.7 - Distribuição de momentos na dir. X para o pav. 4.....	64
4.8 - Relatório de dimensionamento da laje L1 do pav. 2.....	65
4.9 - Relatório de dimensionamento da laje L2 do pav. 2.....	66
4.10 - Relatório de dimensionamento da laje L2 do pav. 3....	66
4.11 - Estrutura do edifício.....	68
4.12 - Pavimento-tipo 1.....	70
4.13 - Pavimento-tipo 2.....	71
4.14 - Pavimento-tipo 3.....	72
4.15 - Numeração dos nós do pavimento-tipo 1.....	77
4.16 - Relatório de dimensionamento da laje L14 do 8° andar .	88
4.17 - Relatório de dimensionamento da laje L10 do 10° andar	89
4.18 - Relatório de dimensionamento da laje L12 do 20° andar	89

LISTA DE GRÁFICOS

4.1 - Curvas deformadas da seção central.....	58
4.2 - Esforço Normal no pilar P3.....	61
4.3 - Distribuição da pressão dinâmica do vento sobre o edifício.....	69
4.4 - Deslocamentos dos pisos na direção X.....	75
4.5 - Diagrama de momentos fletores da viga V3.....	79
4.6 - Diagrama de momentos fletores da viga V13.....	80
4.7 - Diagrama de momentos fletores da viga V18.....	80
4.8 - Diagrama de esforços cortantes para a viga V13.....	81
4.9 - Diagrama de esforços cortantes para a viga V18.....	81
4.10 - Esforço normal no pilar P5.....	83
4.11 - Esforço cortante no pilar P22.....	84
4.12 - Momento fletor no pilar P22.....	85
4.13 - Momentos na dir. X das lajes do 6° andar.....	86
4.14 - Momentos na dir. Y das lajes do 6° andar.....	87

LISTA DE TABELAS

2.1 - Nós dos níveis de subestruturação do modelo 1.....	27
2.2 - Nós dos níveis de subestruturação do modelo 2.....	27
2.3 - Nós dos níveis de subestruturação do modelo 3.....	28
2.4 - Nós dos níveis de subestruturação da versão definitiva	29
2.5 - Deslocamentos no centro da laje.....	35
2.6 - Momentos fletores nas direções x e y no centro da laje	35
4.1 - Deslocamentos verticais.....	57
4.2 - Solicitações no topo dos pilares.....	62
4.3 - Cargas totais aplicadas à estrutura.....	73
4.4 - Dados relativos ao processamento do exemplo 3.....	73
4.5 - Deslocamentos horizontais em X.....	75
4.6 - Reações na base para o carregamento de vento em X.....	76
4.7 - Deslocamentos Verticais nos nós internos do 2º piso	78
4.8 - Valores de momentos fletores da viga V3.....	79
4.9 - Valores de momentos fletores da viga V13.....	80
4.10 - Valores de momentos fletores da viga V18.....	80
4.11 - Valores máximos de esforço cortante para a viga V13..	81
4.12 - Valores máximos de esforço cortante para a viga V18..	81
4.13 - Valores de esforços para o pilar P5.....	83
4.14 - Valores de esforços para o pilar P22.....	84
4.15 - Momentos máximos na dir. X para as lajes do 6º andar .	86
4.16 - Momentos máximos na dir. Y para as lajes do 6º andar .	87

LISTA DE SÍMBOLOS

LETRAS ROMANAS MAIÚSCULAS

A	- área de um elemento finito triangular
$A_{i,i=1,3}$	- áreas parciais de um triângulo
D_x	- deslocamentos na direção do eixo X
D_y	- deslocamentos na direção do eixo Y
D_z	- deslocamentos na direção do eixo Z
DX	- distância do eixo do pilar até o centro de gravidade da seção, na direção X
DY	- distância do eixo do pilar até o centro de gravidade da seção, na direção Y
E	- módulo de elasticidade longitudinal
G	- módulo de elasticidade transversal
H	- espessura de laje
K	- matriz de rigidez da estrutura
K_i^p	- matriz de rigidez de um elemento ou superelemento
K_{aa}	- parte da matriz de rigidez referente a nós internos
K_{bb}	- parte da matriz de rigidez referente a nós externos
\bar{K}_{bb}	- matriz de rigidez condensada nos graus de liberdade externos do superelemento
$L_{i,i=1,6}$	- lados de uma laje
L1,L2,....	- numeração das lajes
M_x	- momentos fletores em relação ao eixo X
M_y	- momentos fletores em relação ao eixo Y
M_z	- momentos fletores em relação ao eixo Z
Mmax	- momento fletor máximo
P1,P2,....	- numeração dos pilares
P	- vetor de cargas nodais da estrutura
P_a	- partição do vetor de cargas referente a nós internos

P_b	- partição do vetor de cargas referente a nós externos
\bar{P}_b	- vetor de cargas condensado nos graus de liberdade externos do superelemento
P_i^p	- vetor de cargas de um elemento ou superelemento
R_x	- rotação em torno do eixo X
R_y	- rotação em torno do eixo Y
R_z	- rotação em torno do eixo Z
U	- vetor de deslocamentos da estrutura
U_a	- parte do vetor de deslocamentos referente a nós internos
U_b	- parte do vetor de deslocamentos referente a nós
V_o	- velocidade básica do vento
V_1, V_2, \dots	- numeração das lajes
$X_G Y_G Z_G$	- sistema triortogonal global de eixos
$X_L Y_L Z_L$	- sistema triortogonal global de eixos
X, Y, Z	- eixos nas direções X_G, Y_G, Z_G

LETRAS ROMANAS MINÚSCULAS

cx_i	- cota do eixo x_i
cy_i	- cota do eixo y_i
f_{ck}	- resistência característica do concreto a compressão
f_{yk}	- resistência característica do aço a tração
r	- relação entre os lados de uma laje
w	- deslocamentos na direção do eixo Z para elementos triangulares de flexão de placa
$x_{i,i=1,n}$	- eixos auxiliares na direção X
$y_{i,i=1,n}$	- eixos auxiliares na direção Y

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento das lajes na análise de estruturas de edifícios correntes em concreto armado, pelo uso de um sistema computacional cuja característica principal é a aplicação do método da subestruturação.

O sistema faz a análise tridimensional da estrutura, combinando o modelo de pórtico espacial com elementos de flexão de placa. Destacam-se ao longo do trabalho o tratamento dado às lajes: sua adaptação à estrutura por meio do método dos elementos finitos; inclusão no processo de subestruturação em múltiplos níveis; e cálculo das armaduras de flexão a partir da combinação de diferentes carregamentos.

Através de alguns exemplos, verifica-se o comportamento das lajes e da estrutura frente a ação das cargas, bem como o processo de transferência de esforços entre os elementos, sendo feitas considerações a respeito dos resultados.

ABSTRACT

A study about the behavior of concrete plates in the analysis of tall buildings structures is the main objective of this work. This is done by the use of a computer system based on the substructuring method.

The system performs the tridimensional analysis of the structure, inserting plate elements into the spatial frame model. The work emphasizes the treatment given to the concrete plates: its adaptation to the structure by the use of the finite element method; inclusion in the multi-level substructuring process; computation of bending reinforcements to resist the various loads combinations.

Through some examples, the behavior of the concrete plates and structure face to the loads action, and the process of efforts transference among elements, are verified and the results are commented.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O fenômeno global da urbanização destaca-se como uma conseqüência do processo de industrialização. Assim, pessoas migram para as metrópoles, estimuladas por melhores oportunidades de trabalho e condições de vida, elevando a concentração populacional urbana, que segundo BHARAT (1997) alcançará um patamar de 60 a 70 % no próximo século. Desta forma, os edifícios altos surgem como solução à demanda imobiliária, sendo uma alternativa econômica na ocupação dos terrenos, além de possibilitar a preservação de áreas verdes essenciais ao equilíbrio ambiental.

A construção destes edifícios tem sido de importante relevância ao progresso da engenharia estrutural, pois a necessidade de projetos estruturais tem instigado o desenvolvimento de sistemas computacionais especializados na análise e dimensionamento de tais estruturas.

Os primeiros sistemas computacionais aplicados ao cálculo das estruturas de edifícios faziam uso de modelos simplificados, limitando-se à análise separada dos elementos constituintes da estrutura, incorrendo, assim, em imprecisões, principalmente no que diz respeito ao carregamento lateral. O desenvolvimento dos recursos computacionais propiciou o uso de modelos mais próximos do comportamento físico real do edifício, inicialmente tratando a estrutura como grelhas e elementos unidimensionais de pilares, e, posteriormente, utilizando modelos tridimensionais baseados no pórtico espacial.

As estruturas correntes de edifícios de concreto armado, embora usualmente tratadas como reticuladas, quase sempre possuem partes estruturais rígidas, caso das paredes

resistentes e dos núcleos formados pelas caixas de escada e/ou elevadores, além da presença de lajes ao nível dos pisos, o que coloca estas estruturas em uma categoria especial.

Com relação às lajes, a maioria dos modelos considera-as como elementos especiais, possuindo rigidez nula à flexão. Assim, despreza-se a rigidez destas no funcionamento global da estrutura, além de não se descrever a correta transferência de esforços entre lajes e vigas. O emprego de um modelo com aplicação do método dos elementos finitos às lajes, associado ao modelo de pórtico espacial, simularia efetivamente a interação das lajes com o restante da estrutura.

Por outro lado, a análise matricial aplicada aos elementos unidimensionais e o método dos elementos finitos aos elementos de placas, na solução de estruturas de edifícios de grande porte, leva a sistemas de equações com muitos graus de liberdade, o que pode, até mesmo, inviabilizar a análise de tais estruturas.

Desta forma, percebe-se a complexidade da análise de estruturas de edifícios altos, não só no que se refere a diversidade dos elementos estruturais, mas também pelo desempenho computacional exigido. Assim, as simplificações e incertezas existentes no tratamento de tais estruturas justificam uma análise e investigação adequadas do problema.

1.2 O MÉTODO DA SUBESTRUTURAÇÃO

A subestruturação é conceituada como a divisão de uma estrutura em regiões menores ou subestruturas; é um recurso utilizado pelo método da rigidez que torna viável a análise de estruturas bastante complexas (ELLWANGER, 1991). Esta divisão pode ser estendida recursivamente para o interior de determinadas subestruturas, caracterizando-se a subestruturação em múltiplos níveis. Os pontos nodais e os respectivos graus de liberdade incidentes em uma subestrutura podem ser de dois tipos:

- *internos*: situados em seu interior, portanto só a ela pertencendo;
- *externos ou de contorno*: situados no contorno da subestrutura ou no contorno da estrutura global.

Inicialmente, as subestruturas são analisadas de forma separada, mediante o processo de condensação estática. Por este processo, são estabelecidas relações entre deslocamentos e forças aplicadas nos seus nós de contorno, constituindo-se a matriz de rigidez condensada em seus graus de liberdade externos. Também na condensação, a partir das cargas aplicadas ao longo de toda subestrutura, são determinadas forças equivalentes atuando nos seus nós externos.

Após a condensação de todas as subestruturas, realiza-se a montagem da matriz de rigidez e do vetor de cargas nodais equivalentes da estrutura global. Com isso, o sistema de equações lineares a ser resolvido tem por incógnitas somente os deslocamentos dos nós situados nas interfaces entre as subestruturas, resultando em uma quantidade muito menor de incógnitas se comparada à da análise sem subestruturação.

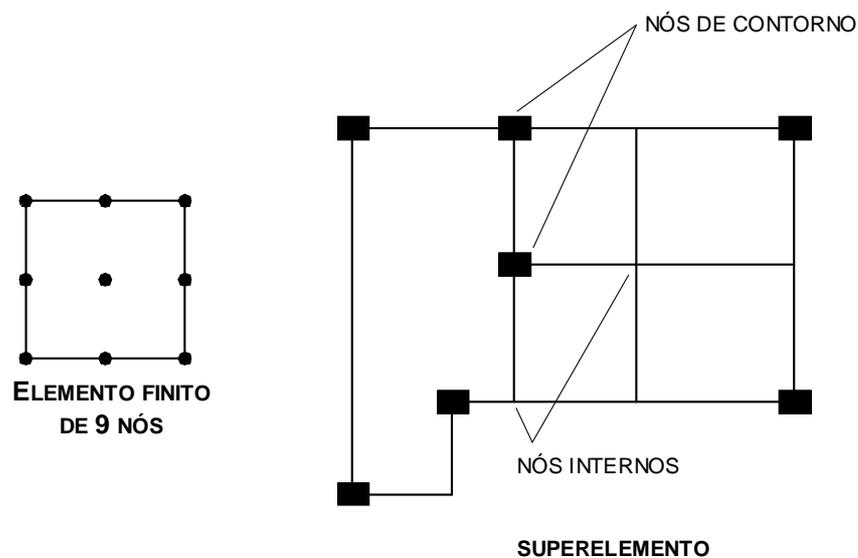


Figura 1.1 – Elemento finito e superelemento

Existe uma correspondência entre os nós externos de uma subestrutura e os nós incidentes de um elemento finito, no que se refere à matriz de rigidez e às forças nodais equivalentes. As subestruturas podem, portanto, ser tratadas como elementos finitos complexos ou superelementos (figura 1.1).

Muitas vezes, é conveniente dividir determinados superelementos em sub-regiões, formando outros superelementos. Estes, por sua vez, também podem ser subdivididos, constituindo-se assim a subestruturação em múltiplos níveis, onde um superelemento pode ser formado por elementos básicos, por outros superelementos, ou por ambos.

Desta forma, diz-se que os superelementos que compõem diretamente a estrutura pertencem ao nível mais alto ou primeiro nível da subestruturação. À medida que se processam subdivisões internas nos superelementos, formam-se os níveis mais baixos, até que os superelementos do último nível sejam constituídos exclusivamente por elementos básicos.

Para o caso de subestruturação em múltiplos níveis, ao se realizar a condensação de determinada subestrutura, todos os superelementos componentes da mesma devem estar previamente condensados. Da mesma maneira, ao se calcular os deslocamentos nodais de um superelemento, deverão estar previamente determinados os da subestrutura da qual ele faz parte.

Conforme a função que irão desempenhar na análise, os superelementos podem ser separados em duas classes:

superelementos-tipo: são superelementos de referência, formando uma espécie de biblioteca. Cada um deles poderá incidir uma ou repetidas vezes ao longo da estrutura a analisar, diretamente, ou como subestrutura constituinte de outro superelemento-tipo. Serão os superelementos-tipo que efetivamente terão calculadas suas matrizes de rigidez por meio do processo de condensação.

superelementos construtivos: são superelementos que efetivamente irão participar do sistema estrutural nos seus diversos níveis de subestruturação. Cada um deles estará sempre referenciado a um superelemento-tipo do qual obtém a

matriz de rigidez. Ao contrário dos superelementos-tipo, serão os construtivos que terão calculados os deslocamentos em seus nós e os esforços em seus elementos.

Portanto, uma estrutura será constituída por superelementos construtivos, referenciados a determinados superelementos-tipo. Estes serão formados por outros superelementos construtivos de nível inferior que, por sua vez, estarão também referenciados a superelementos-tipo. Assim, o processo de formação se repete ao longo de níveis sucessivamente inferiores, até atingir superelementos-tipo formados exclusivamente por elementos.

A figura 1.2 exemplifica a aplicação do processo de subestruturação em múltiplos níveis. A tabela anexa à figura indica os superelementos-tipo ou os elementos associados a cada nível, os quais participam da constituição dos superelementos-tipo de nível superior.

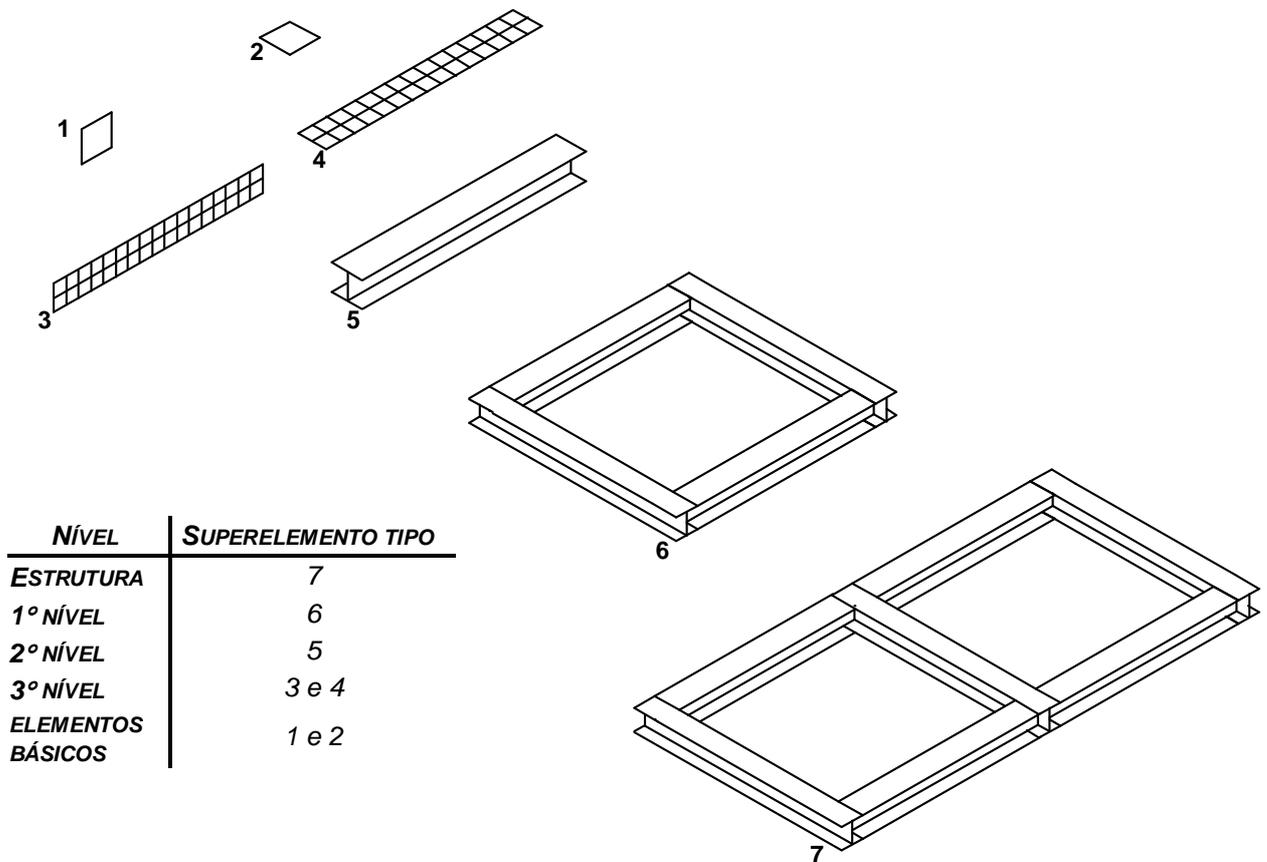


Figura 1.2 – Exemplo de subestruturação em múltiplos níveis

1.3 O SISTEMA ANASUPER/PAV – VERSÃO ORIGINAL

1.3.1 BREVE HISTÓRICO

A necessidade de um sistema de análise estrutural aplicado a estruturas com muitos graus de liberdade, estimulou o desenvolvimento do sistema ANASUPER, apresentado por ELLWANGER (1989). Este sistema realiza a análise estática e dinâmica e tem por principal característica a utilização da técnica de subestruturação em múltiplos níveis. O sistema, inicialmente, foi elaborado para computadores de grande porte, sendo dotado apenas de análise estática linear. Posteriormente recebeu um algoritmo de análise dinâmica e, pouco depois, incluiu-se a análise estática não-linear.

Com a rápida difusão de microcomputadores e estações de trabalho em ambientes de pesquisa e de trabalho em projeto estrutural, sentiu-se a necessidade de uma versão do sistema ANASUPER para estes equipamentos. Esta versão, chamada ANASUPER/WS, foi também apresentada por ELLWANGER (1992 a), num segundo trabalho. Este sistema, que realiza os mesmos tipos de análise da versão para grandes computadores, está dividido em sete módulos e atua em interação com o sistema GAELI, apresentado por GRÖEHS (1990), sendo este último responsável pela maior parte da entrada de dados (geometria, material, vinculação e carregamento). Com isto, o sistema funciona da seguinte forma: inicialmente o GAELI realiza a entrada de dados, após é realizada pelo ANASUPER/WS uma entrada de dados complementar, realizando a leitura das informações necessárias à aplicação da técnica de subestruturação; assim, é realizada a análise por subestruturação e a saída impressa dos respectivos resultados; finalmente, caso seja opção do usuário, o GAELI possibilita uma representação gráfica dos resultados.

Objetivando a resolução de edifícios altos em concreto armado e lembrando da vantajosa aplicação do método da subestruturação a grandes estruturas, desenvolveu-se uma versão do sistema ANASUPER/WS especializada na análise e

dimensionamento de edifícios de concreto. Esta versão, chamada de ANASUPER/PAV, foi apresentada por BIANCHI (1996). Este sistema é formado por seis módulos, sendo um para entrada de dados, quatro responsáveis pela análise e um pelo dimensionamento. O sistema tem por resultados a apresentação de listagens de deslocamentos nos pontos nodais, esforços resultantes e detalhamento das armaduras dos elementos.

1.3.2 SISTEMAS DE REFERÊNCIA

O sistema global de referência adotado é do tipo triortogonal direto $X_G Y_G Z_G$, com origem localizada no nível da base do edifício, com eixo vertical Z_G orientado para cima e os eixos X_G e Y_G correspondendo às direções horizontais principais do edifício. Ao sistema global está associado um duplo sistema de eixos auxiliares: x_1, x_2, x_3, \dots , na direção X_G , e y_1, y_2, y_3, \dots , na direção Y_G , conforme a figura 1.3.

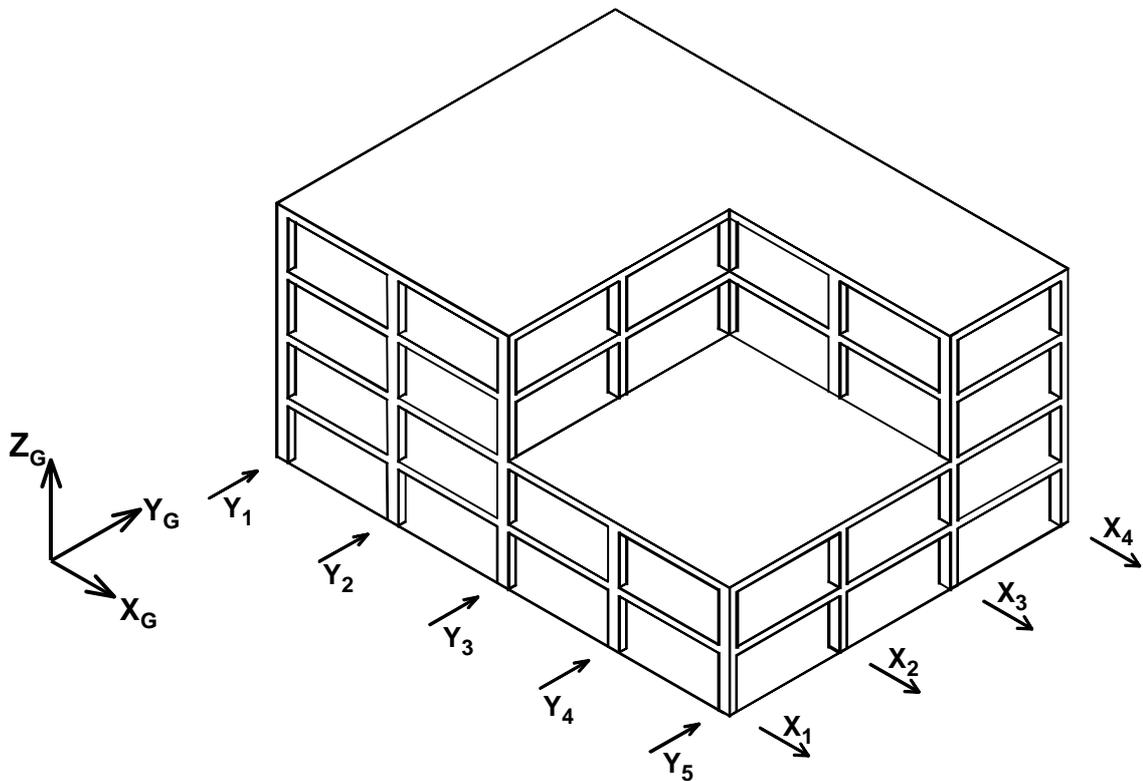


Figura 1.3 – Sistema Global de Eixos do ANASUPER/PAV

Além disso, os níveis dos pisos são definidos partindo-se do nível inferior para cima. Assim, a localização de um ponto qualquer no espaço é feita mediante um duplo sistema de referência: primeiramente, define-se a terna global (x_i, y_j, k) e, em seguida, uma terna de valores reais que contém as distâncias dos eixos x_i, y_j , e do piso k à origem do sistema global. A este sistema estão referenciados os deslocamentos nodais e as reações de apoio da estrutura. Convém salientar que os eixos globais X_G, Y_G e Z_G são identificados neste trabalho também por X, Y e Z , respectivamente.

1.3.3 IDEALIZAÇÃO ESTRUTURAL

Para o sistema, a estrutura é considerada como tridimensional, constituindo-se basicamente de elementos de barra (vigas e pilares), conectados em suas extremidades e definidos através de linhas correspondentes aos respectivos eixos baricêntricos. Para os pavimentos, formados por lajes e vigas, é usada a condição de diafragma rígido, ou seja, os mesmos são considerados indeformáveis em seu plano. Em sua primeira versão, o ANASUPER/PAV admitia somente lajes com geometria retangular.

O sistema aplica a subestruturação em um nível, ou seja, a estrutura é analisada de fato em dois níveis: estrutura e subestrutura. Assim, a estrutura é composta por elementos de pilares e por subestruturas ou super elementos que correspondem aos pavimentos do edifício. Cada pavimento-tipo corresponde a um super elemento-tipo, e cada ocorrência ou repetição deste na estrutura é um super elemento construtivo.

Os super elementos são constituídos por elementos de viga, e tem por nós internos os nós de encontro destas, enquanto que os nós externos ou de contorno correspondem aos pontos de passagem (ou chegada) de pilares no pavimento. Os nós de contorno do pavimento coincidem com os nós da estrutura, sendo, portanto, os pontos de ligação da

subestrutura à estrutura. Portanto, os nós da estrutura são os pontos onde os pilares cortam os pavimentos, além dos nós da base.

a) Consideração das lajes

Como dito anteriormente, as lajes são tratadas como diafragmas rígidos dentro do modelo. Esta hipótese dispensa a discretização das lajes e permite que três graus de liberdade (duas translações no plano do diafragma, D_x e D_y , e uma rotação normal, R_z) de todos os nós ao nível do pavimento sejam colocados em função dos correspondentes graus de liberdade de um único nó, também localizado no plano do pavimento, denominado nó independente ou principal. Assim, cada pavimento terá um nó principal, com os seis graus de liberdade de pórtico espacial, enquanto os demais nós terão graus de liberdade somente segundo D_z , R_x e R_y , conforme figura 1.4. BIANCHI (1996) apresenta a aplicação da hipótese de diafragma rígido ao ANASUPER/PAV, bem como a formulação teórica de restrições generalizadas.

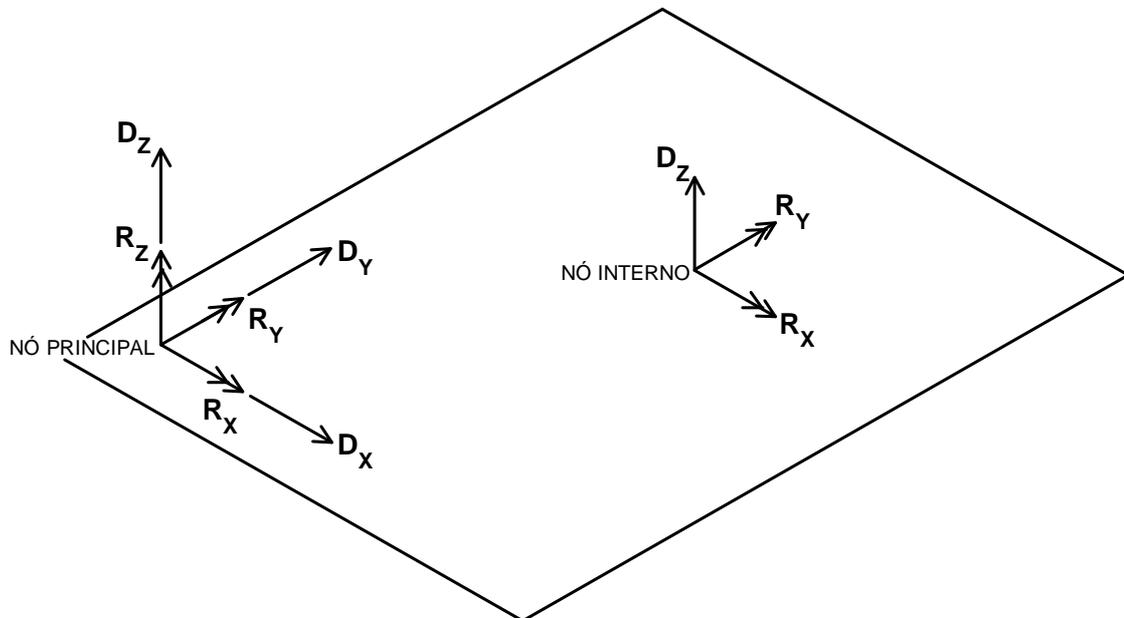


Figura 1.4 – Graus de liberdade do nó principal e dos demais nós do pavimento

b) Consideração dos pilares

Os pilares são elementos unidimensionais, com eixo baricêntrico paralelo a direção global Z . Funcionam como elementos de ligação entre os pavimentos, através de seus pontos extremos que podem ser excêntricos em relação aos pontos nodais da estrutura, o que permite representar eventuais mudanças de posição do eixo de uma coluna, cujas dimensões transversais sofram alteração de um pavimento para o outro. São sempre contínuos entre pavimentos consecutivos, sendo definidos da base até um pavimento qualquer. São considerados para os pilares seis graus de liberdade por nó, correspondendo aos possíveis deslocamentos a que cada nó está sujeito.

O sistema de referência local é constituído por um sistema de eixos triortogonais diretos $X_L Y_L Z_L$. A origem do sistema localiza-se na base do pilar, tal que Z_L e Y_L sejam os eixos principais de inércia da seção transversal, e X_L contenha o eixo longitudinal da barra. Conforme a figura 1.5, X_L , Y_L , e Z_L são paralelos e tem a mesma orientação, respectivamente, dos eixos Z , Y e X .

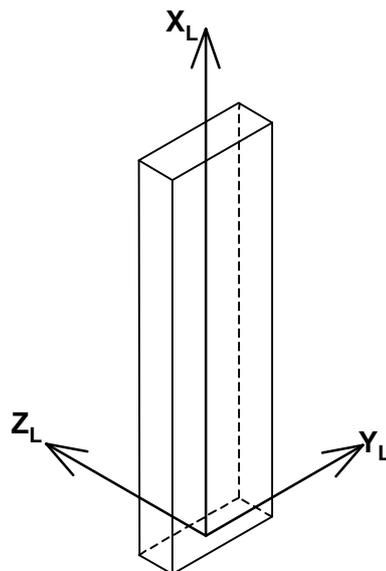


Figura 1.5 – Sistema Local de eixos de um pilar

c) Consideração das vigas

As vigas são elementos unidimensionais, contidos no plano do pavimento a que pertencem. Seus extremos podem coincidir ou não, caso das vigas em balanço, com pontos nodais de outros elementos. Uma viga pode ser composta por um ou mais tramos, sendo estes definidos como trechos entre as ligações das vigas com outros elementos, conforme figura 1.6.

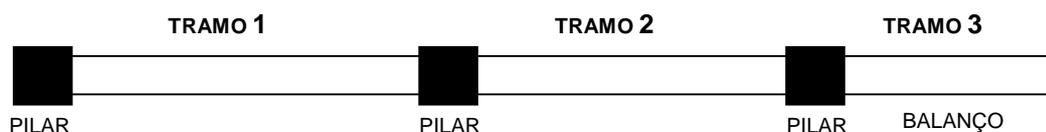


Figura 1.6 – Definição dos tramos de uma viga

A cada viga é associado um sistema de referência local $X_L Y_L Z_L$, sendo triortogonal e direto. O eixo X_L coincide com o eixo baricêntrico da viga. O eixo Y_L é horizontal e principal de inércia. O eixo Z_L será sempre paralelo ao eixo Z global (figura 1.7). A aplicação da condição de diafragma rígido aos pavimentos, faz com que cada nó pertencente à viga possua três graus de liberdade independentes (D_z , R_x e R_y), enquanto que os outros três (D_x , D_y e R_z), são dependentes dos correspondentes graus de liberdade do nó principal do pavimento.

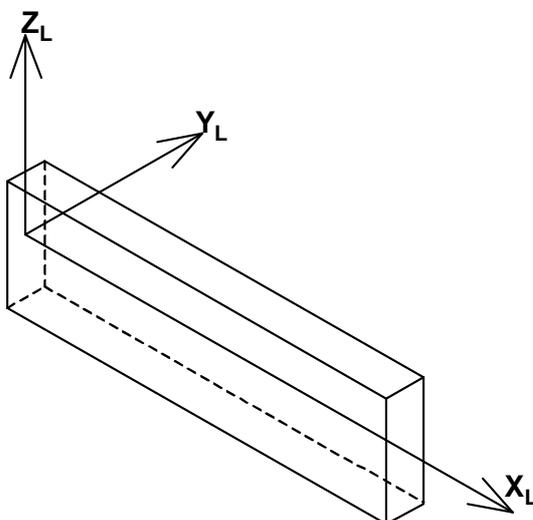


Figura 1.7 – Sistema de Referência Local de uma viga

1.3.4 SISTEMAS DE NUMERAÇÃO

Objetivando a identificação das diferentes partes da estrutura, os sistemas de numeração estão definidos em três níveis, conforme apresentado abaixo:

- *Sistemas definidos a nível global*: referem-se a elementos estruturais diretamente ligados à estrutura global, ou definidos em relação à mesma. Portanto, existirá um sistema de numeração único para cada um seguintes conjuntos de dados: pavimentos-tipo, andares, pilares, classes de propriedades de lajes, de vigas e de pilares, e ainda, os carregamentos a serem considerados na análise.

- *Sistemas definidos a nível de pavimento-tipo*: em cada pavimento-tipo, são definidos sistemas de numeração para os eixos auxiliares, os nós, as vigas e as lajes.

- *Sistemas definidos a nível de elemento*: invisíveis ao usuário, referem-se aos elementos de viga e pilar, onde a numeração das vigas é corrida, iniciando pelas vigas na direção X e continuando com as na direção Y. Com relação aos pilares, sua numeração também é corrida, iniciando-se pelas barras do pavimento térreo, continuando com as do piso imediatamente acima e, assim, para todos os pisos. Se um determinado pilar não ocorre em algum dos pavimentos, ele simplesmente não é contado.

1.3.5 ENTRADA E GERAÇÃO DE DADOS

Este item trata especificamente do trabalho realizado por BIANCHI (1996), ou seja, a criação do ANASUPER/PAV a partir do sistema ANASUPER/WS, não se preocupando aqui com uma completa descrição do sistema, o que será feito na seção 3.1.

Considerando o grande número de dados a serem fornecidos, o ANASUPER/PAV divide-os em nove grupos, coincidentes com as etapas naturais do procedimento do cálculo estrutural. Assim, o módulo ETADAD é composto por rotinas de

entrada, alteração, leitura, gravação e impressão de dados, que interagem com o usuário através de planilhas, onde cada conjunto planilhas está relacionado a um dos nove grupos de dados. A seguir, descrevem-se estes nove grupos, relacionando-se os dados fornecidos pelo usuário e os gerados automaticamente pelo sistema:

a) Variáveis principais do projeto

Correspondem aos dados de identificação e caracterização do projeto, onde devem ser informados: nome do projeto, quantidade de pisos, pavimentos-tipo, pilares, classes de vigas, lajes e pilares, além do número máximo de nós e elementos por pavimento-tipo. Após informados, estes dados não podem mais ser alterados, pois, em sua maioria, são utilizados para o dimensionamento de vetores (que neste caso correspondem a posições de memória de máquina individualizadas por índices).

Também estão inclusos neste grupo as características físicas dos materiais e certas considerações de cálculo, como: módulos de elasticidade longitudinal e transversal (E e G , respectivamente), resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), resistência característica à tração do aço (f_{yk}), coeficientes de minoração das resistências dos materiais, coeficiente de majoração das cargas, velocidade básica do vento (V_0) e fator topográfico da região (S_1) usados para geração do carregamento de vento. Estas variáveis são inicializadas por valores usualmente empregados na prática do cálculo estrutural.

b) Classes de propriedades

Caracterizam as propriedades relativas a cada elemento componente da estrutura. Assim, para as lajes devem ser informadas sua espessura e as taxas de carga, permanente e variável, sobre as mesmas. Para as vigas e pilares especificam-se a base e altura de sua seção transversal.

c) Dados dos pisos

São os dados específicos de cada piso, como: pavimento-tipo ao qual está associado, altura do pavimento e fator S_2 para a carga de vento.

d) Dados dos eixos e dos nós

Caracterizam basicamente os dados referentes à localização dos pontos nodais da estrutura. Inclui as cotas dos eixos x_i e y_j em relação ao sistema global de eixos, os pares de eixos x_i e y_j , cujo cruzamento definem os nós e, os nós de incidência de pilares.

e) Dados das vigas

Correspondem aos dados de definição das vigas, sendo que, para o usuário, possuem numeração ímpar na direção X e par na direção Y, enquanto que internamente o sistema usa uma numeração corrida, conforme dito na seção 1.3.4. Assim, para cada viga informam-se seus nós inicial e final, bem como sua classe, onde estão contidas as características geométricas da seção transversal. Para o caso de vigas contínuas, o sistema determina automaticamente as conectividades dos nós intermediários. Além disso, são calculados também a área da seção transversal e os momentos de inércia I_x , I_y e I_z em relação aos seus eixos locais.

f) Dados das lajes

Os dados relativos a cada laje são: os nós correspondentes aos vértices, sendo necessário a informação de apenas dois (o programa automaticamente determina os outros), os códigos referentes à vinculação de cada bordo e a classe à qual pertence a laje. De posse dos dados referidos acima, o sistema, através das indicações do item 3.3.2.9 da norma NBR-6118 (1980), calcula as reações de bordo da laje que,

consequentemente, correspondem às cargas distribuídas ao longo das vigas de contorno da mesma.

g) Dados das cargas

Os dados deste grupo referem-se às cargas às quais a estrutura será submetida, sendo algumas informadas pelo usuário e outras geradas automaticamente. Assim, devem ser fornecidas as cargas concentradas nos nós e as distribuídas sobre as vigas. Já as cargas de peso próprio são geradas automaticamente, a partir das características geométricas do elemento e de seu peso específico.

h) Dados dos pilares

Os pilares estendem-se da base até um pavimento qualquer do edifício, sendo divididos em elementos de barra, definidos entre os pisos onde ocorre sua passagem. Assim, para a completa definição de um pilar, deve-se informar, para cada elemento que o compõe, a classe do mesmo e as distâncias DX e DY de seu eixo até o nó ao qual ele está associado, conforme a figura 1.8. Além disso, são calculadas automaticamente as conectividades, bem como a área e os momentos de inércia I_x , I_y e I_z (relativos aos eixos locais) da seção transversal de cada elemento.

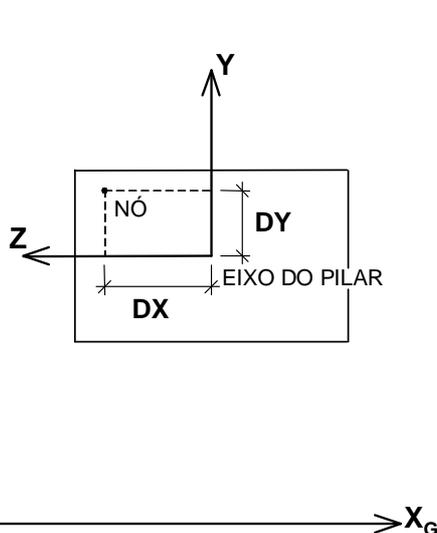


Figura 1.8 – Distâncias DX e DY

i) Cargas de vento

São os dados referentes ao carregamento de vento. Para edifícios de planta aproximadamente retangular, estas cargas podem ser calculadas automaticamente pelo sistema, na forma de forças horizontais distribuídas nas vigas de cada pavimento. Para edifícios cuja forma não seja retangular, não é aconselhável a geração automática, sendo permitida ao usuário a informação destas cargas diretamente nos elementos de cada pavimento.

1.3.6 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS

O sistema ANASUPER/PAV, após efetuar a análise da estrutura, realiza o dimensionamento das armaduras necessárias aos elementos estruturais. Este dimensionamento é feito observando as prescrições da norma NBR-6118 (1980).

No entanto, o ANASUPER/PAV dimensiona somente os elementos de viga e pilar, já que as lajes, consideradas como diafragmas rígidos, são inseridas no modelo apenas para fins de análise. Neste dimensionamento, são determinadas as quantidades de armaduras longitudinal e transversal, não se realizando o detalhamento final das mesmas, como comprimentos de ancoragens e escalonamento.

Observa-se aqui que as quantidades de armadura determinadas pelo sistema estão diretamente ligadas às dimensões dos elementos analisados. Assim, para se obter armaduras coerentes com as dimensões dos elementos aos quais se destinam, estes devem ser dimensionalmente compatíveis com os carregamentos impostos à estrutura.

Os esforços utilizados na determinação das armaduras são obtidos da combinação de diferentes carregamentos, que representam as ações atuantes sobre a maioria das estruturas convencionais de concreto armado, sendo estes carregamentos os seguintes:

CARREGAMENTO 1 (C1): carga vertical permanente da estrutura constituindo-se de três parcelas:

- peso próprio de pilares;
- peso próprio de vigas + cargas de parede;
- peso próprio de lajes + taxa de carga permanente sobre as lajes;

CARREGAMENTO 2 (C2): carga vertical variável da estrutura, constituída de uma taxa de carga variável sobre as lajes;

CARREGAMENTO 3 (C3): carga horizontal devida à ação do vento na direção X_G ;

CARREGAMENTO 4 (C4): carga horizontal devida à ação do vento na direção Y_G .

Com base nestes quatro carregamentos, o ANASUPER/PAV efetua nove combinações de carga:

COMBINAÇÃO 1: $C1 + C2$

COMBINAÇÃO 2: $C1 + C3$

COMBINAÇÃO 3: $C1 - C3$

COMBINAÇÃO 4: $C1 + C4$

COMBINAÇÃO 5: $C1 - C4$

COMBINAÇÃO 6: $C1 + C2 + C3$

COMBINAÇÃO 7: $C1 + C2 - C3$

COMBINAÇÃO 8: $C1 + C2 + C4$

COMBINAÇÃO 9: $C1 + C2 - C4$

Assim, o dimensionamento é feito considerando-se as piores situações de carregamento (resultado das combinações), determinando-se uma espécie de envoltória de esforços para os elementos a serem dimensionados.

1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO

O ANASUPER/PAV, apresentado por BIANCHI (1996), foi o primeiro passo na construção de um sistema computacional para a análise e dimensionamento de estruturas de edifícios de concreto armado, preocupado na análise conjunta de todos os elementos que constituem a estrutura.

A idealização estrutural adotada pelo ANASUPER/PAV faz uso da hipótese de diafragmas rígidos para os elementos de lajes (seção 1.3.3), não realizando, conseqüentemente, a determinação de deslocamentos e esforços nestes elementos, bem como a simulação das ligações rígidas entre lajes e vigas.

Assim, o principal objetivo deste trabalho consiste em um novo tratamento às lajes, onde, pela aplicação do método dos elementos finitos, estas serão efetivamente inseridas no modelo estrutural, participando do "processo de resistência aos esforços" por ocasião da análise. Além disso, serão incorporadas ao sistema lajes em "L", elementos bastante comuns nas estruturas correntes de edifícios, que até então não eram admitidas por não possuírem um formulário específico para determinação das reações de apoio.

A implantação destas modificações no ANASUPER/PAV consistiu, basicamente, na seqüência de passos descrita abaixo:

- Definição da malha de elementos finitos a ser empregada nas lajes, utilizando-se elementos triangulares com tamanhos e formas determinados pela geometria da laje e, pela aplicação de um critério de distorção.

- Criação de rotinas para geração automática destas malhas, definindo as coordenadas dos nós e conectividades dos elementos, bem como a informação ao sistema de outros dados relativos as mesmas.

- Definição de um novo modelo de subestruturação a ser empregado pelo ANASUPER/PAV, levando em consideração a inserção das lajes na análise, com a determinação do número de

níveis de subestruturação, assim como os elementos pertencentes a cada nível.

- Introdução de um conjunto de rotinas aplicadas à análise de elementos triangulares submetidos à flexão de placa, tendo em vista a utilização destes nas malhas geradas para a definição das lajes.

- Criação de rotinas para o dimensionamento das armaduras de flexão das lajes. Este dimensionamento vem somar-se ao já realizado para as vigas e pilares, ficando a estrutura, assim, completamente dimensionada.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho é composto por 5 capítulos, organizados de forma a agrupar em cada um os assuntos afins, dispendo-os em uma seqüência lógica ao entendimento do leitor. Assim, este primeiro capítulo apresenta, além de considerações preliminares, uma revisão da primeira versão do ANASUPER/PAV, onde é definido o método da subestruturação e comentada as características principais do sistema.

O capítulo 2 apresenta a formulação básica do método da subestruturação e dos elementos triangulares de flexão de placa, os modelos de subestruturação estudados para a aplicação nesta nova versão do ANASUPER/PAV e, os critérios de definição das malhas de elementos finitos das lajes retangulares e em "L".

No capítulo 3, é apresentada a composição em módulos do sistema ANASUPER/PAV, indicando a contribuição de cada um no processo de resolução da estrutura. São apresentados, também, os algoritmos responsáveis pela geração das malhas de elementos finitos das lajes, pela geração dos elementos de barra que constituirão as grelhas dos pavimentos e, dimensionamento e detalhamento das armaduras de flexão das lajes.

O capítulo 4 apresenta exemplos de estruturas analisadas pelo ANASUPER/PAV, para a calibragem e verificação

dos resultados obtidos pelo mesmo, sendo estes demonstrados sob a forma de tabelas, gráficos e relatórios de dimensionamento.

Após a apresentação dos exemplos e dos respectivos resultados, o capítulo 5 fica reservado às conclusões e considerações finais, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FORMULAÇÃO BÁSICA DO MÉTODO DA SUBESTRUTURAÇÃO

Na análise estática de estruturas pelo método da rigidez, o sistema de equações a ser resolvido pode ser expresso na forma:

$$K U = P \quad (2.1)$$

sendo K a matriz de rigidez, U o vetor de deslocamentos e P o vetor de cargas. Na prática, K e P são obtidos a partir da soma das contribuições individuais das np partes (elementos ou superelementos) integrantes da estrutura:

$$K = \sum_{i=1}^{np} K_i^p \quad (2.2)$$

$$P = \sum_{i=1}^{np} P_i^p \quad (2.3)$$

Seja uma região da estrutura, destinada a constituir um superelemento. As equações que governam o equilíbrio desta região podem ser ordenadas de forma a separar graus de liberdade internos e externos, assumindo a seguinte forma matricial:

$$\begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ab}^T & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_a \\ U_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_a \\ P_b \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

onde os sub-índices a e b referem-se, respectivamente, aos graus de liberdade internos e externos. K_{aa} , K_{ab} e K_{bb} são partições da matriz de rigidez. U_a e P_a são, respectivamente, deslocamentos e forças nodais equivalentes dos nós internos, tendo U_b e P_b o mesmo significado para os nós de contorno. Adotando o método da solução da coluna ativa, conforme BATHE (1982), sendo L uma matriz triangular e D uma matriz diagonal, K_{aa} é fatorada na forma:

$$K_{aa} = LDL^T \quad (2.5)$$

Fazendo:

$$S_{ab} = L^{-1} K_{ab} \quad (2.6)$$

$$V_a = L^{-1} P_a \quad (2.7)$$

pode-se deduzir a seguinte equação matricial de equilíbrio envolvendo somente graus de liberdade do contorno do superelemento:

$$\bar{K}_{bb} U_b = \bar{P}_b \quad (2.8)$$

onde

$$\bar{K}_{bb} = K_{bb} - S_{ab}^T D^{-1} S_{ab} \quad (2.9)$$

$$\bar{P}_b = P_b - S_{ab}^T D^{-1} V_a \quad (2.10)$$

Portanto, \bar{K}_{bb} e \bar{P}_b , dados por (2.9) e (2.10), são, respectivamente, a matriz de rigidez e o vetor de cargas nodais equivalentes, condensados nos graus de liberdade externos do superelemento. Quando este superelemento contribuir para a montagem da estrutura ou de um superelemento de nível superior, serão estas matrizes que irão desempenhar o

papel de K_i^P e P_i^P das equações (2.2) e (2.3). Por outro lado, uma vez resolvido o sistema (2.1) da estrutura global e, por conseguinte, obtidos os deslocamentos U_b , podem-se determinar os deslocamentos internos U_a , aplicando-se uma retro-substituição ao sistema abaixo:

$$DL^T U_a = V_a - S_{ab} U_b \quad (2.11)$$

2.1.1 SISTEMA LOCAL DE UM SUPERELEMENTO

Para cada superelemento existe um sistema de eixos de referência locais, definidos a partir de seus nós de contorno. O procedimento para se definir este sistema auxiliar em cada superelemento é mostrado a seguir. À medida que um superelemento pode incidir em outro ou na estrutura global com diferentes orientações, tornam-se necessárias modificações nas equações deduzidas anteriormente, tendo em vista a rotação que estes elementos devem ter ao se relacionarem com o sistema global.

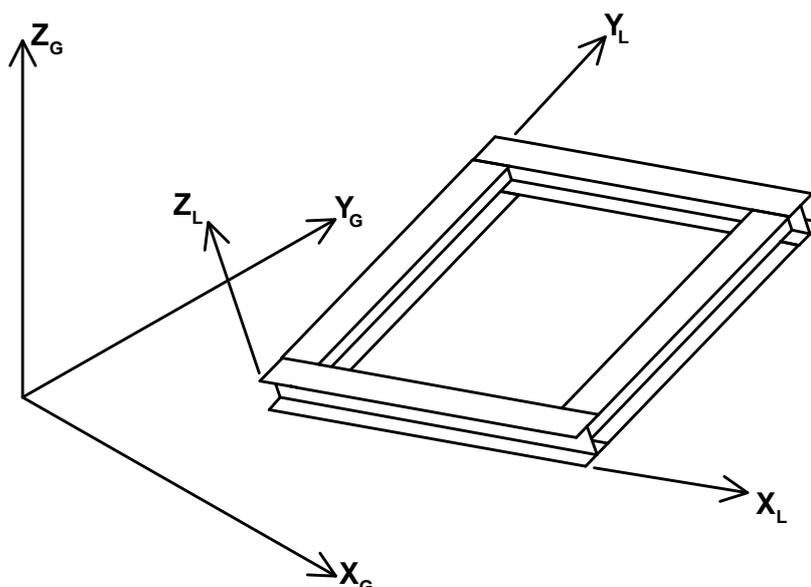


Figura 2.1 – Sistema de referência local de um superelemento

Considerando a figura 2.1, os cossenos diretores dos eixos locais X_L , Y_L e Z_L , em relação aos eixos X_G , Y_G e Z_G , podem ser agrupados numa matriz R , de modo a se obter a seguinte relação:

$$R = \begin{bmatrix} \cos(X_L, X_G) & \cos(X_L, Y_G) & \cos(X_L, Z_G) \\ \cos(Y_L, X_G) & \cos(Y_L, Y_G) & \cos(Y_L, Z_G) \\ \cos(Z_L, X_G) & \cos(Z_L, Y_G) & \cos(Z_L, Z_G) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

onde R representa a transformação de rotação do superelemento do sistema local para o global. Define-se a matriz de rotação do superelemento, representada por \bar{R} , como sendo

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} R & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & R & \Lambda & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & \Lambda & R \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

1 2 2n

em que as matrizes R são dadas pela equação (2.12), e onde n é o número de nós envolvidos na transformação.

Considerando \bar{K}_{bb} e \bar{P}_b das equações (2.9) e (2.10) referenciadas ao sistema local do superelemento, pode-se mostrar que as suas contribuições K_i^p e P_i^p , para as equações (2.2) e (2.3), são dadas por:

$$K_i^p = \bar{R}^T \bar{K}_{bb} \bar{R} \quad (2.14)$$

$$P_i^p = \bar{R}^T P_b \quad (2.15)$$

A solução de (2.1) fornecerá os deslocamentos referenciados ao sistema global da estrutura. Desta forma, para um determinado superelemento, estarão disponíveis os deslocamentos globais dos seus nós de contorno, contidos no

vetor U_b . Os deslocamentos dos nós internos podem ser obtidos por meio da equação (2.11), efetuando-se a rotação de U_b para o sistema local. A equação (2.11) assume, então, a seguinte forma:

$$DL^T U_a = V_a - S_{ab} \bar{R} U_b \quad (2.16)$$

Na prática, sob o ponto de vista computacional, as matrizes \bar{R} nunca são formadas. Ocorre que, nos produtos matriciais nos quais elas estão envolvidas, opera-se diretamente com as matrizes R , em multiplicações que se desenvolvem em blocos.

2.2 MODELOS DE SUBESTRUTURAÇÃO

Conforme a seção 1.3.3, o ANASUPER/PAV aplica subestruturação em um nível, no qual a estrutura é analisada de fato em dois níveis: estrutura, que é composta por elementos de pilar e subestruturas correspondentes aos pavimentos; subestrutura, que corresponde às grelhas dos pavimentos. Porém, deve-se estabelecer um novo modelo de subestruturação para a inclusão das lajes na análise da estrutura.

Desta forma, estudaram-se três novos modelos, chamados modelos 1, 2 e 3. Com o propósito de simplificar a apresentação destes, os nós pertencentes a um pavimento foram classificados em quatro tipos. A figura 2.2 mostra um pavimento composto por duas lajes, cuja discretização em elementos triangulares e de barra é apresentada na figura 2.3, onde também estão representados os tipos de nós, que são descritos como segue:

tipo A: nós internos das lajes.

tipo B: nós situados nos lados das lajes, estando localizados no interior das barras das vigas, podendo ser comuns a lajes vizinhas.

tipo C: nós situados nos cantos das lajes e, portanto, coincidentes com os pontos de encontro das vigas.

tipo D: nós tipo C que correspondem aos pontos de passagem ou chegada de pilares; são os nós de contorno do pavimento.

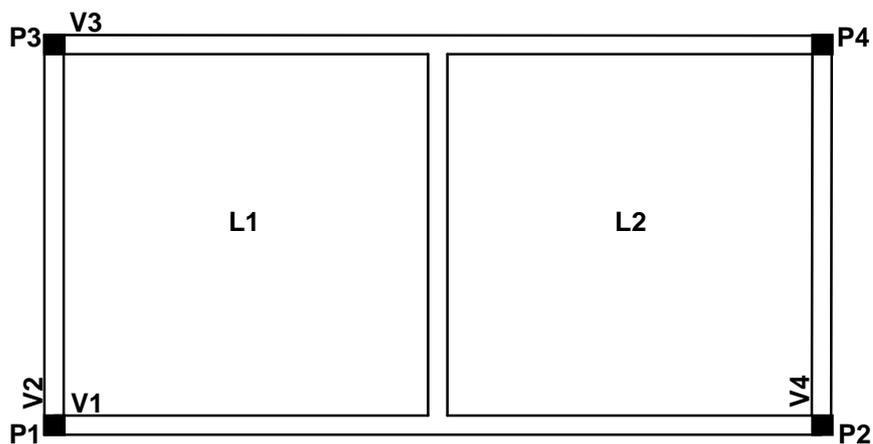


Figura 2.2 – Pavimento a ser discretizado

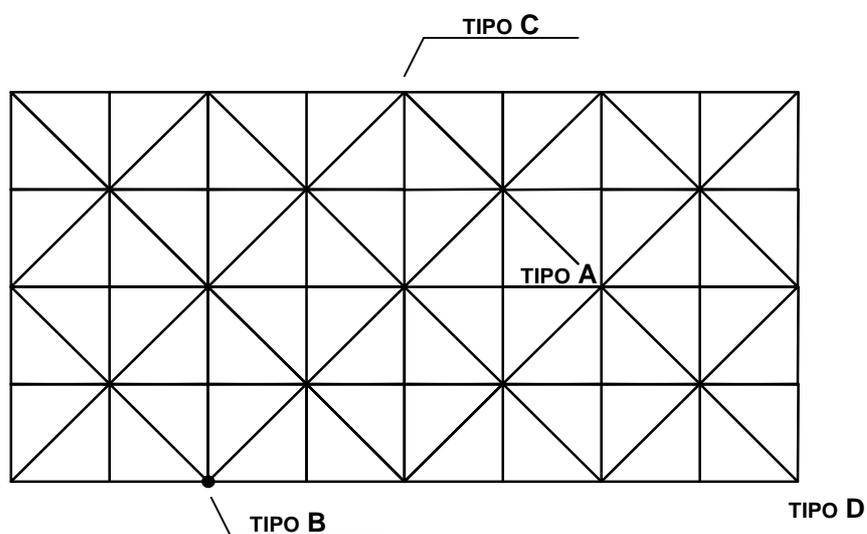


Figura 2.3 – Tipos de nós

Com isto, os três modelos de subestruturação são definidos e caracterizados da seguinte forma:

modelo 1: possui três níveis de subestruturação: o primeiro nível corresponde a superelementos constituídos pelos pavimentos que, por sua vez, são formados por superelementos de viga e laje, tendo por nós de contorno os nós com

incidência de pilares; o segundo refere-se aos superelementos de viga, que são constituídos por barras definidas entre os nós dos bordos das lajes; o terceiro nível corresponde aos superelementos de lajes que são formados por elementos triangulares de flexão de placa. Os nós internos e de contorno correspondentes a cada nível de subestruturação estão na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Nós dos níveis de subestruturação do modelo 1

NÍVEL	NÓS INTERNOS	NÓS DE CONTORNO
ESTRUTURA	<i>tipo D</i>	
1° (PAVIMENTO)	<i>tipo C</i>	<i>tipo D</i>
2° (VIGAS)	<i>tipo B</i>	<i>tipos C e D</i>
3° (LAJES)	<i>tipo A</i>	<i>tipos B, C e D</i>

Este modelo permite uma fácil avaliação do aumento da rigidez à flexão que ocorre nas vigas com a adição das lajes. Porém, leva a uma quantidade excessiva de superelementos (as barras da grelha) e torna a condensação dos superelementos de lajes ineficiente, por existirem poucos nós internos em relação aos nós de contorno destes superelementos.

modelo 2: possui dois níveis de subestruturação; o primeiro nível corresponde aos pavimentos do edifício, que, por sua vez, são formados por elementos de barra definidos entre os encontros ou cruzamentos de vigas, constituindo assim a grelha do pavimento, e por superelementos correspondentes às lajes; o segundo nível é formado por superelementos de laje. Neste modelo as lajes incidem no pavimento apenas através de seus nós de canto, conforme tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Nós dos níveis de subestruturação do modelo 2

NÍVEL	NÓS INTERNOS	NÓS DE CONTORNO
ESTRUTURA	<i>tipo D</i>	
1° (PAVIMENTO)	<i>tipo C</i>	<i>tipos D</i>
2° (LAJES)	<i>tipos A e B</i>	<i>tipos C e D</i>

É o modelo que leva ao menor número de nós e de superelementos e, em consequência, uma menor ocupação de memória do computador. Porém, por estarem as lajes vinculadas ao restante da estrutura somente pelos nós de canto, podem ocorrer imprecisões em relação aos resultados da análise.

modelo 3: seus níveis de subestruturação são os mesmos do modelo 2, porém, neste modelo, os superelementos de laje incidem no pavimento através dos nós de bordo ao invés dos nós de canto, conforme tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Nós dos níveis de subestruturação do modelo 3

NÍVEL	NÓS INTERNOS	NÓS DE CONTORNO
ESTRUTURA	<i>tipo D</i>	
1° (PAVIMENTO)	<i>tipos C e B</i>	<i>tipo D</i>
2° (LAJES)	<i>tipo A</i>	<i>tipos C, B e D</i>

Este modelo possibilita uma diminuição do número de superelementos. Todavia pode levar a um número excessivo de nós internos para a grelha do pavimento (nós tipo C e B), elevando significativamente o número de operações algébricas na determinação dos deslocamentos destes nós.

Inicialmente criou-se uma versão para o ANASUPER/PAV, chamada versão experimental, utilizando-se o modelo 2 por ser o modelo de maior facilidade de programação e por exigir uma menor ocupação de memória do computador. Após concluída esta versão, a mesma foi testada e os resultados comparados com os obtidos pelo GAELI (ver seção 4.1). Para os deslocamentos da estrutura, obtiveram-se resultados satisfatórios, porém para os deslocamentos internos das lajes ocorreram erros grosseiros, que foram atribuídos ao fato de não estarem os nós dos bordos das lajes amarrados às vigas.

Assim, estabeleceu-se uma segunda versão para o ANASUPER/PAV chamada de versão definitiva ou atual, utilizando-se o terceiro modelo de subestruturação, porém com um nível a mais. Desta forma, o primeiro nível corresponde a um pavimento imaginário que é constituído por um único superelemento correspondente ao próprio pavimento, que tem por nós de contorno, os nós por onde passam os pilares (tipo D) e,

por nós internos, os nós onde ocorre o encontro ou cruzamento de vigas (tipo C). Este nível de subestruturação já estava implementado na versão original do sistema, porém formado por elementos de barra, e foi mantido por facilitar a programação, evitando-se a perda de algumas rotinas. O segundo e terceiro níveis correspondem, respectivamente, ao primeiro e segundo níveis do terceiro modelo, porém tendo o segundo nível os nós do tipo C e D como nós de contorno, atenuando o problema do excessivo número de nós internos da grelha. A tabela 2.4 apresenta os nós componentes de cada nível de subestruturação.

Tabela 2.4 – Nós dos níveis de subestruturação da versão definitiva

NÍVEL	NÓS INTERNOS	NÓS DE CONTORNO
ESTRUTURA	<i>tipo D</i>	
1° (PAVIMENTO IMAGINÁRIO)	<i>tipo C</i>	<i>tipo D</i>
2° (PAVIMENTO)	<i>tipo B</i>	<i>tipos C e D</i>
3° (LAJES)	<i>tipo A</i>	<i>tipos B, C e D</i>

A versão definitiva também pode ser visualizada como uma modificação em relação ao modelo 1, onde se agruparam todos os superelementos-tipo barra de segundo nível num único superelemento, eliminando assim o problema do número excessivo de superelementos.

2.3 FORMULAÇÃO DO ELEMENTO TRIANGULAR DE FLEXÃO DE PLACA

No tratamento das lajes por elementos finitos empregaram-se elementos triangulares de três nós do tipo DKT (Triângulo Discreto de Kirchoff), com nove graus de liberdade, conforme figura 2.4.

O uso do DKT é interessante por utilizar uma formulação explícita para o cálculo da matriz de rigidez, tornando desnecessária a aplicação de integração numérica. Desta forma, reduz-se o número de operações algébricas na determinação dos coeficientes da matriz e dos momentos.

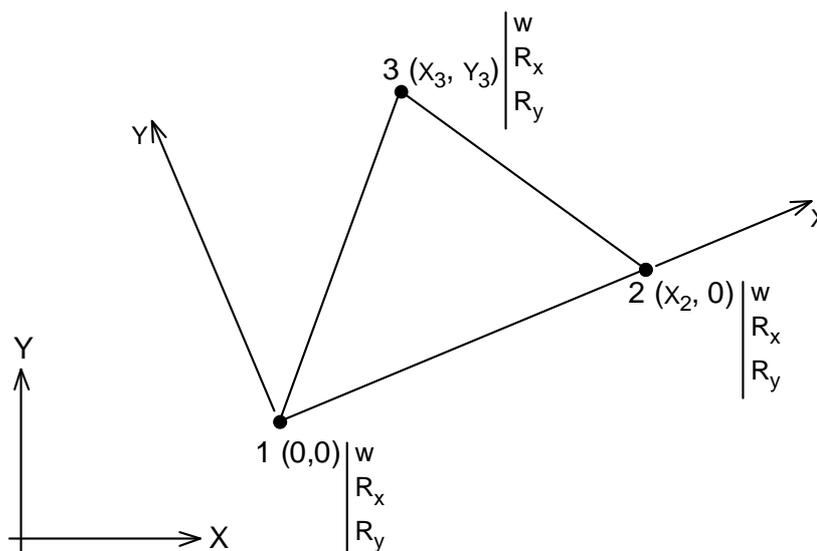


Figura 2.4 – Elemento triangular de flexão de placa DKT

A matriz de rigidez do DKT pode ser expressa da seguinte forma:

$$K = \int_A B^T D_b B \, dx \, dy \quad (2.17)$$

A matriz B pode ser decomposta em um produto de duas matrizes L e α de ordem 3×3 e 9×9 , respectivamente, sendo dada como segue:

$$B = \frac{1}{2A} L \alpha \quad (2.18)$$

onde A é a área do elemento, a matriz α depende da geometria do elemento, sendo apresentada na tabela 1 da referência [4], e a matriz L é função de ξ e η (coordenadas de área dadas na figura 2.5), tendo a seguinte forma:

$$L = \begin{bmatrix} \langle 1 \rangle & \langle 0 \rangle & \langle 0 \rangle \\ \langle 0 \rangle & \langle 1 \rangle & \langle 0 \rangle \\ \langle 0 \rangle & \langle 0 \rangle & \langle 1 \rangle \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

com,

$$\langle 0 \rangle = \langle 0 \quad 0 \quad 0 \rangle \quad (2.20)$$

$$\langle 1 \rangle = \langle 1 - \xi - \xi\eta \rangle \quad (2.21)$$

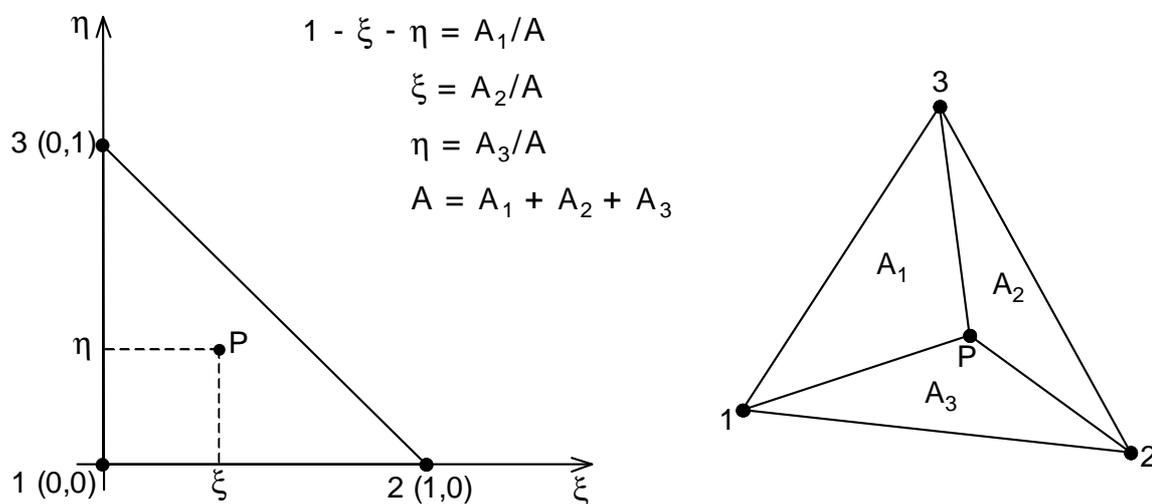


Figura 2.5 – Coordenadas de área ξ e η

Para materiais homogêneos e ortotrópicos (com os eixos locais x e y coincidentes com os eixos de ortotropia), a matriz D_b da equação (2.17) pode ser expressa da seguinte forma:

$$D_b = \begin{bmatrix} E_1 & E_2 & 0 \\ E_2 & E_3 & 0 \\ 0 & 0 & E_4 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

onde E_1 , E_2 , E_3 e E_4 são função das constantes do material e da espessura da placa.

Introduzindo (2.18) em (2.17), e usando $dx dy = 2 A d\xi d\eta$ obtém-se a forma explícita da matriz de rigidez:

$$K = \frac{1}{2A} \alpha^T D L d\xi d\eta \quad (2.23)$$

onde o produto DL é dado, para materiais homogêneos e ortotrópicos, da seguinte forma:

$$DL = \frac{1}{24} \begin{bmatrix} E_1 R & E_2 R & 0 \\ E_2 R & E_3 R & 0 \\ 0 & 0 & E_4 R \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

para o caso de materiais homogêneos e isotrópicos:

$$E_1 = E_3 = Eh^3/12(1 - \nu^2) \quad (2.25)$$

$$E_2 = \nu E_1 \quad (2.26)$$

$$E_4 = E_1(1 - \nu)/2 \quad (2.27)$$

onde E , h e ν são o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson e a espessura da placa, respectivamente.

A matriz R da equação (2.24) tem a seguinte forma:

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

A implementação computacional deste formulário, com a montagem da matriz de rigidez, determinação dos deslocamentos e esforços nos elementos, foi feita pelo aproveitamento de rotinas existentes no sistema GAELI, adaptadas à estrutura de dados do ANASUPER/PAV.

2.4 DEFINIÇÃO DAS MALHAS PARA AS LAJES

O processo de geração das malhas de elementos finitos triangulares obedece o critério de distorção dos elementos dado por LO (1994), sendo reproduzido abaixo:

Dado o triângulo de vértices A, B e C:

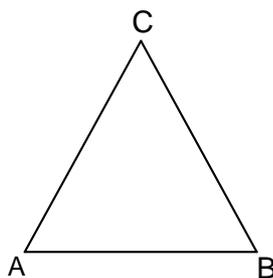


Figura 2.6 – Triângulo para definição do critério de distorção

pode-se calcular um valor α da seguinte forma:

$$\alpha = 4\sqrt{3} \frac{\|CA \times CB\|}{\|AB\|^2 + \|BC\|^2 + \|CA\|^2} \quad (2.29)$$

onde:

$\|CA \times CB\|$ é duas vezes a área do triângulo ABC.

$\|AB\|$, $\|BC\|$ e $\|CA\|$ são os comprimentos dos lados.

para que o triângulo não seja distorcido deve-se ter:

$$\alpha \geq 0,8 \quad (2.30)$$

Observando este critério, definiram-se duas malhas de configurações diferenciadas, chamadas malhas 1 e 2 (figuras 2.7 e 2.8). Elas foram analisadas através de testes com uma laje de dimensões 6x4 m, submetida a um carregamento vertical uniformemente distribuído e com condições de engastamento diferenciadas. Estes testes tinham por objetivo a verificação

do desempenho dos elementos triangulares de flexão de placa, bem como a definição da melhor configuração de malha para as diferentes dimensões das lajes.

Foram determinados os deslocamentos e os esforços nos nós da laje para cada situação de engastamento, utilizando-se o sistema GAELI. Os resultados de momentos fletores e deslocamentos no centro da laje foram comparados com os teóricos obtidos por Timoshenko (1959), sendo apresentados nas tabelas 2.5 e 2.6, onde os índices 1, 2 e t indicam que os resultados são referentes, respectivamente, à malha 1; à malha 2 e aos resultados teóricos.

A primeira malha é composta por 13 nós e 16 elementos e a segunda por 25 nós e 32 elementos, ambas tem 8 cm de altura, coeficiente de Poisson de 0,3, módulo de elasticidade de 26000 MPa e carregamento de 10 KN/m².

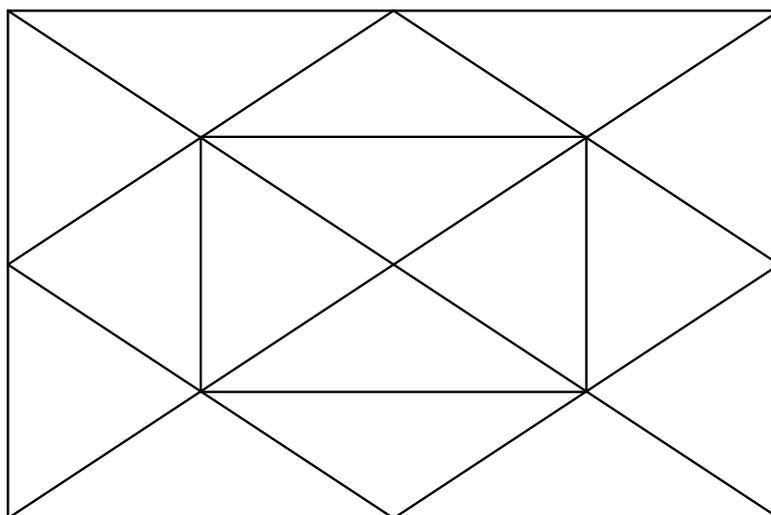


Figura 2.7 – Malha 1

Observando-se as tabelas 2.5 e 2.6, nota-se que os resultados obtidos pela malha 2 são mais próximos dos teóricos que os da malha 1, com erro máximo de 7 % para os deslocamentos e 4 % para os momentos, porém, salienta-se que a malha 1 leva a um menor esforço computacional, característica importante na análise de estruturas de edifícios altos.

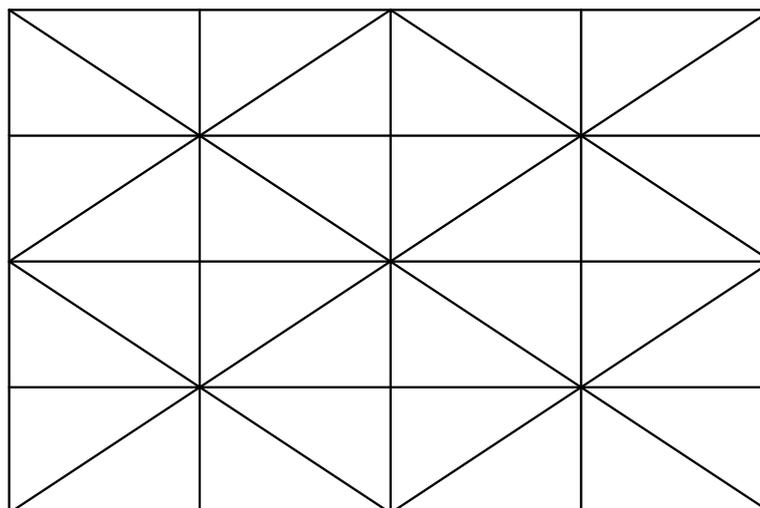


Figura 2.8 – Malha 2

Tabela 2.5 - Deslocamentos no centro da laje

ENGASTAMENTO	DES. 1	DES. 2	DES. T
4 LADOS APOIADOS	1,628	1,566	1,573
2 LADOS ADJACENTES ENG., OUTROS AP.	1,112	0,880	0,850
LADOS MAIORES ENG., OUTROS AP.	0,092	0,565	0,503
LADOS MENORES ENG., OUTROS AP.	1,152	1,148	1,082
4 LADOS ENGASTADOS	0,790	0,480	0,448

Valores em cm

Tabela 2.6 - Momentos fletores nas direções x e y no centro da laje

ENGASTAMENTO	MX 1	MX 2	MX T	MY 1	MY 2	MY T
4 LADOS APOIADOS	8,232	8,001	7,968	10,710	12,782	12,992
2 LADOS ADJACENTES ENG., OUTROS AP.	4,252	3,850	3,968	8,240	7,725	7,696
LADOS MAIORES ENG., OUTROS AP.	6,323	2,770	2,864	7,240	6,548	6,496
LADOS MENORES ENG., OUTROS AP.	8,042	7,402	7,360	8,996	9,561	9,360
4 LADOS ENGASTADOS	6,411	3,252	3,248	6,780	5,698	5,888

Valores em KNm/m

Testes realizados por BATOZ (1982) em uma placa modelada com uma malha de configuração similar a malha 2, submetida à carga concentrada no centro da placa, apresentou erros inferiores a 1 % no valor dos deslocamentos, para o caso de todos os bordos apoiados e relação entre lados inferior a 2. Já com todos os lados engastados, este erro alcança 2 % e, com respeito aos momentos, o erro observado é de 4 % para uma relação entre lados de 1 e 9 % para uma relação de lados 2.

2.4.1 MALHAS PARA LAJES RETANGULARES

A partir da análise do desempenho das malhas estudadas anteriormente, definiu-se a utilização de duas configurações diferenciadas de malha para lajes: uma para relações entre os lados (r) entre 1 e 2 e outra para relações superiores a 2.

Para as lajes com r entre 1 e 2 será utilizada a malha 2, devido à sua maior precisão. Porém, esta malha, assim como é apresentada na figura 2.8, com quatro divisões para ambos os lados, pode ser usada apenas para as relações entre lados inferiores a 1,5, pois a partir deste valor os elementos tornam-se distorcidos, comprometendo a precisão dos resultados. Com isto, para r entre 1,5 e 2, deve-se acrescentar mais duas divisões ao lado maior, conforme figura 2.9. Desta forma, o número de divisões do lado menor é sempre quatro, enquanto que o lado maior terá quatro para relações entre lados inferiores a 1,5 e seis para r entre 1,5 e 2. O termo divisão refere-se ao segmento existente entre dois nós sobre o lado da laje.

Para as lajes com relação entre lados superior a 2, será utilizada a malha 1, reduzindo o grande número de elementos gerados caso fosse empregada a malha 2. Mesmo sendo mais grosseira, esta malha é considerada adequada para simular o comportamento uni-direcional destas lajes alongadas ($r > 2$).

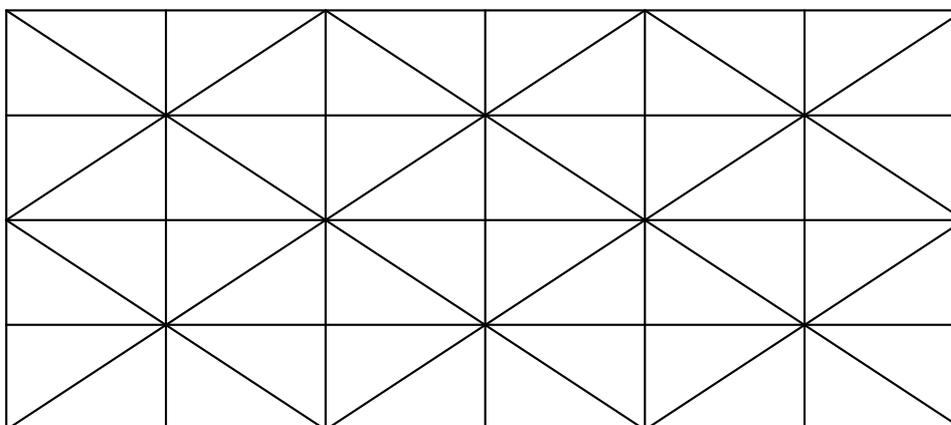


Figura 2.9 – Malha para lajes com relação entre lados de 1,5 a 2

Como no caso anterior, esta malha também terá seu número de divisões aumentado em função da relação entre os lados da laje, possuindo um número fixo de divisões em seu lado menor (quatro), enquanto o número de divisões do lado maior é dado pela expressão:

$$n_b = 2r \quad (2.31)$$

onde:

n_b é o número de divisões no lado maior.

r é a relação entre os lados da laje.

Para que haja simetria na malha, deve-se ter um valor par para n_b .

2.4.2 MALHAS PARA LAJES EM "L"

As malhas utilizadas para as lajes em "L" são definidas considerando estas lajes divididas em 3 retângulos, conforme a figura 2.10. Para cada retângulo será utilizada a configuração da malha 2, não importando a relação entre seus lados. Inicialmente, define-se a malha para o retângulo central, aplicando-se o mesmo procedimento utilizado para as lajes retangulares com relação entre lados menor que 2. Após, definem-se as malhas para os retângulos das abas, sendo que para o lado adjacente ao retângulo central o número de divisões já está definido. Assim, a partir deste, calcula-se o número de divisões para o outro lado, através da expressão:

$$n_b = r_1 n_a \quad (2.32)$$

onde:

n_b é o número de divisões a calcular.

n_a é o número de divisões conhecido.

r_1 é a relação entre os lados oposto e adjacente ao retângulo central.

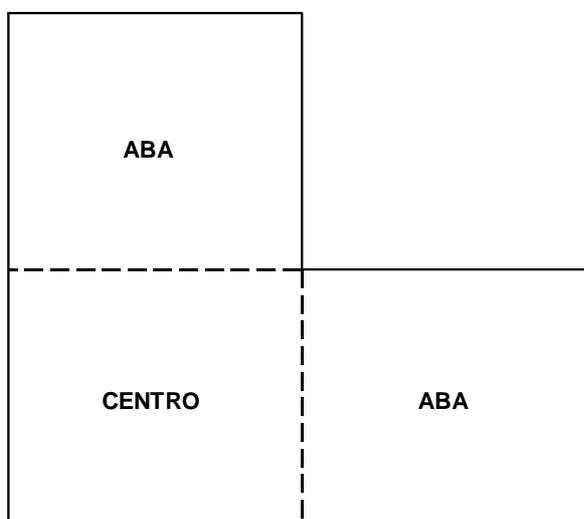


Figura 2.10 – Divisão da laje em “L” em retângulos

3 DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL

3.1 MÓDULOS DO ANASUPER/PAV

O sistema ANASUPER/PAV constitui-se de seis módulos, formados por conjuntos de rotinas. Cada módulo é responsável por determinada etapa dentro do processo de cálculo, sendo sua ordem de execução apresentada na figura 3.1.

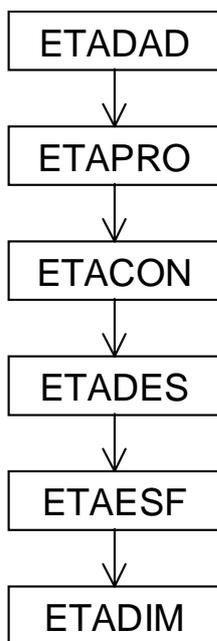


Figura 3.1 – Módulos do ANASUPER/PAV

No módulo ETADAD é realizada a entrada e geração de dados do sistema, utilizando-se um conjunto de planilhas eletrônicas, conforme descrito na seção 1.3.5.

O módulo ETAPRO constitui-se de duas partes principais. A primeira é responsável por uma interface de dados entre o módulo ETADAD e o restante do sistema, transformando os arquivos seqüenciais gerados pela ETADAD em arquivos de acesso direto a serem utilizados pelos demais

módulos. Na segunda parte realiza-se um pré-processamento dos superelementos-tipo, com organização das áreas de memória a serem ocupadas pelas suas matrizes, bem como o controle e a numeração de seus graus de liberdade internos e externos. Por fim, tem-se um ciclo de operações para os superelementos construtivos, atribuindo-lhes uma numeração interna e organizando-os segundo o nível que ocupam na hierarquia da subestruturação.

No módulo ETACON, é realizada a condensação da matriz de rigidez e dos vetores de carga dos superelementos. A primeira etapa é obter, para cada superelemento, as partições K_{aa} , K_{ab} , K_{bb} , P_a e P_b que aparecem na equação (2.4). Esta obtenção é feita por meio das contribuições dos elementos e/ou superelementos constituintes do superelemento em questão (fórmulas 2.9, 2.10, 2.14 e 2.15). Em seguida, ocorre a fatorização da matriz K_{aa} , obtendo-se as matrizes L e D da equação (2.5). Uma série de operações matriciais, com a aplicação das equações (2.6), (2.8) e (2.9), culmina com a obtenção da matriz de rigidez e dos vetores de carga condensados. Convém destacar que a obtenção de \bar{K}_{bb} é feita para cada superelemento-tipo, enquanto \bar{P}_b é obtido para cada superelemento construtivo. Assim, inicialmente, são condensados os superelementos-tipo correspondentes as lajes, em seguida os pavimentos-tipo expandidos e, finalmente, os pavimentos-tipo imaginários.

No módulo ETADES, é feita a formação e solução do sistema de equações (2.1), obtendo-se os deslocamentos dos nós da estrutura. Salienta-se que a montagem do sistema (2.1) é feita a partir das contribuições dos elementos de pilares e dos superelementos correspondentes aos pavimentos. Inicialmente, é feita a organização da memória a ser ocupada por K, bem como a numeração dos graus de liberdade, ocasião em que ocorre a aplicação das condições de contorno de vinculação externa. Na obtenção da matriz de rigidez e do vetor de cargas da estrutura, expressa pelas equações (2.2) e (2.3), as contribuições de K_i^p e P_i^p de superelementos já terão sido obtidas e gravadas na memória periférica (módulo ETACON). Elas terão de ser lidas e rotacionadas segundo a orientação em que

estiverem em relação ao sistema de referência da estrutura. Finalmente, os deslocamentos são determinados, aplicando ao sistema (2.1) o método de solução da coluna ativa de BATHE (1982). Do vetor de deslocamentos U são extraídos e armazenados os vetores U_b dos superelementos formadores da estrutura, para serem utilizados no módulo ETAESF.

No módulo ETAESF, são obtidos e impressos os deslocamentos dos nós internos dos superelementos, os esforços nos elementos e as reações externas. São obtidos em primeiro lugar os esforços nos elementos de pilares. Em seguida, acontece um ciclo de operações sobre os superelementos construtivos relativos aos pavimentos-tipo imaginário, pavimentos-tipo expandido e as lajes, respectivamente, quando são obtidos os deslocamentos dos nós internos e esforços nos elementos constituintes. A obtenção de U_a é feita por meio de uma retro-substituição na equação (2.10). Obtido U_a , dele são extraídos os vetores U_b dos superelementos formadores do superelemento em questão. Encerrado o ciclo dos superelementos, é feita a obtenção das reações externas, por meio do somatório dos esforços nos elementos e superelementos incidentes em cada nó com vínculos.

No módulo ETADIM, realiza-se o dimensionamento e detalhamento de pilares, vigas e lajes. Inicialmente, efetua-se um ciclo sobre os elementos de pilares, lendo-se as solicitações de extremidade de barra referentes aos quatro carregamentos. Em seguida, é feita a combinação destes carregamentos, conforme seção 1.3.6, e determinadas as áreas de aço das armaduras longitudinais para os esforços máximos calculados. Finalmente, é realizado o detalhamento das armaduras longitudinal e transversal. Para os elementos de viga, aplica-se o mesmo procedimento que para os pilares, onde, após a combinação dos carregamentos, resultam o momento máximo positivo, ou negativo, e o esforço cortante máximo. O dimensionamento das lajes será apresentado na seção 3.2.

Os módulos que efetivamente sofreram modificações pelo desenvolvimento deste trabalho tem estas alterações apresentadas nas seções 3.1.1 e 3.1.2.

3.1.1 MÓDULO ETADAD

Responsável pela entrada de dados do sistema, este módulo gera um conjunto de arquivos onde são armazenados os dados que posteriormente serão lidos no módulo ETAPRO.

São criados ao todo nove arquivos de acesso seqüencial, com nome designado pelo usuário, sendo diferenciados entre si por extensões definidas pelo sistema, conforme os dados que armazenam. Cada um destes arquivos está associado a um dos nove grupos de dados definidos na seção 1.3.5.

As modificações realizadas neste módulo referem-se à entrada e alteração de dados das lajes. Até então, o sistema admitia somente lajes retangulares, sendo necessária a informação dos nós dos vértices, as condições de engastamento e a classe de cada laje.

Na verdade, era necessário apenas a informação de dois nós (nós 1 e 2) correspondentes aos vértices, sendo o primeiro o de menor cotas X_G e Y_G , e o segundo o vértice oposto ao primeiro, conforme figura 3.2.

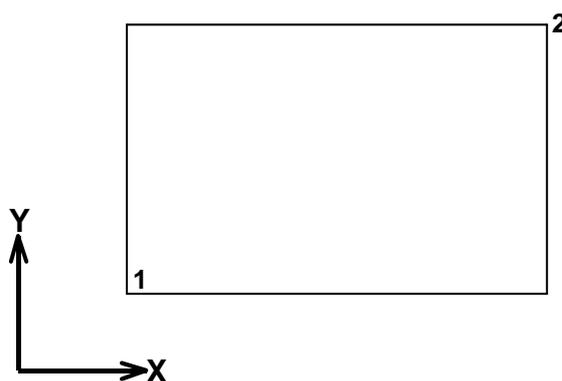


Figura 3.2 – Nós para a entrada de dados das lajes retangulares

Com a introdução das lajes em "L" no sistema, tornou-se necessária a informação da numeração de três nós correspondentes aos vértices da laje. Para as lajes retangulares, os dois primeiros nós devem ser informados como

descrito anteriormente e, ao terceiro deve-se atribuir o valor zero.

Para as lajes em "L", estes nós devem ser informados obedecendo a seguinte ordem: o primeiro deve ser o de menor cotas X_G e Y_G ; o segundo, o nó correspondente ao segundo vértice contado a partir do primeiro, no sentido anti-horário; e o terceiro o nó do segundo vértice contado a partir do segundo nó, no sentido anti-horário. A figura 3.3 apresenta estes três nós.

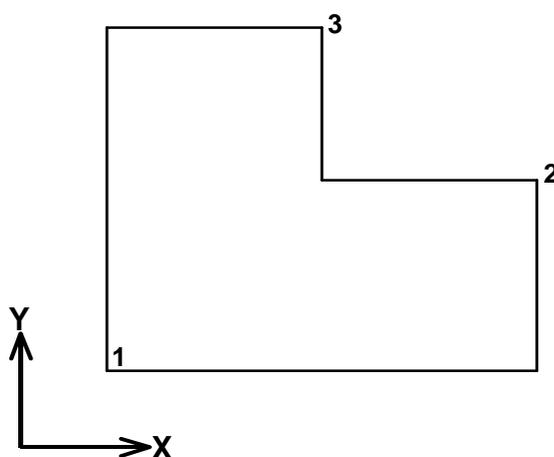


Figura 3.3 - Nós para a entrada de dados das lajes em "L"

A informação dos outros dados necessários à definição das lajes não sofreu alterações, por serem estes similares a lajes retangulares e em "L".

3.1.2 MÓDULO ETAPRO

Conforme dito anteriormente, o módulo ETAPRO realiza a interface entre a entrada de dados (módulo ETADAD) e os demais módulos do sistema, além de fazer o pré-processamento dos superelementos. Para a implantação dos elementos de lajes, efetuaram-se algumas alterações na interface de dados, além disso, foram incorporadas as rotinas responsáveis pela geração das malhas das lajes e criação dos elementos de barra das grelhas dos pavimentos.

Na interface de dados, inicialmente são definidas e inicializadas algumas variáveis. Em seguida, dá-se início ao processo de geração e gravação de todos os dados inerentes à estrutura. Isto é feito por procedimentos executados de forma seqüencial contidos na subrotina INTERF, sendo que, destes procedimentos, os principais são:

- leitura dos arquivos de dados: são lidos os arquivos com os dados gravados na ETADAD.

- gravação dos dados dos superelementos-tipo: são gerados e gravados os dados relativos a cada superelemento-tipo, a saber, o número de nós de contorno, elementos e superelementos construtivos, as listas dos números internos dos nós de contorno, elementos e superelementos construtivos e o conjunto de números internos dos nós incidentes dos superelementos construtivos.

- gravação dos dados dos nós: é feita a geração e gravação das coordenadas, gravação dos códigos dos graus de liberdade ativos e dos dados de restrições referentes a cada nó.

- gravação das cargas nodais: são gravadas as cargas concentradas nos nós da grelha dos pavimentos, informadas pelo usuário no módulo ETADAD.

- gravação das cargas distribuídas nos elementos: para os elementos triangulares que compõem as lajes são gravados os carregamentos distribuídos verticais, permanente e variável, através de um ciclo que varre todas as lajes que compõem a estrutura. Para as barras formadoras da grelha do pavimento, são gravados, além das cargas distribuídas verticais, os carregamentos de vento na direção X_G e Y_G . Esta gravação é feita através de um ciclo sobre as vigas componentes da grelha dos pavimentos, onde, para cada barra de viga, é feita a gravação do valor da carga.

3.1.2.1 ROTINAS PARA GERAÇÃO DAS MALHAS DAS LAJES

A geração das malhas de elementos finitos para as lajes é feita automaticamente pelo sistema, portanto, invisível ao usuário; ela é realizada por cinco rotinas, cujo conjunto também é referenciado neste trabalho como gerador de malhas. Este processo é descrito a seguir e apresentado de forma esquemática no fluxograma da figura 3.4.

A primeira rotina, chamada NUMDIV, inicialmente identifica a geometria da laje. Sendo retangular, calcula-se a relação entre seus lados e, a partir deste valor, determina-se o número de divisões em cada lado, conforme seção 2.4.1. Caso a laje seja em "L", são definidos os retângulos central e das abas e, para cada um, determina-se o número de divisões de seus lados, pelos critérios da seção 2.4.2.

Determinado o número de divisões de cada lado da laje, a rotina calcula o número total de nós, nós de contorno e de elementos e, ainda, define quais são os nós internos e de contorno. Convém salientar que, para a versão experimental, o número de nós de contorno é quatro para as lajes retangulares e seis para as lajes em "L", tendo em vista que as lajes incidem na grelha do pavimento apenas nos nós de canto. Para a versão definitiva, este número depende do número de divisões dos bordos da laje, por ela estar vinculada às vigas de seu contorno por todos os nós de bordo.

Após, é executada a rotina responsável pela geração das coordenadas dos nós. De fato, são duas rotinas, uma para as lajes retangulares (LACOR) e outra para as lajes em "L" (LACORL). Esta geração utiliza-se dos nós dos vértices informados pelo usuário e, a partir destes, determina as coordenadas dos outros nós pela adição do comprimento de segmentos resultantes da divisão dos lados das lajes.

Finalmente, é realizada a geração das conectividades de cada elemento, também com o uso de uma rotina para as lajes retangulares (LACON) e outra para as lajes em "L" (LACONL).

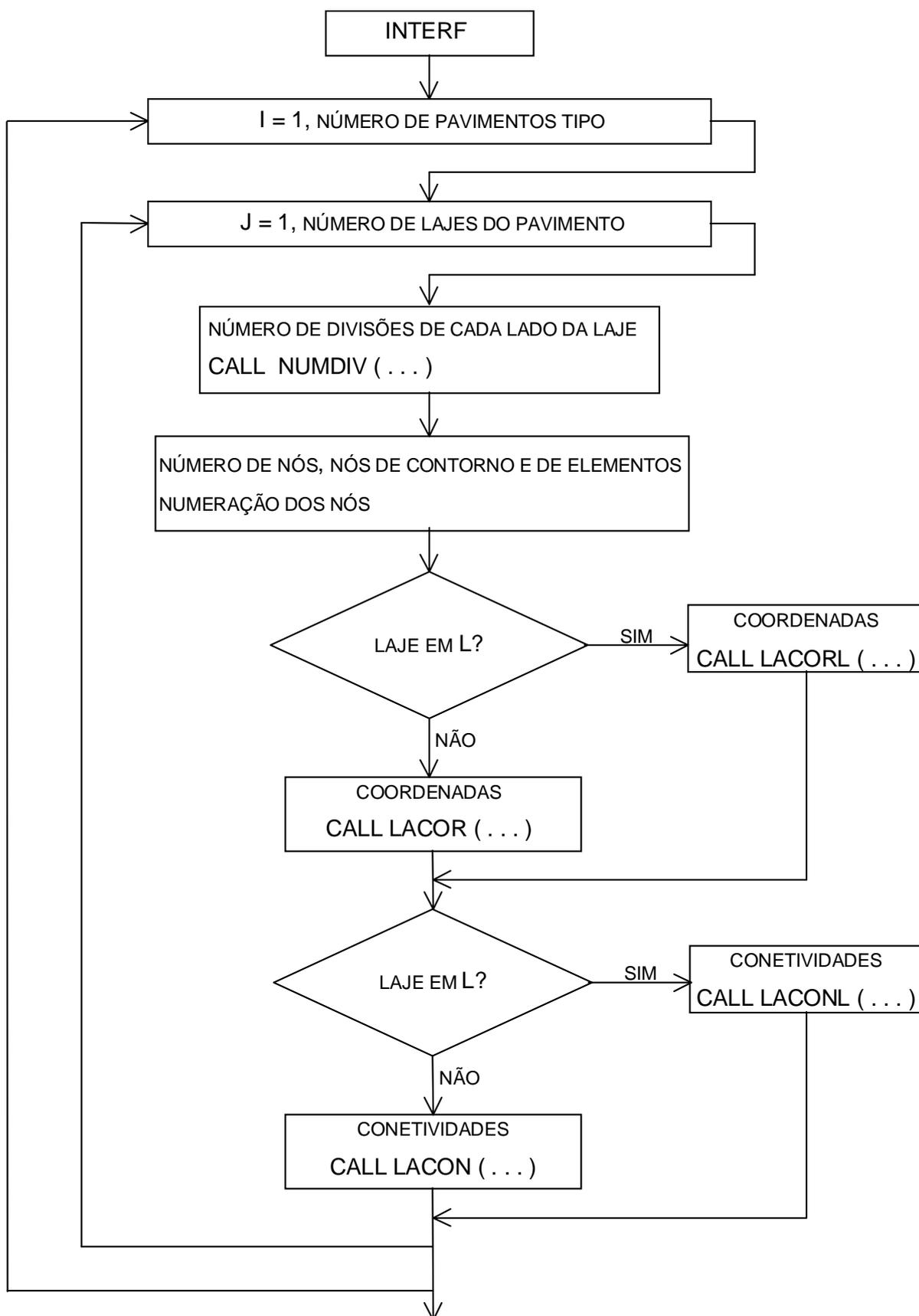


Figura 3.4 – Fluxograma do gerador de malhas

As figuras 3.5 a 3.7 apresentam malhas geradas com o uso das rotinas descritas anteriormente. Mostra-se uma malha para uma laje retangular alongada, outra para laje em "L" e, uma última, para laje em "L" com abas curtas.

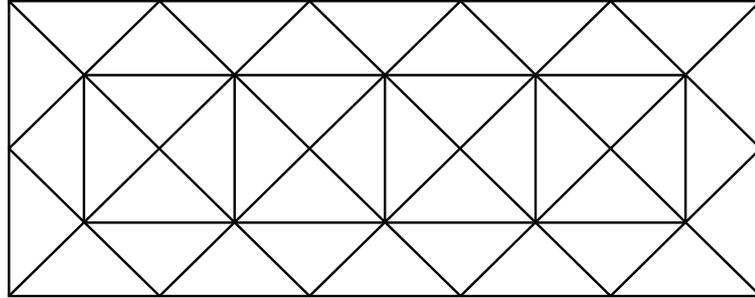


Figura 3.5 – Malha gerada para uma laje retangular alongada

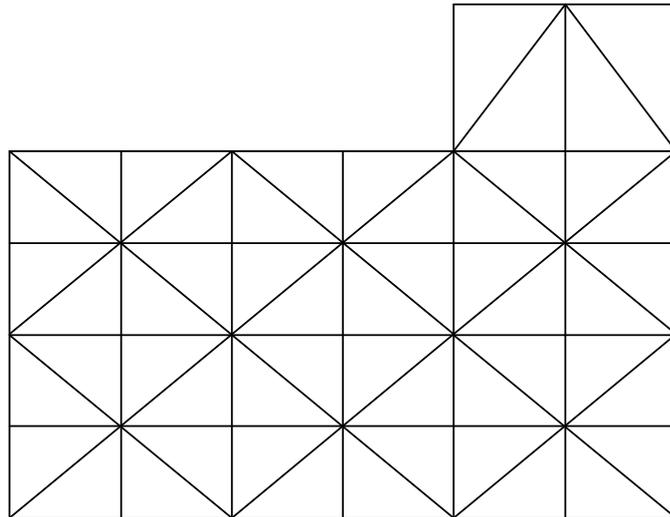


Figura 3.6 – Malha gerada para uma laje em "L"

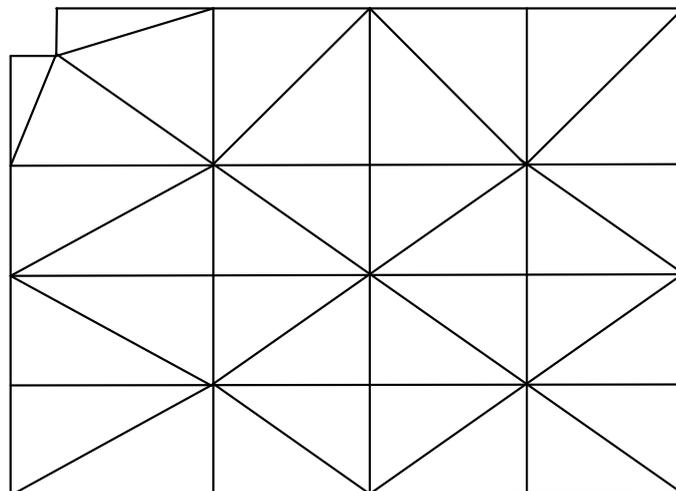


Figura 3.7 – Malha gerada para uma laje em "L" com abas curtas

3.1.2.2 ROTINAS PARA DISCRETIZAÇÃO DA GRELHA DO PAVIMENTO

A discretização da grelha do pavimento consiste na divisão das vigas em barras, definidas entre os nós de bordo das lajes. Este processo é necessário para que as lajes sejam amarradas às vigas por todos os nós de bordo, sendo realizado, portanto, somente para a versão definitiva do ANASUPER/PAV.

Esta discretização é realizada por duas rotinas: uma responsável pela criação propriamente dita dos elementos de barra, e outra que determina as propriedades dos mesmos. A figura 3.8 apresenta um fluxograma resumido que ilustra o processo descrito a seguir.

A primeira rotina, chamada PAVEXP, inicialmente realiza um ciclo de operações sobre as lajes que compõem o pavimento, identificando os eixos correspondentes a cada lado da laje. A partir disto, são criados em cada eixo nós correspondentes aos nós de bordo das lajes, com definição da numeração e cálculo das coordenadas.

Na maioria das vezes, duas lajes adjacentes possuem em sua interface nós coincidentes. Então, o ciclo descrito anteriormente cria, no eixo que divide as duas lajes, dois nós para o mesmo ponto, tornando necessária a eliminação destes nós coincidentes. Isto é feito por dois ciclos, um para os eixos na direção X_G e outro para os eixos na direção Y_G . Estes ciclos procuram em cada eixo os nós coincidentes, eliminando-os quando são encontrados. Um outro ciclo percorre todos os nós do pavimento para tornar a numeração dos nós corrida, tendo em vista que, com a eliminação dos nós coincidentes, os números que identificavam estes passam a não existir. Além disso, este mesmo ciclo calcula o número de nós do pavimento.

Em seguida, é realizado um ciclo sobre as vigas do pavimento para a determinação do número de elementos de barra criados para a grelha. Ainda é realizado um ciclo sobre as lajes para a determinação dos nós do pavimento que servem como nós de contorno dos superelementos de laje.

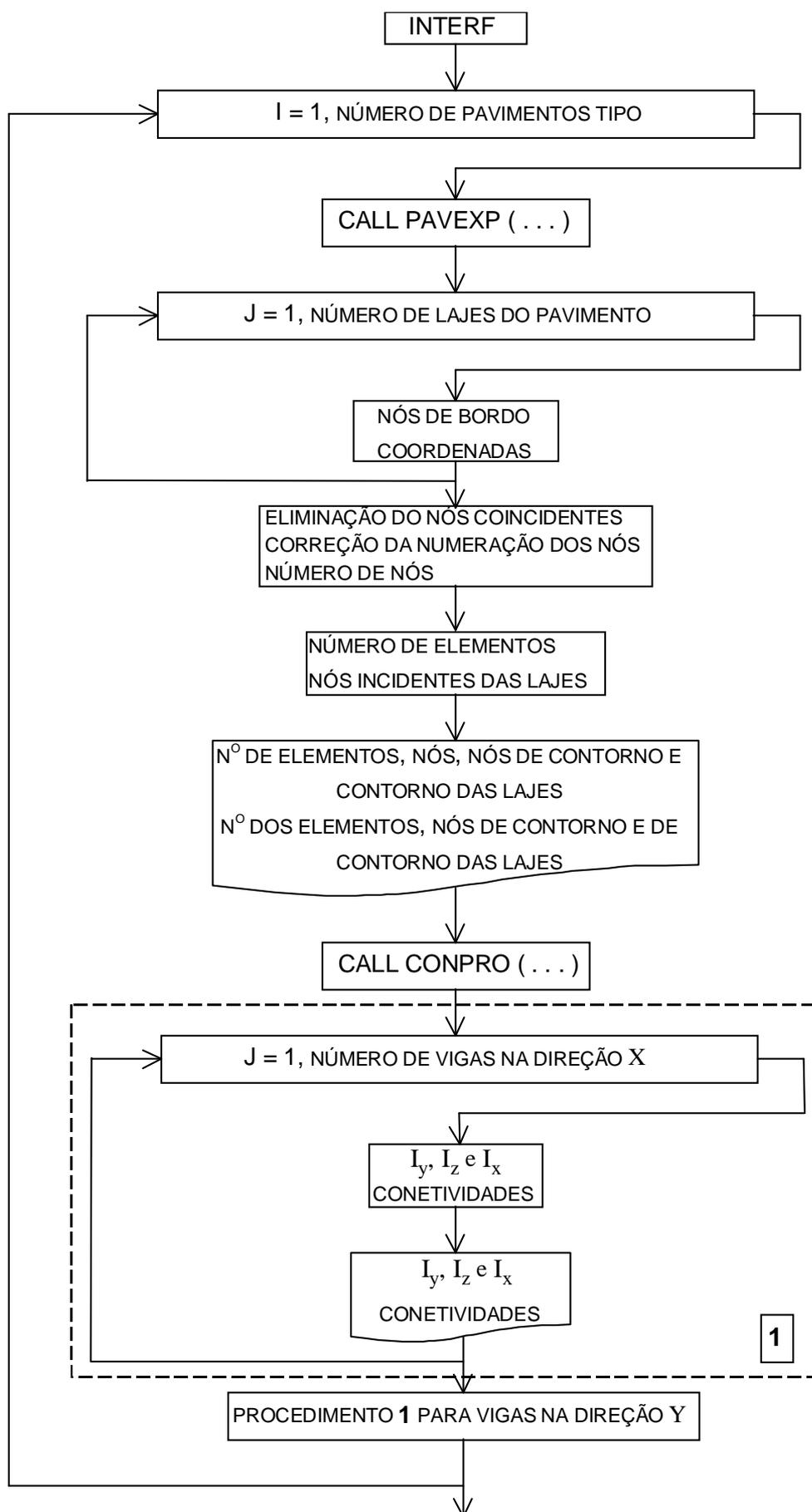


Figura 3.8 – Fluxograma da criação dos elementos de barra

Finalmente, é feita a gravação dos dados gerados em arquivos, sendo estes dados: o número de elementos de barra, o número de nós da grelha (internos e de contorno), além dos conjuntos de nós pelos quais cada laje incide no pavimento.

A segunda rotina, chamada de CONPRO, realiza dois ciclos, um que varre as vigas na direção X e outro as vigas na direção Y. Estes ciclos são responsáveis pela determinação das propriedades intrínsecas a cada elemento de barra. Desta forma, são determinados os momentos de inércia à flexão (I_y e I_z) e à torção (I_x), bem como as conectividades de cada elemento. Em seguida os dados são gravados em arquivos que serão utilizados posteriormente pelos outros módulos do sistema.

Além disso, é realizado o ordenamento dos elementos de barra. Inicialmente são numeradas as barras pertencentes às vigas na direção X_G e, em seguida, as pertencentes às vigas na direção Y_G .

São gravados também, para os elementos de barra, suas propriedades geométricas, ou seja, as dimensões da seção transversal (largura e altura), bem como as coordenadas de seus nós.

A figura 3.9 apresenta a divisão da grelha do pavimento em barras, onde a figura 3.9a representa o pavimento a ser discretizado, a figura 3.9b a malha de elementos finitos gerada para as lajes e a figura 3.9c o conjunto de barras que formam a grelha do pavimento.

3.2 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Como foi dito na seção 1.3.6, a primeira versão do ANASUPER/PAV faz o dimensionamento dos elementos de viga e pilares, com o cálculo das áreas de aço e detalhamento das armaduras a partir das solicitações máximas determinadas para estes elementos.

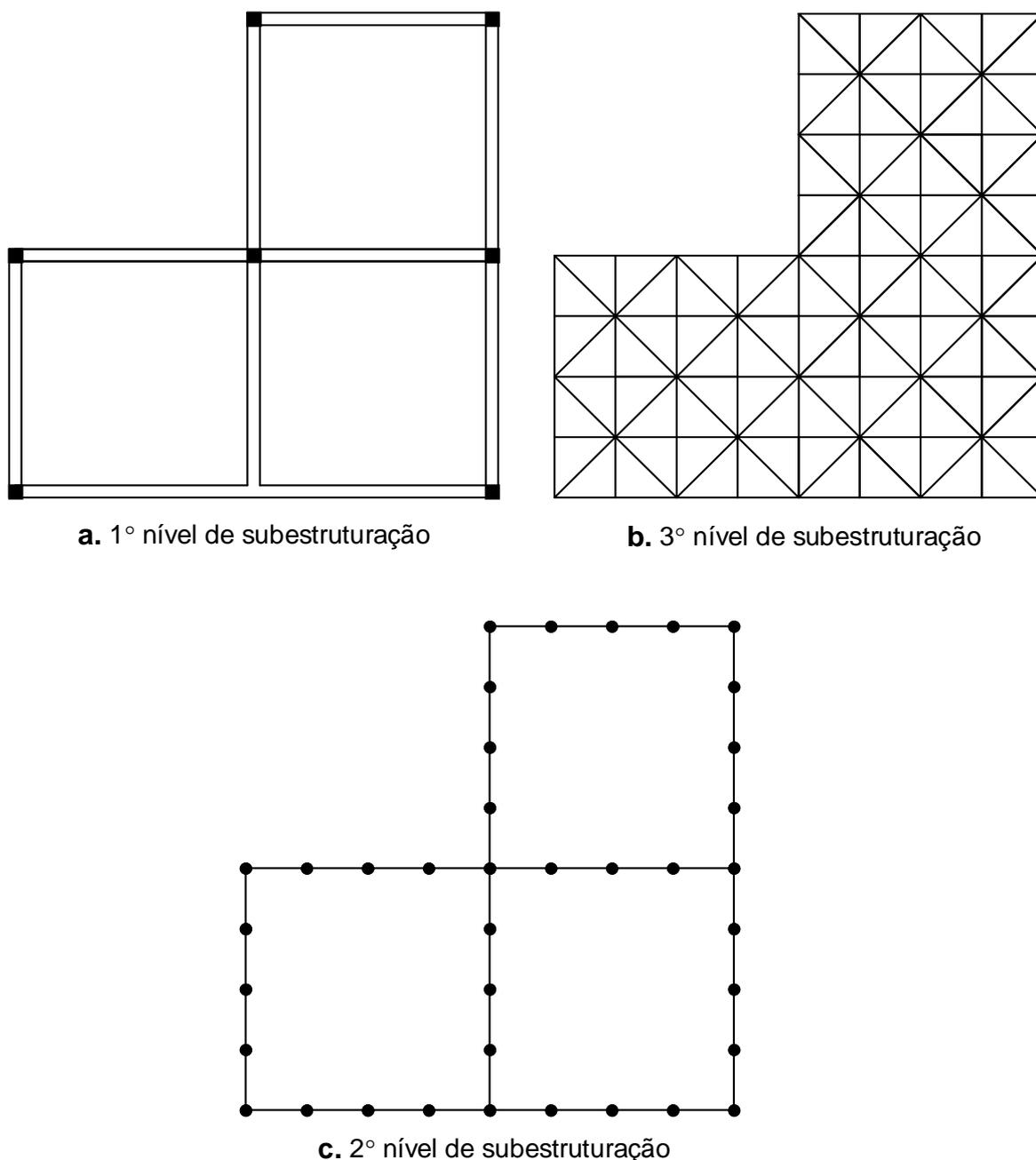


Figura 3.9 – Geração das barras que compõe a grelha do pavimento

Objetivando a completa definição das armaduras necessárias às estruturas dos edifícios, foi desenvolvido nesta versão do ANASUPER/PAV um conjunto de rotinas para o dimensionamento das lajes, informando ao usuário as armaduras de flexão necessárias a estes elementos.

O processo de dimensionamento das lajes é ilustrado de forma esquemática pelo fluxograma da figura 3.10 e descrito como segue:

Inicialmente, é realizado um ciclo sobre todos os pisos da estrutura, dentro do qual realiza-se outro que varre as lajes dos mesmos. Então, para cada laje, são lidos dos arquivos, gerados nos módulos anteriores, sua espessura e o comprimento dos lados, bem como os resultados de deslocamentos e esforços em seus nós, para os carregamentos à que a estrutura foi submetida.

Com isto, é feita uma pesquisa entre os nós de contorno, determinando-se, para cada bordo, os nós em que ocorrem os valores máximos de momentos (M_x e M_y). Esta mesma pesquisa também é realizada para os nós internos da laje, para a determinação dos momentos máximos nos vãos (direções X e Y).

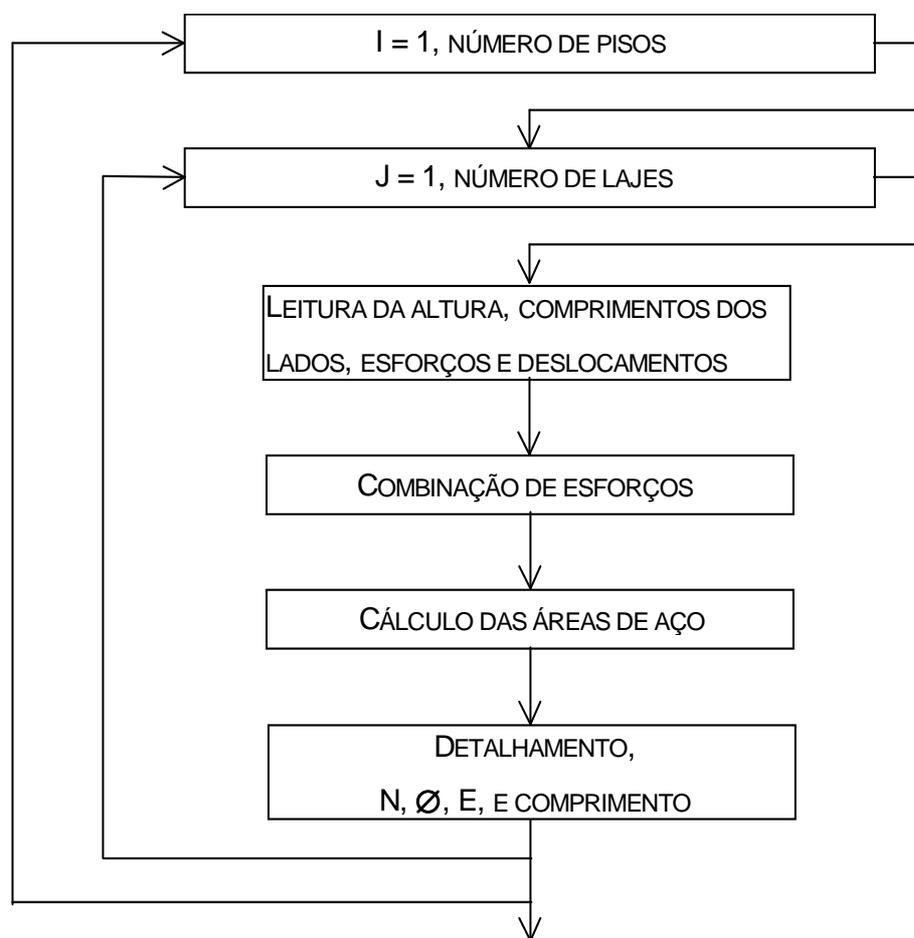


Figura 3.10 – Fluxograma do processo de dimensionamento das lajes

Os esforços resultantes da pesquisa anterior, referentes a cada carregamento, são combinados de nove maneiras diferentes, pelo mesmo procedimento utilizado para as

vigas e pilares descrito na seção 1.3.6, obtendo-se os momentos a serem utilizados no dimensionamento das armaduras.

De posse destes momentos, são calculadas as respectivas áreas de aço, pela aplicação do algoritmo apresentado por SENSALE (1994). A partir destas áreas, são determinados o número de barras, diâmetro, espaçamento e comprimento das mesmas.

Como resultado final do processo de dimensionamento, o programa fornece ao usuário um relatório, onde são informados os seguintes dados:

- Número da laje, pavimento ao qual ela pertence, sua geometria (retangular ou em "L") e o comprimento dos lados.

- Flecha máxima.

- Momentos máximos.

- Área das armaduras, observando as áreas mínimas requeridas pela NBR-6118 (1980).

- Número de barras de aço para os bordos e vãos.

- Diâmetro das barras, não se utilizando bitolas inferiores a 5 mm para as armaduras positivas e 6.3 mm para as negativas. Além disso, estes diâmetros não poderão ser superiores a 1/10 da altura da laje.

- Espaçamento das barras, obedecendo os seguintes critérios:

bordos: $15 \text{ cm} \leq \text{espaçamento} \leq 20 \text{ cm}$

vãos: $10 \text{ cm} \leq \text{espaçamento} \leq 15 \text{ cm}$

- Para as lajes retangulares armadas em uma direção, ou seja, lajes cuja relação entre lados é superior a 2, o espaçamento entre as barras do vão maior estará compreendido entre 15 e 33 cm, pois neste caso se trata de uma armadura construtiva.

- Comprimento das barras, onde para os vãos são utilizados os comprimentos dos mesmos. Para os bordos das lajes retangulares é usado o comprimento de 1/4 do menor vão da laje e, para as lajes em "L", é utilizado o comprimento de

1/4 do menor lado adjacente ao bordo detalhado, sendo estes critérios decorrentes da prática usual do cálculo de estruturas de edifícios de concreto armado.

A completa definição da armadura negativa entre as lajes adjacentes fica a cargo do projetista, tendo em vista que o programa informa dois detalhamentos para a interface entre as lajes.

Para fins de interpretação deste relatório, os lados das lajes foram numerados da seguinte forma: o primeiro corresponde ao lado paralelo ao eixo X_G com menor cota Y_G , e os outros são numerados a partir deste, obedecendo sentido anti-horário, conforme a figura 3.11.

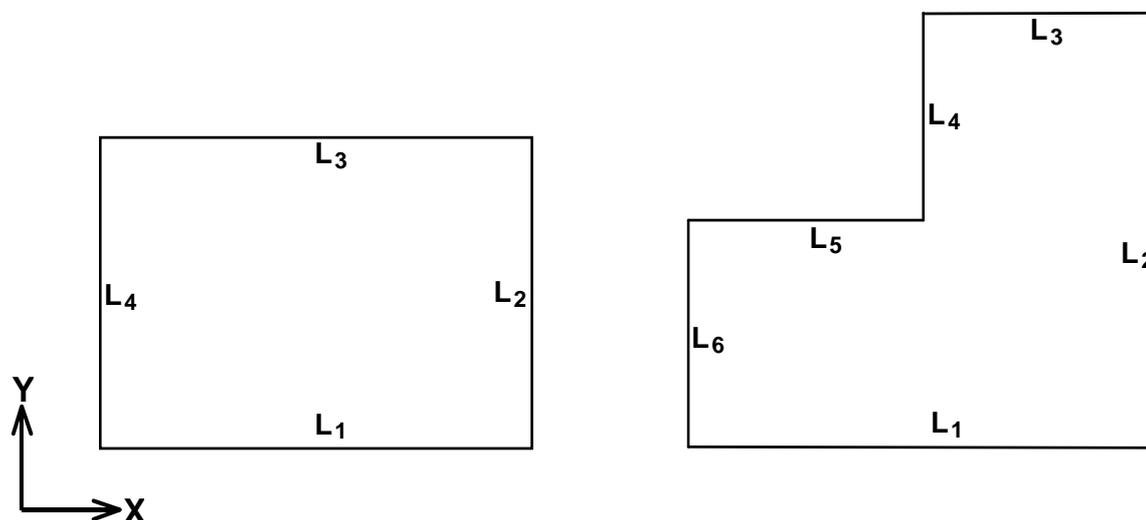


Figura 3.11 – Numeração dos bordos das lajes

4 EXEMPLOS

Tendo em vista a verificação do processo de geração das malhas das lajes e barras das grelhas, bem como das condições de funcionamento e desempenho desta nova versão do ANASUPER/PAV, foram analisados exemplos de diferentes estruturas. Além disso, os exemplos procuram aferir a precisão do modelo de subestruturação adotado, comparando os resultados com os obtidos por outros sistemas computacionais. Também é realizada uma comparação de resultados entre a versão original e a neste trabalho desenvolvida, a fim de se determinar a influência da inclusão das lajes no processo de análise.

4.1 EXEMPLO 1

Neste exemplo, foi analisada uma estrutura bastante simples, com a finalidade de se comparar os resultados obtidos pelas versões experimental e definitiva do ANASUPER/PAV com os do sistema GAELI. Trata-se de um pavimento de forma quadrada submetido a um carregamento vertical distribuído de 5 KN/m^2 , composto por uma de laje 10 cm de espessura, suportada por vigas de seção transversal de 10x30 cm que, por sua vez, se apoiam em pilares de dimensões transversais 30x30 cm e altura 3 m, conforme figura 4.1, onde as dimensões são apresentadas em cm.

Baseado na geometria da laje, o ANASUPER/PAV gerou automaticamente a malha de elementos finitos para a mesma, constituída por 25 nós e 32 elementos, mostrada também na figura 4.1.

Adotou-se um módulo de elasticidade de longitudinal (E) de 25548,91 Mpa, um módulo de elasticidade transversal

(G) de 10219,56 MPa, correspondentes a um f_{ck} de 15 MPa, e um coeficiente de Poisson de 0,25.

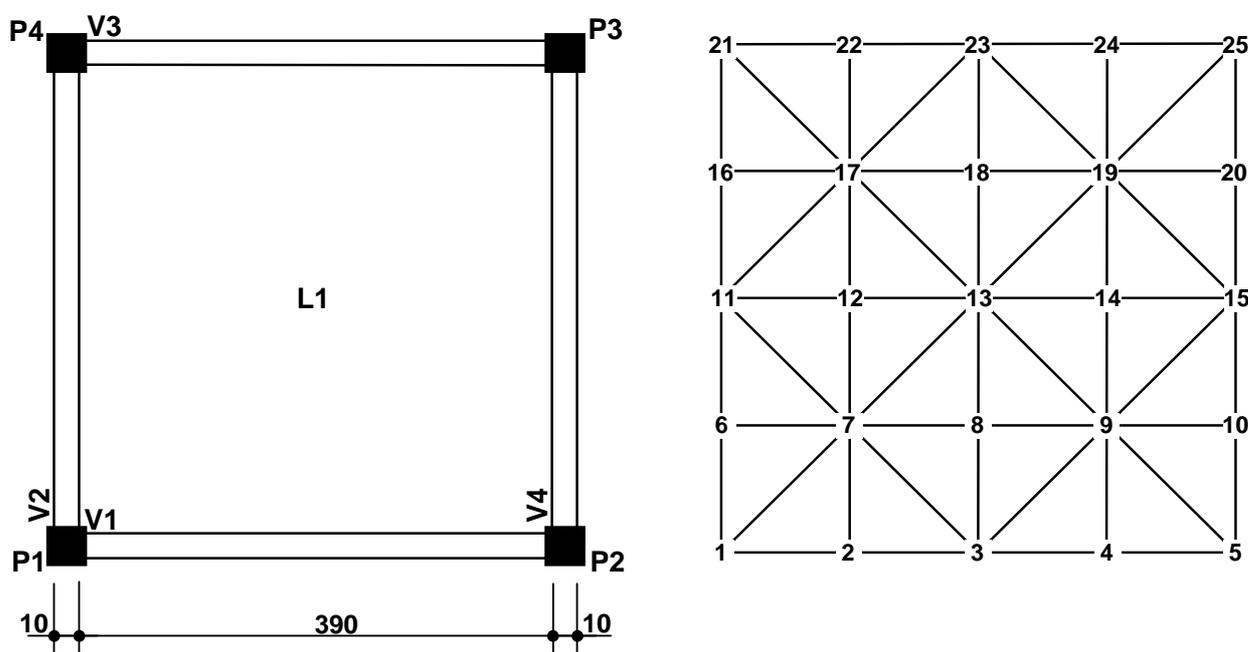


Figura 4.1 – Pavimento do exemplo 1 e malha da laje L1

O GAELI é um sistema mais geral para a análise de estruturas, não possuindo, portanto, uma análise específica para edifícios de concreto armado. Assim, para a simulação do pavimento, empregou-se um modelo estrutural que combina grelha com elementos triangulares de flexão de placa, utilizando-se a mesma malha gerada pelo ANASUPER/PAV. Os pilares foram substituídos por apoios elásticos com constantes de mola equivalentes à rigidez dos mesmos.

Com relação aos resultados obtidos, observou-se que, para os nós de canto da laje (1, 5, 21 e 25), tanto os deslocamentos verticais quanto as rotações R_x e R_y tiveram valores idênticos entre as duas versões do ANASUPER/PAV e o GAELI. Porém, para os nós internos, a versão experimental apresentou valores bem superiores aos encontrados pelo GAELI, alcançando diferenças de até 265 % para os giros e 239 % para os deslocamentos verticais, conforme a tabela 4.1. Já para a versão definitiva, estas diferenças foram da ordem de 5,00 % para os deslocamentos verticais e 4,00 % para os giros, sendo

atribuídas a pequenas imprecisões inferidas pela simulação dos pilares por apoios elásticos no GAELI.

Tabela 4.1 – Deslocamentos verticais

Nó	DESLOCAMENTOS VERTICAIS (cm)			DIFERENÇAS (%)	
	AS/PAV (1)	AS/PAV (2)	GAELI	AS/PAV (1) X GAELI	AS/PAV (2) X GAELI
1	-0,0026	-0,0026	-0,0026	0,00	0,00
2	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,64
3	-0,3365	-0,1012	-0,0991	239,56	2,11
4	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,64
5	-0,0026	-0,0026	-0,0026	0,00	0,00
6	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,69
7	-0,4167	-0,1974	-0,1891	120,36	4,38
8	-0,5198	-0,2571	-0,2448	112,34	5,02
9	-0,4167	-0,1974	-0,1891	120,36	4,38
10	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,66
11	-0,3365	-0,1012	-0,0991	239,56	2,11
12	-0,5198	-0,2572	-0,2448	112,34	5,06
13	-0,6045	-0,3211	-0,3075	96,59	4,42
14	-0,5198	-0,2571	-0,2448	112,34	5,02
15	-0,3365	-0,1012	-0,0991	239,56	2,11
16	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,69
17	-0,4167	-0,1974	-0,1891	120,36	4,38
18	-0,5198	-0,2571	-0,2448	112,34	5,02
19	-0,4167	-0,1973	-0,1891	120,36	4,33
20	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,64
21	-0,0026	-0,0026	-0,0026	0,00	0,00
22	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,63
23	-0,3365	-0,1011	-0,0991	239,56	2,01
24	-0,2011	-0,0625	-0,0615	226,99	1,63
25	-0,0026	-0,0026	-0,0026	0,00	0,00

AS/PAV (1) – VERSÃO EXPERIMENTAL, **AS/PAV (2)** – VERSÃO DEFINITIVA

A figura 4.2 ilustra a superfície deformada da laje obtida pelo GAELI e pela versão experimental do ANASUPER/PAV, estando as curvas deformadas da seção central representadas no gráfico 4.1.

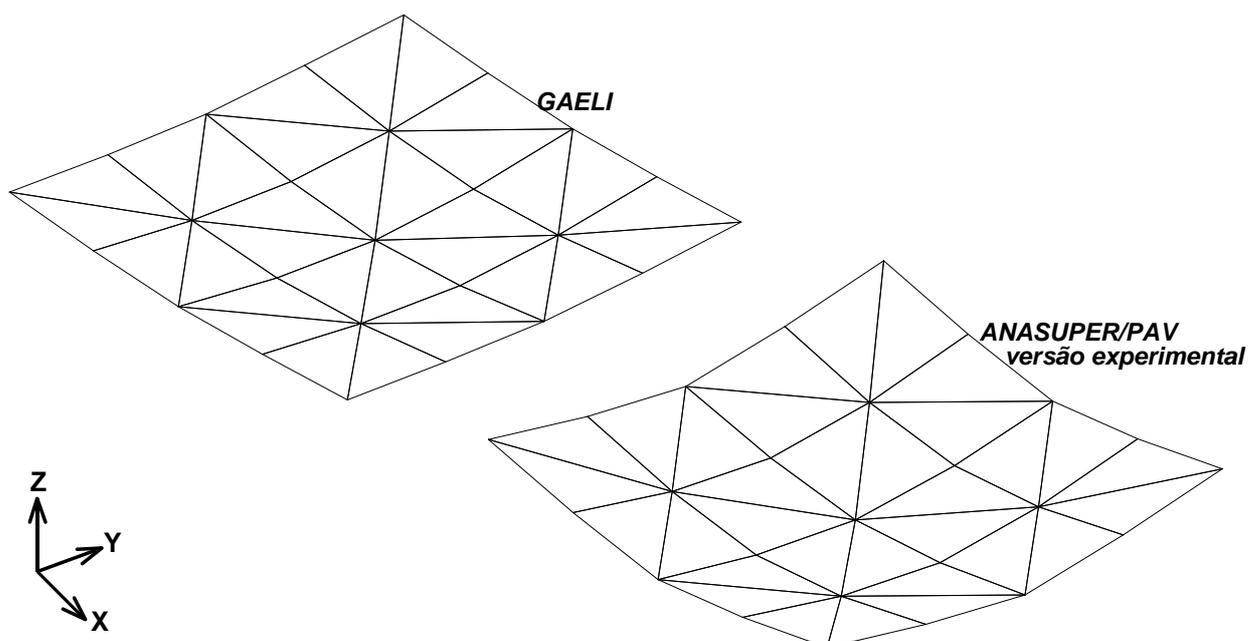


Figura 4.2 – Superfícies deformadas da laje

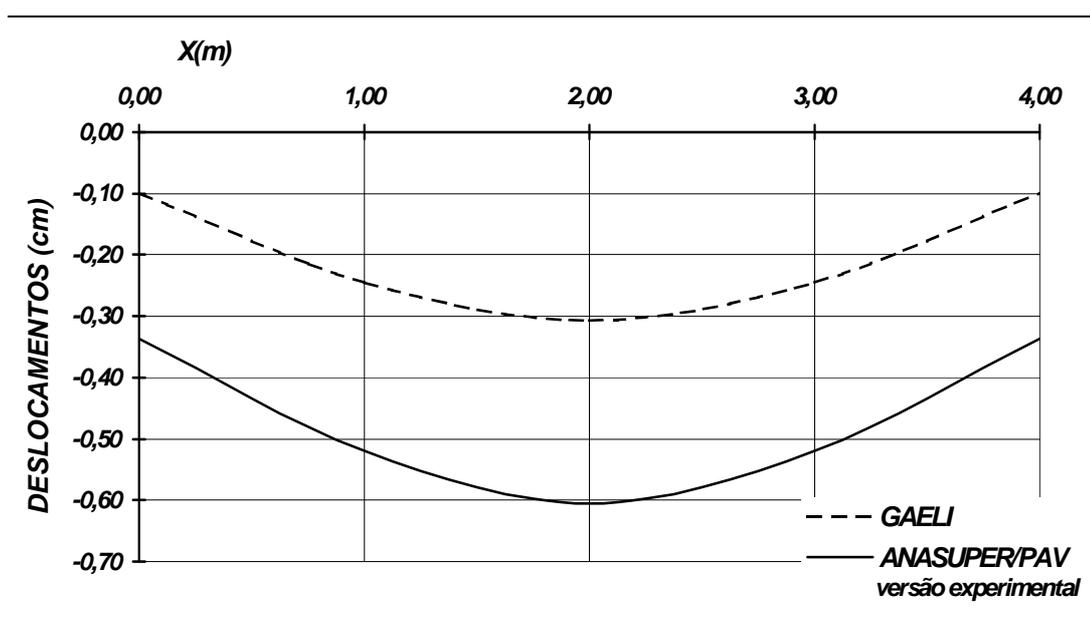


Gráfico 4.1 – Curvas deformadas da seção central

A acentuada diferença verificada entre os deslocamentos dos nós internos, obtidos pela versão experimental do ANASUPER/PAV e pelo GAELI, pode ser explicada pelo fato de, na versão experimental, a laje estar ligada à estrutura apenas pelos nós de canto, enquanto que no GAELI, e na versão definitiva, a mesma é conectada à estrutura por todos os seus nós de bordo, ou seja, na versão experimental a laje não está “costurada” nas vigas.

Assim, observa-se que a aplicação da versão experimental do ANASUPER/PAV em pavimentos constituídos por lajes e vigas não é adequada, por não simular as condições de vinculação entre estes elementos, o que ficou comprovado pelas diferenças entre os deslocamentos obtidos pelos dois sistemas.

4.2 EXEMPLO 2

4.2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o objetivo de se verificar a distribuição de momentos fletores nas lajes, bem como a transferência de esforços entre estas e as vigas, analisou-se um edifício com apenas um piso suportado por 5 pilares, quatro nos cantos e um no centro do pavimento, e limitado por quatro vigas de contorno, sendo submetido a um carregamento vertical distribuído de 5 KN/m².

Para realizar-se uma comparação de resultados, o piso foi dividido internamente de quatro maneiras diferentes, apresentadas na figura 4.3, constituindo-se assim quatro pavimentos diferenciados:

pavimento 1: possui uma única laje sem vigas internas.

pavimento 2: o pavimento é constituído por duas lajes, uma em "L" e outra retangular.

pavimento 3: possui duas vigas internas, uma que liga duas vigas de contorno paralelas, passando pelo pilar central, e outra que vai do pilar central até uma das vigas de contorno, definindo assim 3 lajes retangulares.

pavimento 4: o pavimento é composto por quatro lajes retangulares iguais, separadas por duas vigas internas que ligam as vigas de contorno paralelas.

Na verdade, o pavimento 1 é constituído por duas lajes idênticas as do pavimento 2, simulando-se a laje-

cogumelo pelo uso de dimensões ínfimas para as seções transversais das vigas V3 e V4.

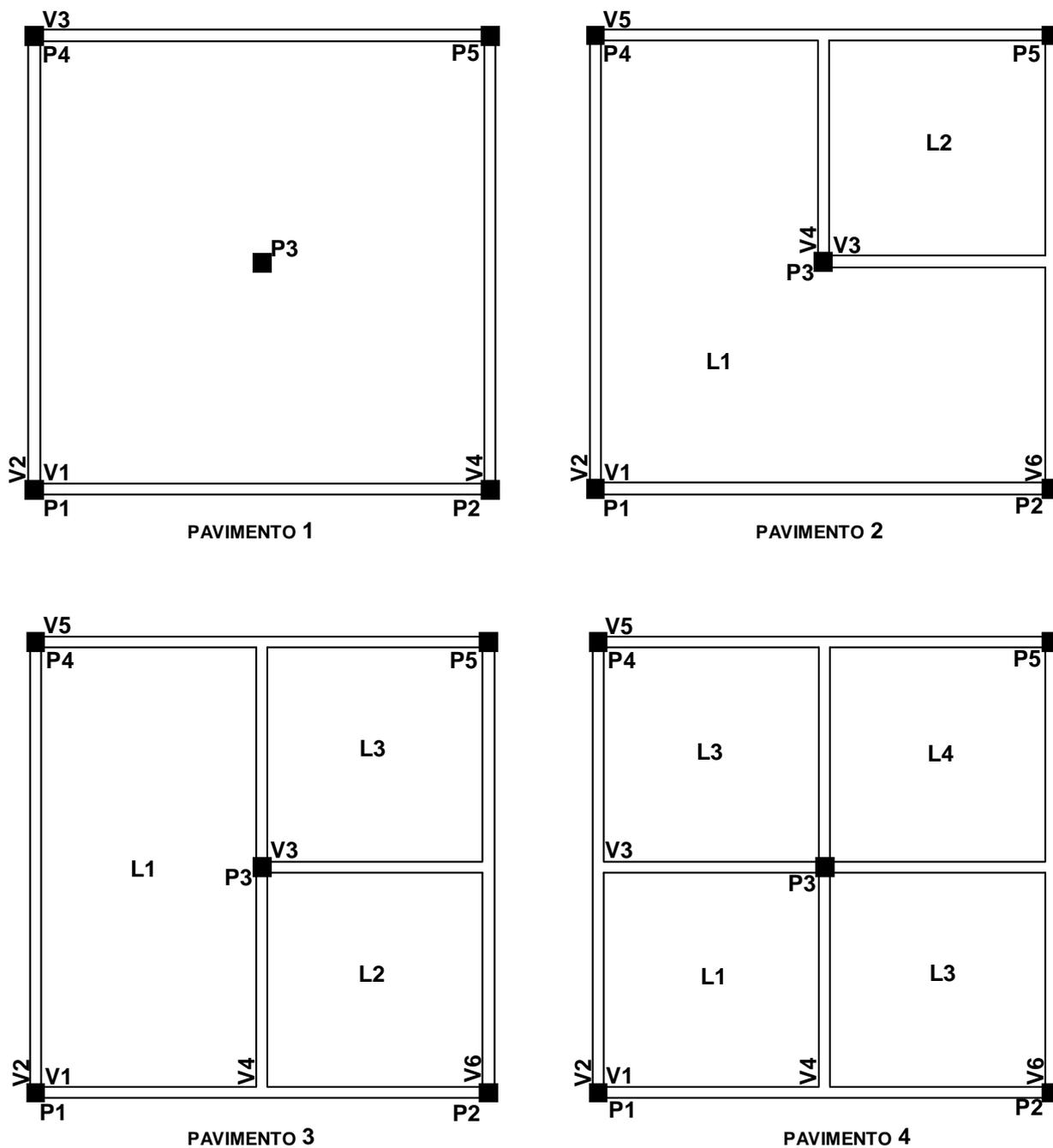


Figura 4.3 – Pavimentos do exemplo 2

Em todos os pavimentos, as vigas de contorno possuem 8 m de comprimento e seção transversal de 20x60 cm, os pilares tem altura de 3 m e seção transversal de 30x30 cm, enquanto as lajes possuem uma espessura de 10 cm. As vigas internas possuem seção transversal igual a das vigas de contorno.

A resistência característica do concreto (f_{ck}) adotada foi de 15 Mpa, resultando em um módulo de elasticidade longitudinal (E) de 25548,91 Mpa; o módulo de elasticidade transversal (G) foi de 10219,56 MPa. O momento de inércia à torção (I_x) para vigas foi reduzido de tal forma que os valores de momentos torçores tornam-se desprezíveis em relação aos momentos fletores.

Nos pavimentos 1, 2 e 3 verificaram-se deslocamentos verticais máximos na ordem de 0,5 cm, mesmo possuindo os pavimentos 2 e 3 vigas internas. No pavimento 4 o máximo deslocamento vertical encontrado foi de 0,24 cm no centro de cada laje.

A tabela 4.2 apresenta as solicitações dos pilares nas seções onde estes encontram o pavimento e, o gráfico 4.2, a comparação entre os esforços normais resultantes no pilar 3 (pilar central). Nota-se que, com o aumento do número de vigas as quais chegam a este pilar, há um acréscimo no valor do esforço normal, e que, para o caso das vigas cruzarem o mesmo, o valor do momento fletor transmitido por estas é muito pequeno, podendo ser desprezado, comprovando, assim, as prescrições da NBR-6118 (1980) sobre pilares intermediários.

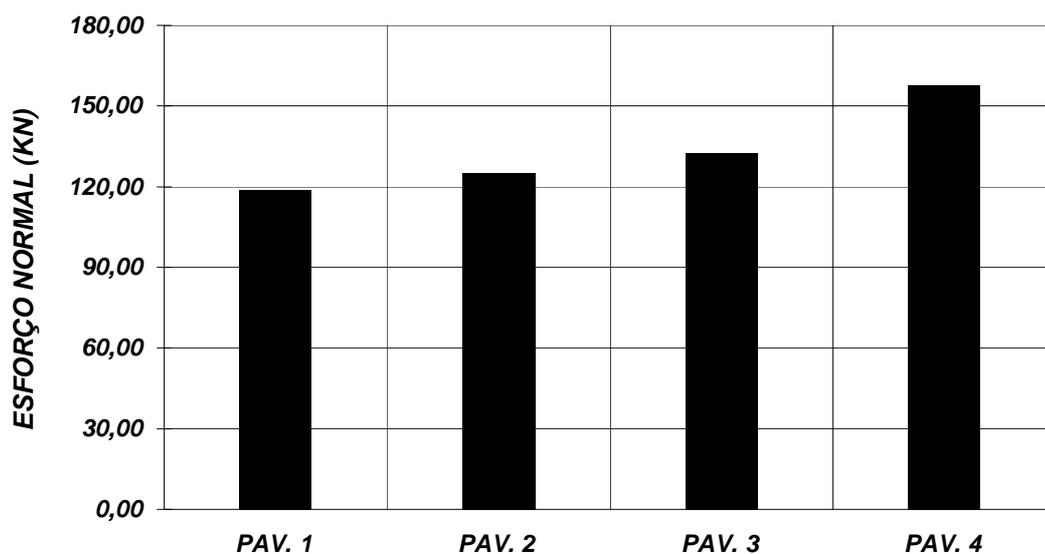


Gráfico 4.2 – Esforço Normal no pilar P3

Tabela 4.2 – Solicitações no topo dos pilares

		PAV. 1	PAV. 2	PAV. 3	PAV. 4
PILAR 1	<i>N</i>	50,43	50,48	47,83	40,59
	<i>MX</i>	9,85	9,75	10,14	7,36
	<i>MY</i>	9,81	9,71	7,77	7,36
PILAR 2	<i>N</i>	50,55	48,92	45,92	40,59
	<i>MX</i>	9,87	9,25	9,74	7,36
	<i>MY</i>	9,82	9,51	7,47	7,36
PILAR 3	<i>N</i>	118,70	125,20	132,60	157,70
	<i>MX</i>	0,01	6,28	0,00	0,00
	<i>MY</i>	0,00	6,29	7,02	0,00
PILAR 4	<i>N</i>	50,53	48,91	47,84	40,60
	<i>MX</i>	9,86	9,55	10,11	7,36
	<i>MY</i>	9,82	9,22	7,77	7,35
PILAR 5	<i>N</i>	50,47	47,12	45,92	40,60
	<i>MX</i>	9,87	9,03	9,74	7,36
	<i>MY</i>	9,82	9,01	7,47	7,35

N em KN, *MX* e *MY* em KNm/m

As figuras 4.4 a 4.7 apresentam a distribuição de momentos fletores na direção X (em kgfm/m) para cada um dos quatro pavimentos. Nos pavimentos 1 a 3, percebe-se uma concentração de momentos junto ao pilar central. Nos pavimentos 2 e 3 esta concentração ocorre apenas para as lajes maiores adjacentes a este pilar, sendo devida à transferência de momentos da viga V3 para estas lajes, uma vez que apenas 20 % do momento fletor existente nesta junto ao nó de ligação com o pilar é transmitido para este.

4.2.2 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Os resultados de dimensionamento das lajes, conforme seção 3.2, são apresentados na forma de relatório, onde são especificados o número da laje, altura, comprimento dos lados, geometria (retangular ou em "L"), momentos máximos, áreas de aço, número, diâmetro, espaçamento e comprimento das barras. Alguns símbolos empregados são definidos como segue:

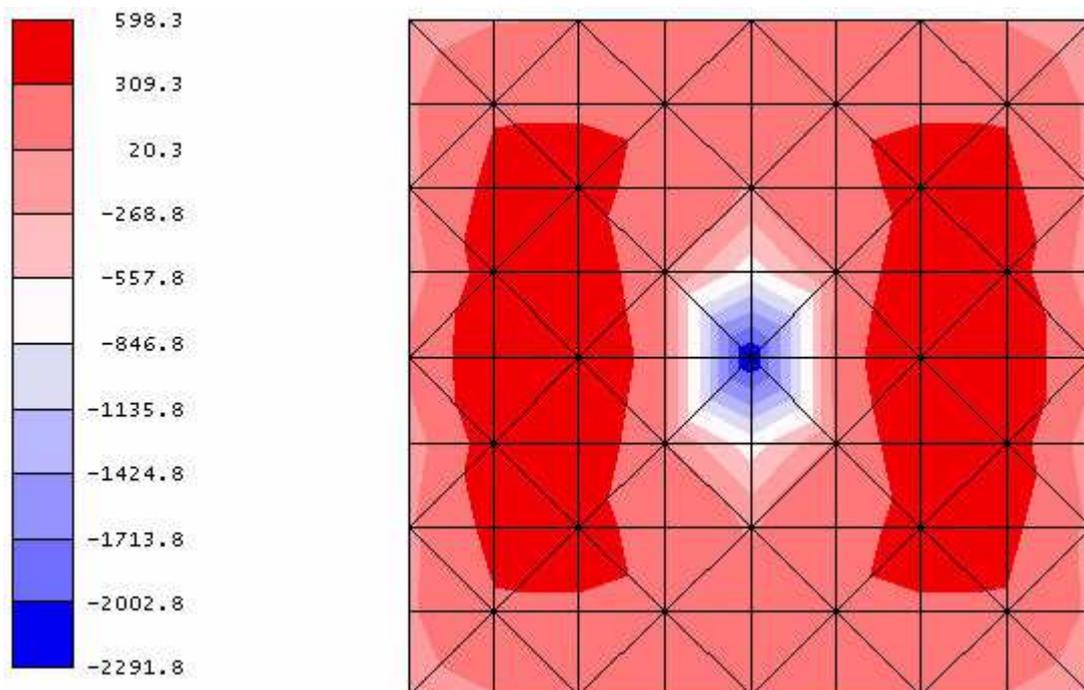


Figura 4.4 - Distribuição de momentos na dir. X para o pavimento 1

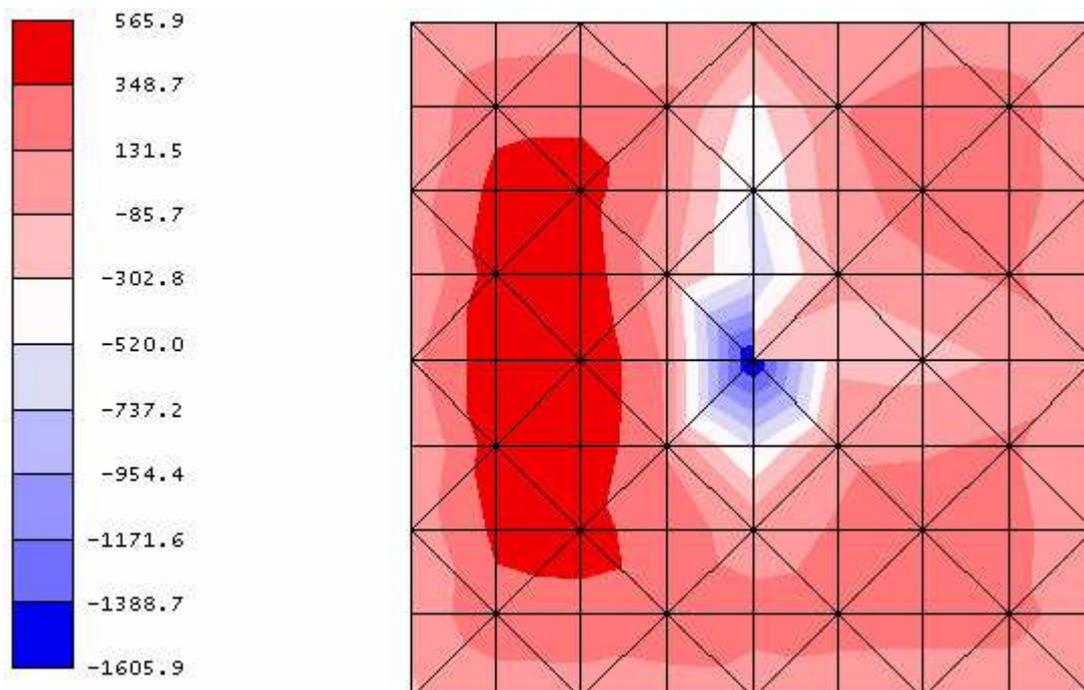


Figura 4.5 - Distribuição de momentos na dir. X para o pavimento 2

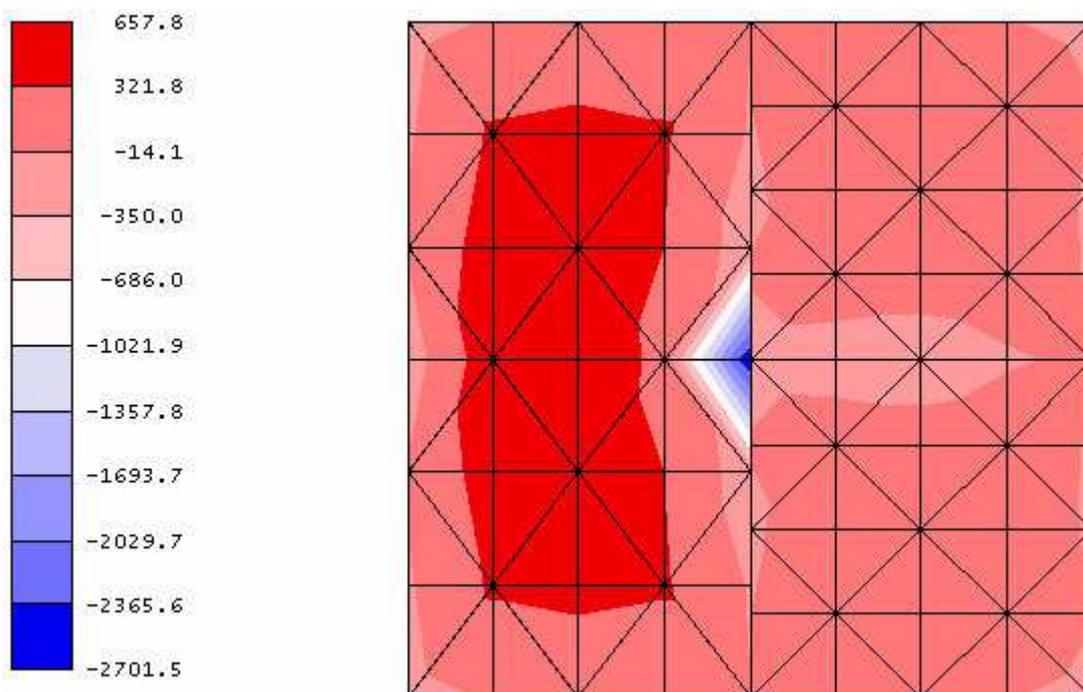


Figura 4.6 - Distribuição de momentos na dir. X para o pavimento 3

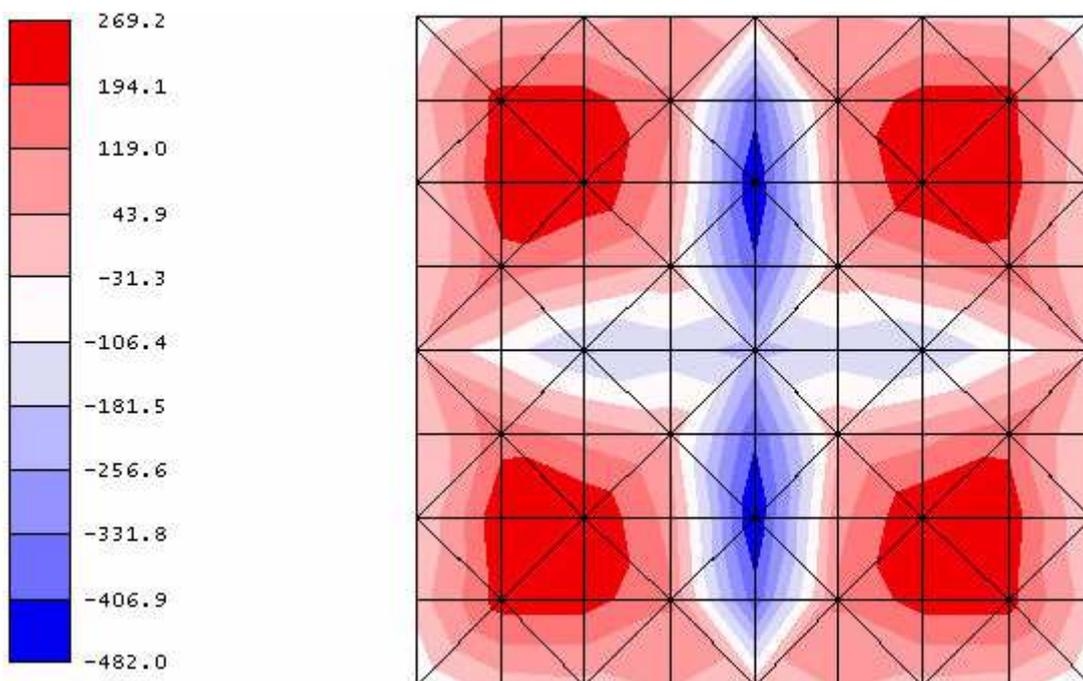


Figura 4.7 - Distribuição de momentos na dir. X para o pavimento 4

H	espessura da laje
L1, ..., L6	comprimentos dos lados em cm
BORDO	número do lado da laje, identificado na figura 3.11
Mmax	momento fletor máximo em kgfm/m
AREA	área de aço em cm ² /m
N	número de barras
D	diâmetro da barra em mm
ESP.	espaçamento entre as barras em cm
COMP.	comprimento da barra em cm
DIR	direção da armadura positiva

As figura 4.8 e 4.9 apresentam os relatórios de dimensionamento das lajes L1 e L2 do pavimento 2. Para a laje L1, por ser esta em "L", o detalhamento das armaduras dos vãos X e Y é definida em duas linhas, onde a primeira refere-se ao comprimento do vão mais próximo do eixo X_G ou Y_G, respectivamente. É apresentado também, na figura 4.10, o dimensionamento da laje L2 do pavimento 3.

```

=====
LAJE 1
H = 10.0cm
L1 = 800.00 L2 = 400.00 L3 = 400.00 L4 = 400.00 L5 = 400.00 L6 = 800.00
EM L
PAVIMENTO 1
FLECHA = .54cm
=====
I                                ARMADURA BORDOS                                I
-----
I BORDO I  Mmax  I  AREA  I  N  I  D  I  ESP.  I  COMP.  I
-----
I  1      -119.50  1.50  41   6.3  20.0  100.00  I
I  2      -73.38  1.50  21   6.3  20.0  100.00  I
I  3     -556.00  2.11  28   6.3  15.0  100.00  I
I  4     -561.50  2.13  28   6.3  15.0  100.00  I
I  5      -68.00  1.50  21   6.3  20.0  100.00  I
I  6     -113.25  1.50  41   6.3  20.0  100.00  I
-----
I                                ARMADURA VAO                                I
-----
I  DIR  I  Mmax  I  AREA  I  N  I  D  I  ESP.  I  COMP.  I
-----
I  X      563.19  2.14  28   6.3  15.0  800.00  I
I          28   6.3  15.0  400.00  I
I  Y      563.81  2.14  28   6.3  15.0  800.00  I
I          28   6.3  15.0  400.00  I
=====

```

Figura 4.8 - Relatório de dimensionamento da laje L1 do pavimento 2

```

=====
LAJE 2                                PAVIMENTO 1
H = 10.0cm                            RETANGULAR      FLECHA = .27cm
L1 = 400.00  L2 = 400.00
-----
I                                ARMADURA BORDOS                                I
-----
I BORDO I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                I
-----
I  1      -718.50  2.77  23  8.0  18.0  100.00                                I
I  2      -45.00  1.50  21  6.3  20.0  100.00                                I
I  3      -43.25  1.50  21  6.3  20.0  100.00                                I
I  4      -713.25  2.75  23  8.0  18.0  100.00                                I
-----
I                                ARMADURA VAO                                I
-----
I DIR I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                I
-----
I  X      248.88  1.50  32  5.0  13.0  400.00                                I
I  Y      250.63  1.50  32  5.0  13.0  400.00                                I
=====

```

Figura 4.9 - Relatório de dimensionamento da laje L2 do pavimento 2

```

=====
LAJE 2                                PAVIMENTO 1
H = 10.0cm                            RETANGULAR      FLECHA = .36cm
L1 = 400.00  L2 = 400.00
-----
I                                ARMADURA BORDOS                                I
-----
I BORDO I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                I
-----
I  1      -49.00  1.50  21  6.3  20.0  100.00                                I
I  2      -44.75  1.50  21  6.3  20.0  100.00                                I
I  3      -566.50  2.15  28  6.3  15.0  100.00                                I
I  4      -68.63  1.50  21  6.3  20.0  100.00                                I
-----
I                                ARMADURA VAO                                I
-----
I DIR I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                I
-----
I  X      316.00  1.50  32  5.0  13.0  400.00                                I
I  Y      351.38  1.50  32  5.0  13.0  400.00                                I
=====

```

Figura 4.10 - Relatório de dimensionamento da laje L2 do pavimento 3

4.3 EXEMPLO 3

4.3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste exemplo é analisado um edifício de 24 andares, com planta retangular e altura total de 72,80 m, possuindo três pavimentos-tipo diferenciados e estrutura composta por 496 elementos de pilares, sendo 28 no nível térreo, cujos comprimentos são definidos pelas alturas dos pisos. A figura 4.11 apresenta a estrutura deste edifício.

Os andares 1 a 4 correspondem ao primeiro pavimento-tipo, tendo uma altura de 3,20 m. Os andares 5 a 12 correspondem ao segundo pavimento-tipo, com altura de 3,00 m e os demais (13 a 24) ao terceiro pavimento-tipo, também com altura de 3,00 m.

Foram definidas 10 classes de pilares, com seções que variam de 110x60 cm, para os andares inferiores, até 30x30 cm para os andares mais altos. Para as vigas, têm-se três classes, correspondentes às seções 20x60 cm, 20x40 cm e 15x30 cm. As lajes também possuem três classes, correspondentes às espessuras de 8 , 10 e 12 cm.

A estrutura está submetida a cargas verticais permanentes e acidentais, além de carregamentos horizontais devidos à ação do vento nas direções X_G e Y_G .

As cargas verticais permanentes correspondem às cargas de peso próprio das lajes, vigas e pilares que são geradas automaticamente pelo programa, mais as cargas de parede sobre as vigas e as cargas consideradas permanentes sobre as lajes. As cargas de parede sobre as vigas são de 8,3 KN/m para as vigas dos pavimentos 1 a 4, e 7,8 KN/m para os demais pavimentos e, sobre as lajes, considerou-se uma taxa de carga de 1,0 KN/m².

As cargas acidentais são aplicadas sob a forma de cargas distribuídas sobre as lajes, sendo utilizada uma taxa de carga de 1,5 KN/m².

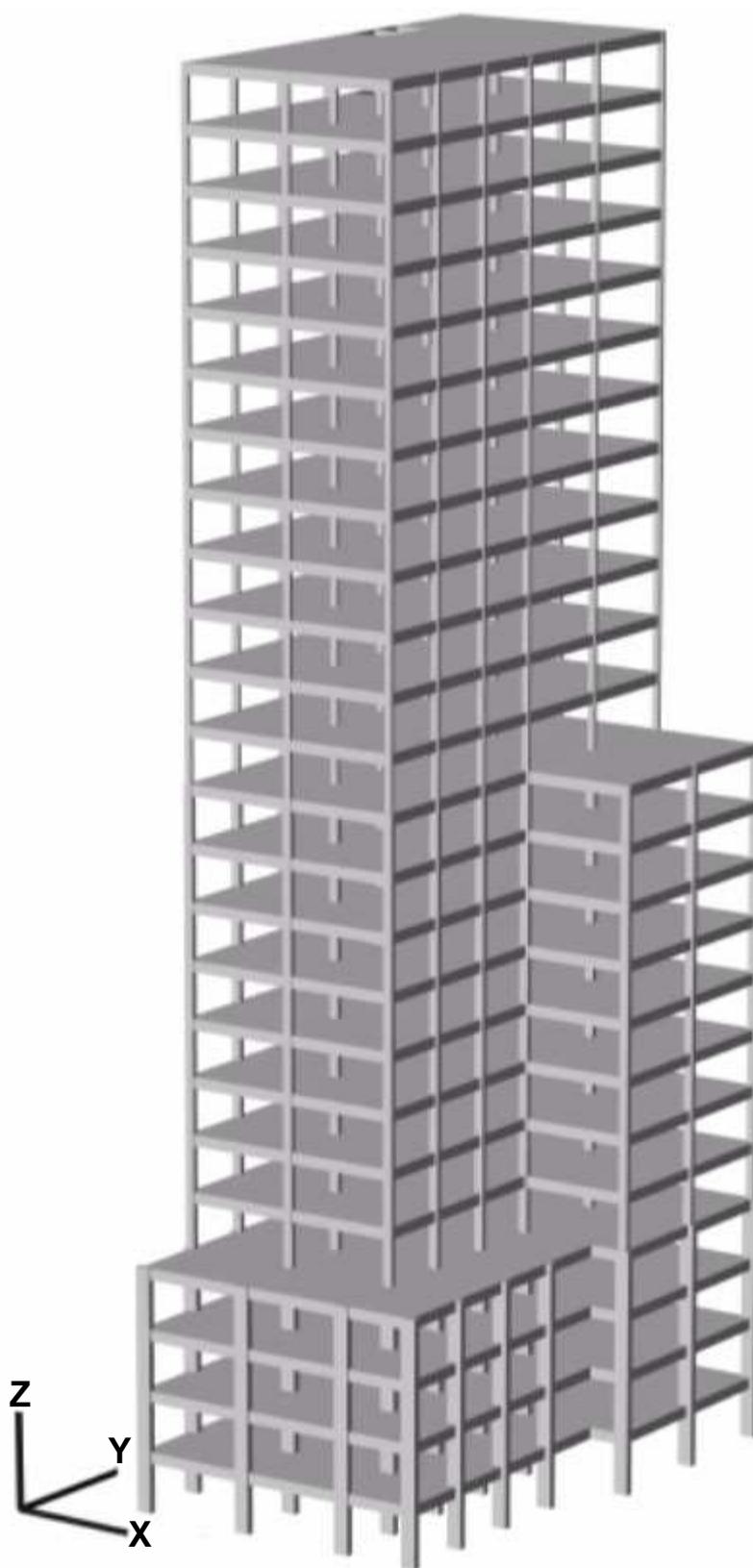


Figura 4.11 – Estrutura do edifício

As cargas horizontais devidas ao vento foram geradas automaticamente e aplicadas em cada pavimento, considerando-se uma velocidade básica de 45m/s. O fator $S2$, que é função da altura de cada pavimento em relação ao solo, varia de 0,72 até 0,98, resultando em pressões dinâmicas que variam de 0,911 até 1,240, conforme o gráfico 4.3. Os valores destas cargas, bem como os outros dados correspondentes a este exemplo estão listados no anexo B.

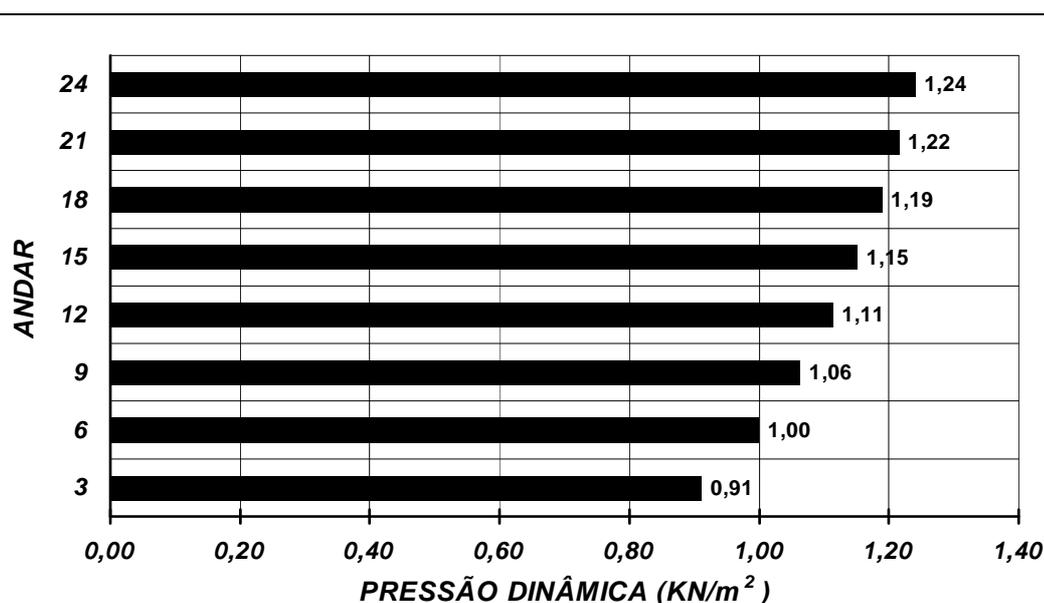


Gráfico 4.3 – Distribuição da pressão dinâmica do vento sobre o edifício

A figura 4.12, indicando as cotas em m, apresenta a planta baixa do primeiro pavimento-tipo. Este pavimento é composto por 12 vigas na direção X e 9 vigas na direção Y, sendo, portanto, necessária a definição de 12 eixos na direção X e 9 em Y. O pavimento também possui 41 lajes e 63 nós, sendo que em 28 destes ocorre a passagem de pilares, servindo de nós de contorno para o pavimento.

O segundo pavimento-tipo está apresentado na figura 4.13, sendo formado por 11 vigas e eixos na direção X e 7 vigas e eixos na direção Y. Além disso, são definidas 25 lajes e 44 nós, dos quais 21 são os nós de contorno do pavimento.

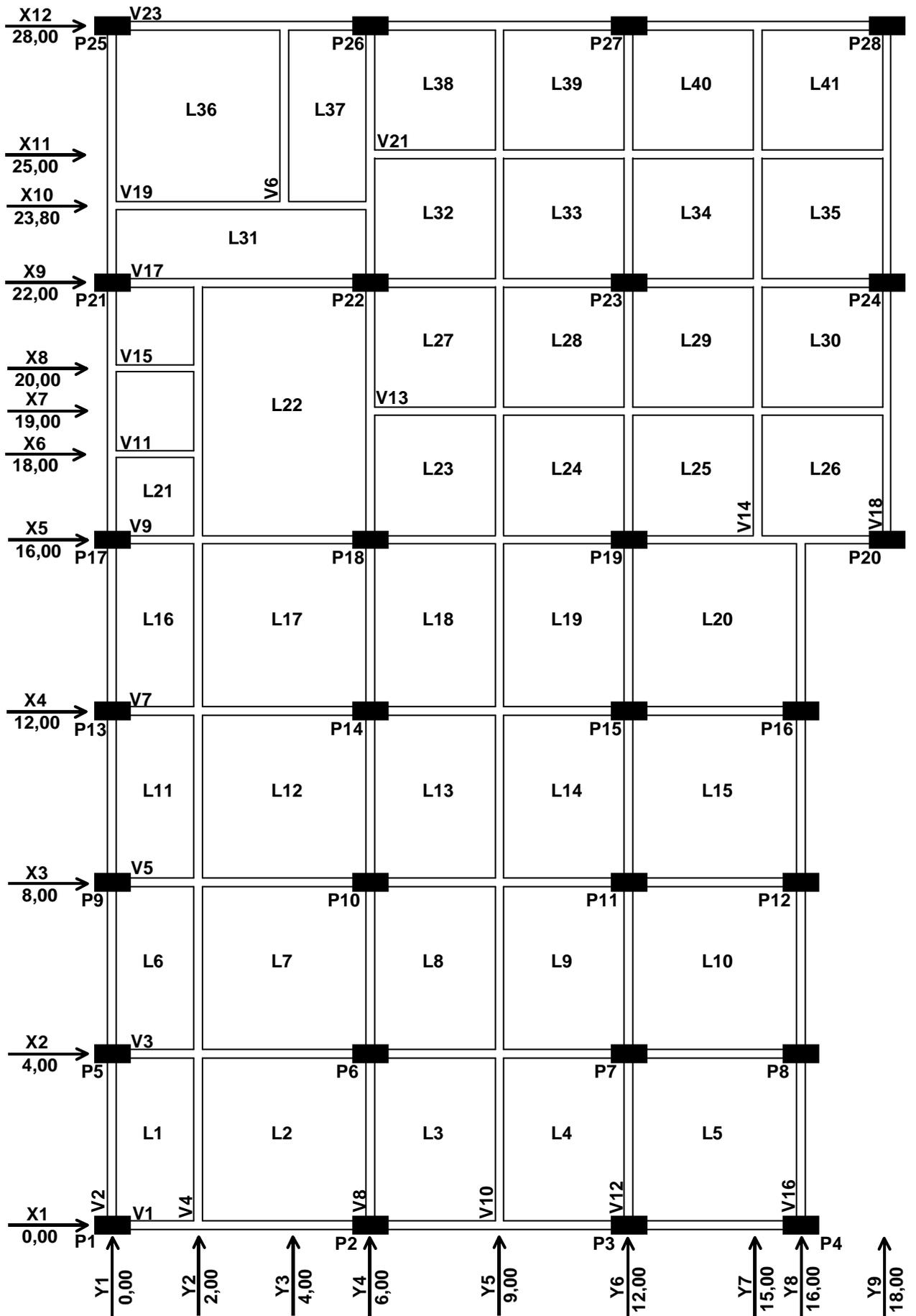


Figura 4.12 – Pavimento-tipo 1

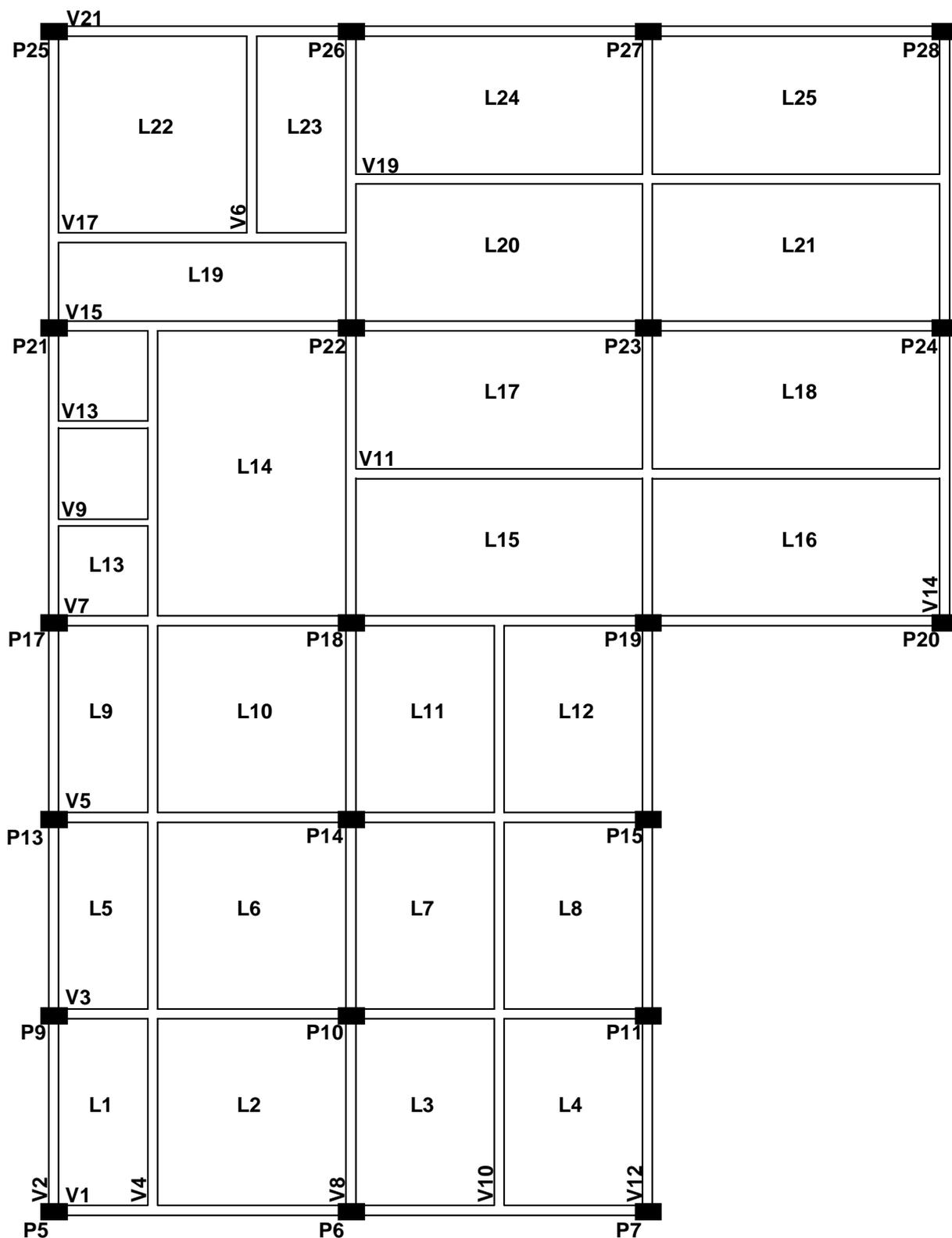


Figura 4.13 – Pavimento-tipo 2

A figura 4.14 apresenta o terceiro pavimento-tipo, composto por 11 vigas e eixos na direção X e 6 vigas e eixos na direção Y. O pavimento possui ainda 25 lajes, além de 43 nós, 18 dos quais ocorrem a passagem de pilares.

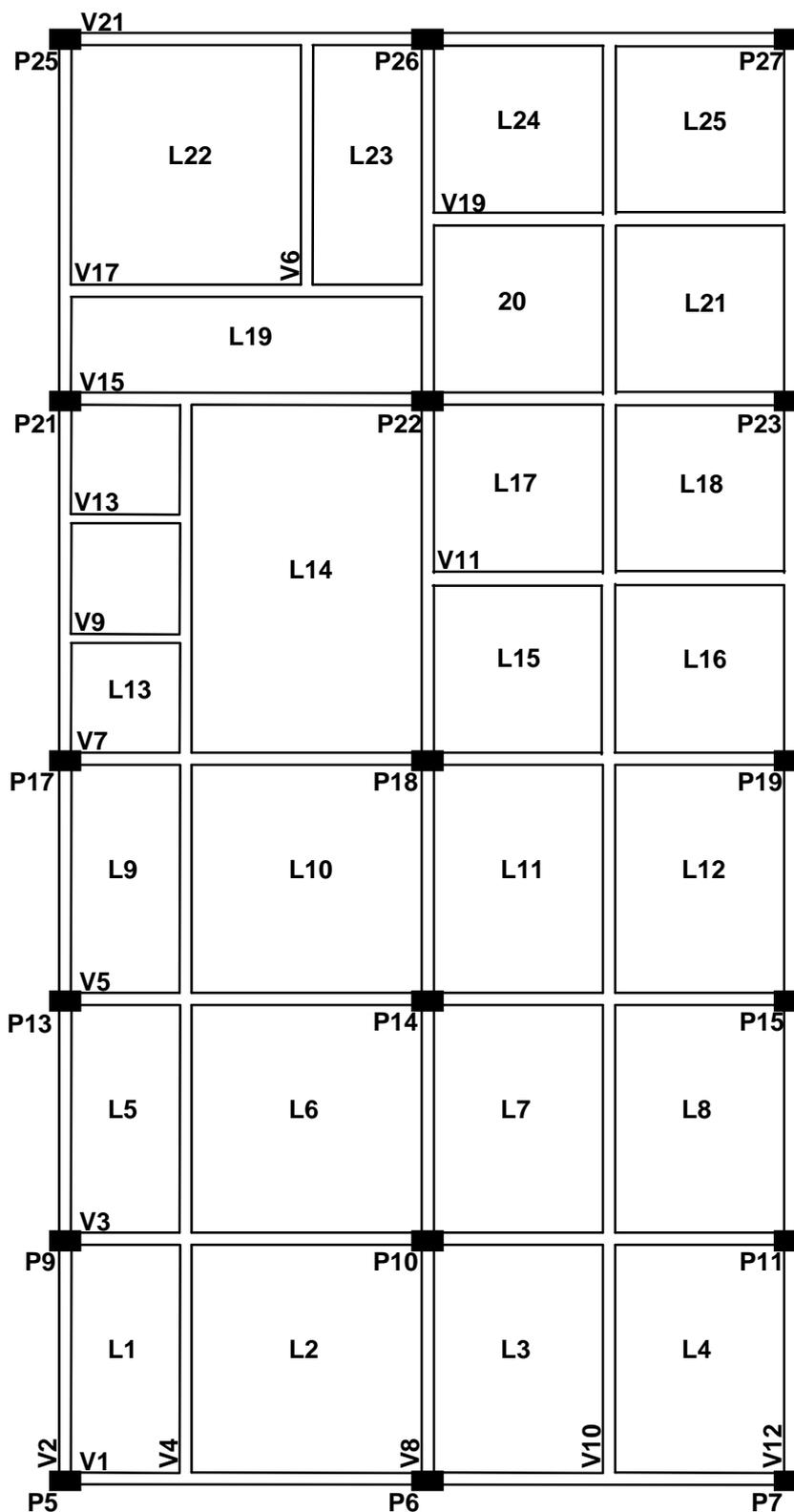


Figura 4.14 – Pavimento-tipo 3

Ainda com relação às cargas, a tabela 4.3 apresenta um resumo das cargas totais aplicadas à estrutura por cada um dos carregamentos.

Tabela 4.3 – Cargas totais aplicadas à estrutura

CARREGAMENTO	CARGA TOTAL (KN)
<i>VERTICAL PERMANENTE</i>	93509,50
<i>VERTICAL VARIÁVEL</i>	12057,65
<i>VENTO NA DIR. X</i>	2352,38
<i>VENTO NA DIR. Y</i>	1245,34

O módulo de elasticidade longitudinal (E) utilizado no problema foi de 25548,91 Mpa e o módulo de elasticidade transversal (G) foi de 10219,56 Mpa, correspondentes a uma resistência característica do concreto (f_{ck}) de 15 Mpa.

4.3.2 DESEMPENHO COMPUTACIONAL

A estrutura foi analisada utilizando-se as versões atual e original do ANASUPER/PAV. Assim, a tabela 4.4 apresenta alguns dados relativos ao processamento deste exemplo, tendo em vista uma comparação do esforço computacional exigido por elas.

Tabela 4.4 – Dados relativos ao processamento do exemplo 3

QUANTIDADE DE	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL
<i>SUPERELEMENTOS-TIPO</i>	3	97
<i>SUPERELEMENTOS CONSTRUTIVOS</i>	24	712
<i>EQUAÇÕES DO 1º PAV. TIPO</i>	105	1113
<i>EQUAÇÕES A SEREM RESOLVIDAS PARA A ESTRUTURA</i>	3150	3150
<i>TEMPO DE PROCESSAMENTO</i>	5 minutos	1,5 horas

O maior esforço computacional exigido pela nova versão do programa deve-se, principalmente, ao acréscimo do número de superelementos-tipo, fazendo com que o número de sistemas de equações lineares a serem resolvidos, passassem de 4 para 98. Além disso, os sistemas a serem resolvidos para os pavimentos-tipo aumentaram seus números de equações, devido à discretização destes pavimentos em pequenas barras.

Outro problema verificado é a quantidade de memória necessária ao armazenamento dos dados inerentes ao problema, que teve um aumento de aproximadamente 36 vezes. Esta grande ocupação de memória pode inviabilizar a solução de estruturas de edifícios com um maior número de andares, ou que possuam pavimentos mais complexos, mesmo para as potencialidades dos microcomputadores atuais.

Com relação ao uso do método da subestruturação, a estrutura possui a nível global um total de 14112 nós que, em uma análise sem o uso de subestruturação, leva a um sistema de 84672 equações. Este valor é 27 vezes superior ao número de equações do maior sistema resolvido pelo método da subestruturação, confirmando, assim, a vantajosa aplicação deste método na análise de estruturas com muitos graus de liberdade.

4.3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3.3.1 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E REAÇÕES DA ESTRUTURA

Na tabela 4.5 são comparados os resultados obtidos para os deslocamentos horizontais na direção X, nas duas versões do sistema, pela aplicação do carregamento de vento nesta direção e, o gráfico 4.4, apresenta a variação destes resultados ao longo dos pisos.

Os deslocamentos obtidos para os últimos andares, pela versão atual, foram em torno de 3,00% menores que os observados na versão original. Esta proximidade dos resultados indica uma pequena contribuição das lajes na resistência aos esforços horizontais, ou seja, para este exemplo, as lajes acrescentam uma pequena parcela de rigidez à estrutura na direção horizontal.

Tabela 4.5 – Deslocamentos horizontais em X

ANDAR	DESLOCAMENTOS (cm)		DIFERENÇA (%)
	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	
1	0,176	0,174	1,264
2	0,596	0,586	1,706
3	1,150	1,130	1,770
4	1,776	1,740	2,069
5	2,374	2,320	2,328
6	2,973	2,900	2,517
7	3,565	3,470	2,738
8	4,146	4,030	2,878
9	4,713	4,570	3,129
10	5,268	5,100	3,294
11	5,808	5,620	3,345
12	6,342	6,130	3,458
13	6,903	6,670	3,493
14	7,487	7,240	3,412
15	8,069	7,810	3,316
16	8,622	8,340	3,381
17	9,155	8,860	3,330
18	9,636	9,330	3,280
19	10,080	9,770	3,173
20	10,460	10,100	3,564
21	10,800	10,500	2,857
22	11,100	10,800	2,778
23	11,340	11,000	3,091
24	11,490	11,200	2,589

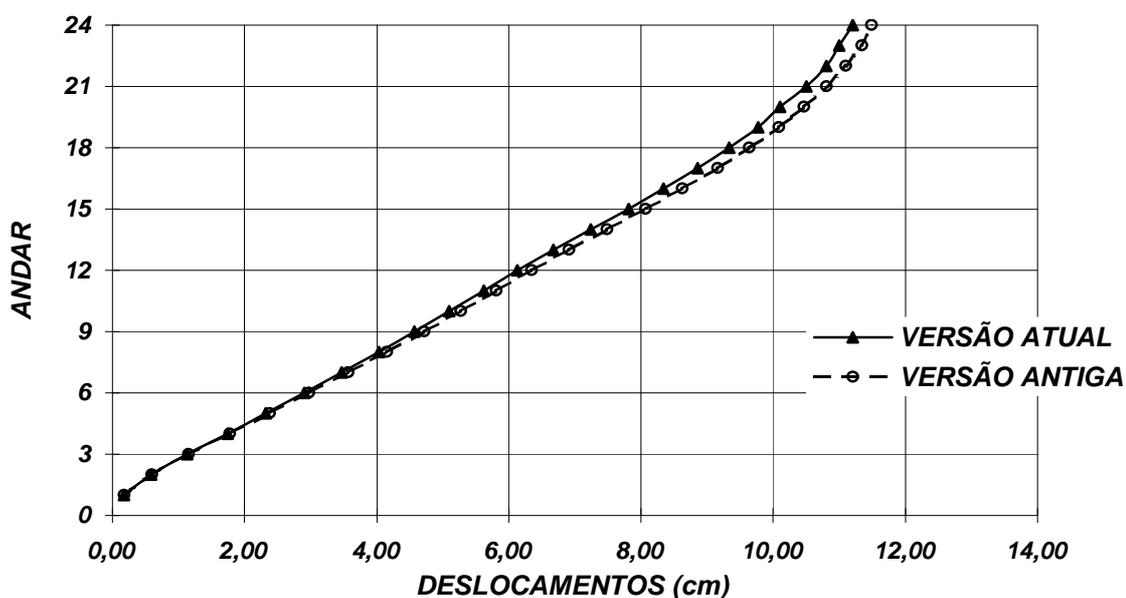


Gráfico 4.4 – Deslocamentos dos pisos na direção X

A distribuição das reações na base da estrutura para o carregamento de vento na direção X é apresentada, para as duas versões do sistema, na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Reações na base para o carregamento de vento em X

PILAR	FX(KN)		FZ(KN)		MY(KNm)	
	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL
1	-47,93	-47,44	-174,40	-172,40	-337,70	-325,30
2	-55,11	-54,55	-14,38	-15,93	-345,40	-332,90
3	-58,46	-57,85	-73,29	-69,12	-348,90	-336,40
4	-51,24	-50,79	268,20	263,30	-341,20	-328,80
5	-59,01	-58,67	-804,90	-795,50	-392,20	-380,30
6	-67,39	-67,56	-2,88	-2,40	-401,10	-389,80
7	-72,05	-72,33	553,80	530,30	-406,10	-394,90
8	-60,91	-61,12	270,60	279,10	-394,20	-383,00
9	-67,53	-67,29	-840,50	-844,90	-443,90	-432,60
10	-76,89	-77,25	-11,26	-6,79	-453,90	-443,30
11	-82,20	-82,73	542,30	534,20	-459,50	-449,10
12	-70,19	-70,58	299,80	310,60	-446,70	-436,10
13	-75,95	-75,80	-855,70	-864,00	-495,50	-484,80
14	-86,55	-87,12	-21,56	-20,39	-506,80	-496,90
15	-92,29	-93,04	484,80	480,10	-512,90	-503,20
16	-79,48	-80,09	282,10	295,50	-499,30	-489,40
17	-84,42	-84,39	-850,10	-860,60	-547,20	-537,10
18	-96,21	-97,03	-27,93	-19,30	-559,80	-550,50
19	-96,54	-96,87	359,80	366,90	-560,10	-550,40
20	-84,53	-84,20	628,70	626,90	-547,30	-536,90
21	-97,07	-96,92	-903,40	-904,10	-624,60	-615,10
22	-110,60	-111,00	-43,65	-77,58	-639,10	-630,10
23	-110,80	-111,10	331,50	334,60	-639,30	-630,20
24	-97,35	-97,36	621,40	654,70	-624,90	-615,50
25	-109,80	-109,70	-905,20	-891,20	-702,10	-693,30
26	-125,00	-124,80	-43,36	-47,73	-718,40	-709,40
27	-125,30	-125,00	318,50	311,50	-718,70	-709,60
28	-110,00	-109,80	611,10	604,30	-702,40	-693,40

Verifica-se diferenças máximas da ordem de 1 % para as reações na direção X (F_x) e 4 % para os momentos fletores em torno do eixo Y. A respeito das reações na direção Z, observa-se uma diferença média de 2,6 %, sendo que os valores mais altos ocorrem nas reações de menor valor absoluto.

4.3.3.2 DESLOCAMENTOS VERTICAIS E ESFORÇOS NOS PAVIMENTOS

A figura 4.15 apresenta a numeração dos nós do primeiro pavimento-tipo para fins de apresentação dos deslocamentos nodais. Os nós de cor preta identificam que estes são nós de contorno do pavimento, ou seja, nós por onde ocorre a passagem de pilares. Já os nós com cor azul representam os nós internos do pavimento.

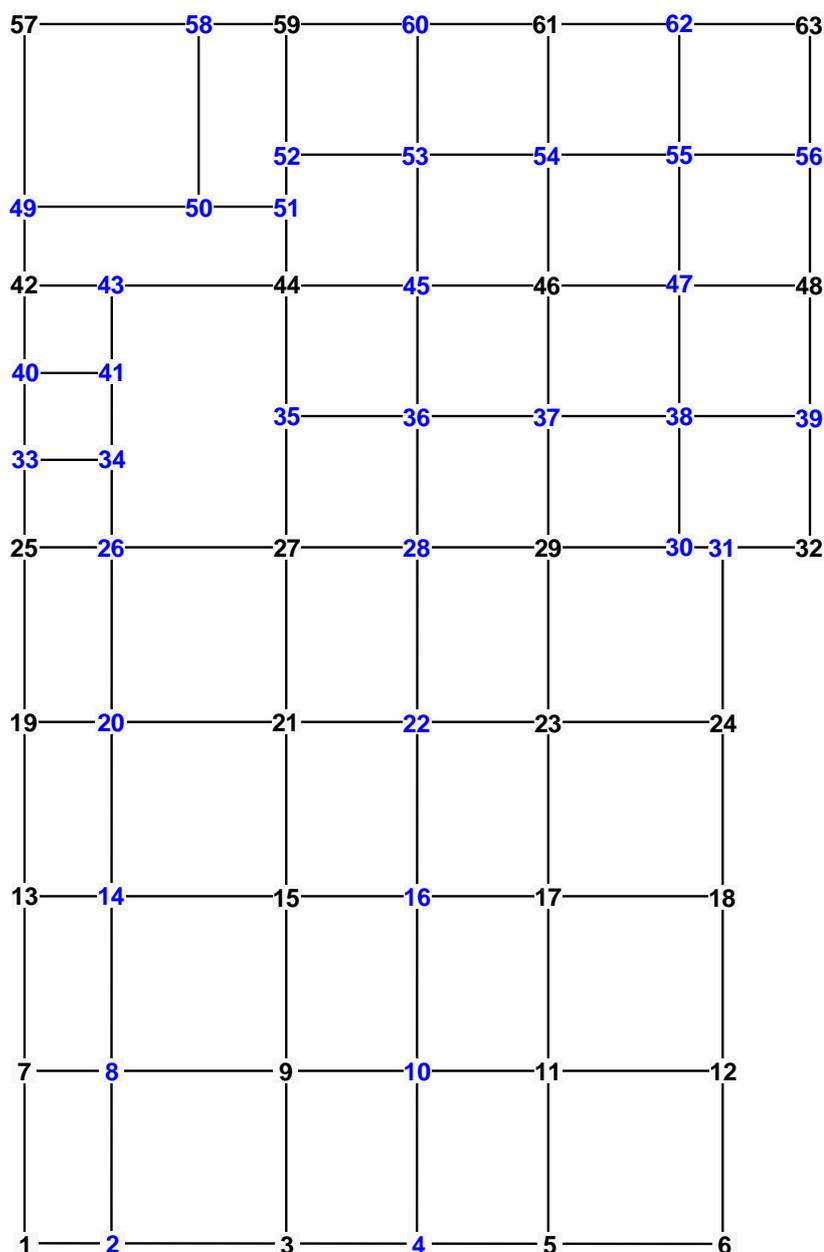


Figura 4.15 – Numeração dos nós do pavimento-tipo 1

A tabela 4.7 contém os deslocamentos verticais dos nós internos do 2º piso, para a combinação dos carregamentos verticais variável e permanente. Estes valores são mostrados para as versões atual e antiga do ANASUPER/PAV.

Tabela 4.7 – Deslocamentos Verticais nos nós internos do 2º piso

Nó	DESLOCAMENTOS VERTICAIS (cm)		DIFERENÇA (%)
	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	
2	-0,087	-0,083	4,32
4	-0,112	-0,106	5,36
8	-0,237	-0,233	1,55
10	-0,284	-0,273	3,79
14	-0,268	-0,263	1,69
16	-0,320	-0,309	3,17
20	-0,274	-0,271	1,32
22	-0,331	-0,322	2,46
26	-0,322	-0,316	1,65
28	-0,382	-0,369	3,35
30	-0,271	-0,267	1,27
31	-0,214	-0,211	1,31
33	-0,224	-0,222	0,77
34	-0,420	-0,411	2,22
35	-0,371	-0,391	5,43
36	-0,484	-0,453	6,46
37	-0,367	-0,363	0,99
38	-0,433	-0,425	1,82
39	-0,172	-0,170	0,76
40	-0,217	-0,216	0,80
41	-0,424	-0,417	1,62
43	-0,289	-0,289	0,20
45	-0,440	-0,432	1,92
47	-0,359	-0,357	0,64
49	-0,251	-0,251	0,08
50	-1,138	-1,000	12,17
51	-0,361	-0,360	0,30
52	-0,366	-0,364	0,32
53	-0,495	-0,497	0,27
54	-0,351	-0,351	0,03
55	-0,408	-0,407	0,42
56	-0,170	-0,169	0,60
58	-0,254	-0,256	0,77
60	-0,283	-0,281	0,74
62	-0,219	-0,216	1,27

De forma semelhante aos resultados encontrados para os deslocamentos horizontais, os valores de deslocamentos verticais do 2º piso apresentam resultados semelhantes para as duas versões, possuindo uma diferença média de 2,05 %, tendo um único nó com diferença superior a 10 %.

Os gráficos 4.5 a 4.7 apresentam, respectivamente, os diagramas de momentos fletores das vigas V3, V13 e V18 do 1º piso do edifício, submetido ao carregamento vertical permanente, para as duas versões do ANASUPER/PAV.

Já as tabelas 4.8 a 4.10 identificam numericamente, para as vigas referidas acima, os valores dos momentos nos pontos de interseção com outras vigas ou pilares.

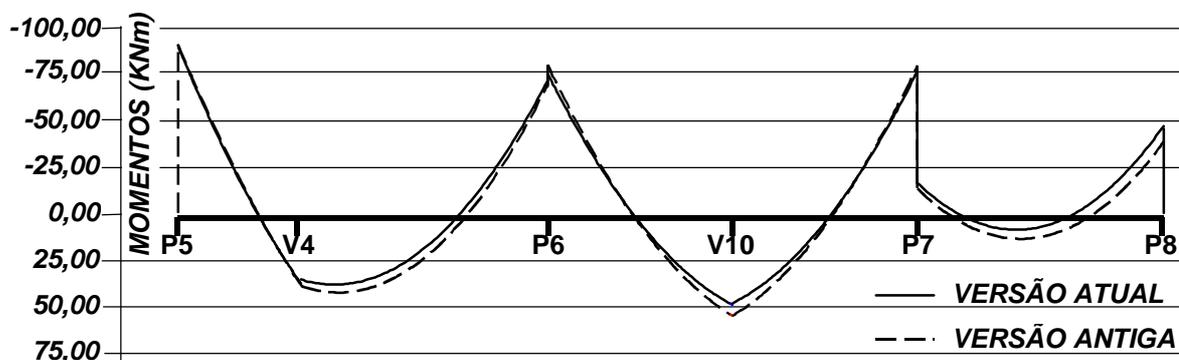


Gráfico 4.5 – Diagrama de momentos fletores da viga V3

Tabela 4.8 – Valores de momentos fletores da viga V3

	P1	V4	P2	V10	P3	P4
VERSÃO ANTIGA (KNm)	-90,41	38,90	-79,24	54,73	-78,99	-38,36
VERSÃO ATUAL (KNm)	-90,00	35,50	-74,97	48,22	-74,46	-41,79
DIFERENÇA (%)	0,46	9,58	5,70	13,50	6,08	8,21

Para os pontos no diagrama de momentos fletores onde ocorrem descontinuidades, são tabelados os momentos de maior valor absoluto.

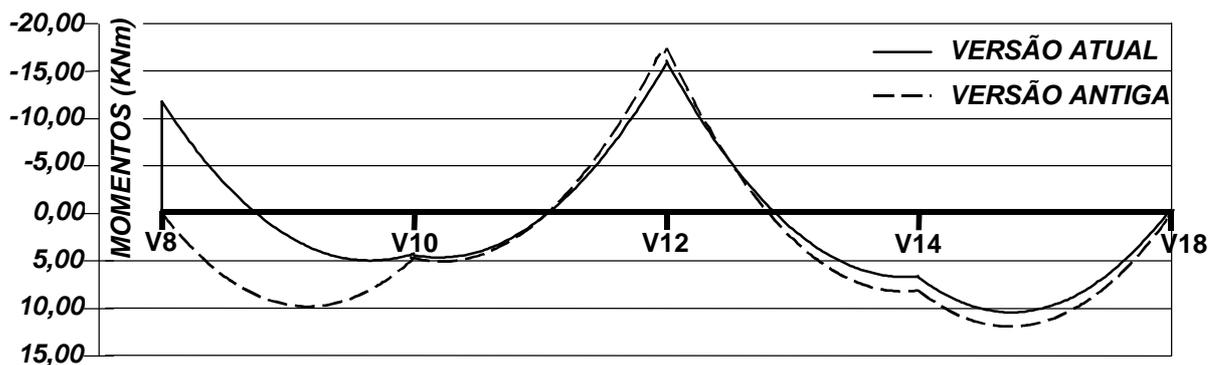


Gráfico 4.6 - Diagrama de momentos fletores da viga V13

Tabela 4.9 – Valores de momentos fletores da viga V13

	V8	V10	V12	V14	V18
VERSÃO ANTIGA (KNm)	0,00	4,64	-17,42	8,11	0,00
VERSÃO ATUAL (KNm)	-11,76	4,40	-16,06	6,75	0,00
DIFERENÇA (%)	100,00	5,45	8,47	20,15	0,00

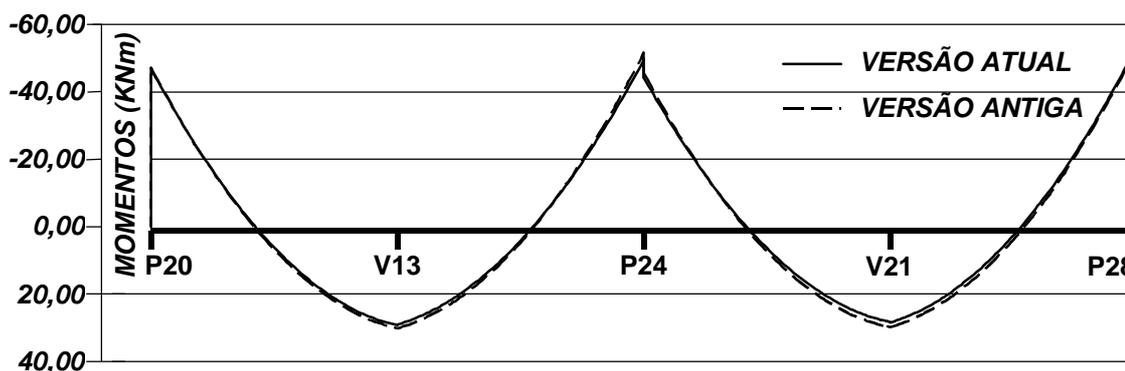


Gráfico 4.7 - Diagrama de momentos fletores da viga V18

Tabela 4.10 – Valores de momentos fletores da viga V18

	V8	V10	V12	V14	V18
VERSÃO ANTIGA (KNm)	-47,22	30,20	-51,69	29,90	-52,87
VERSÃO ATUAL (KNm)	-47,09	29,08	-50,04	28,90	-52,71
DIFERENÇA (%)	0,28	3,85	3,30	3,46	0,30

Os diagramas de esforços cortantes das vigas V13 e V18, para o carregamento 1, são apresentados nos gráficos 4.8 e 4.9, respectivamente, sendo tabelados os valores máximos absolutos em cada tramo nas tabelas 4.11 e 4.12.

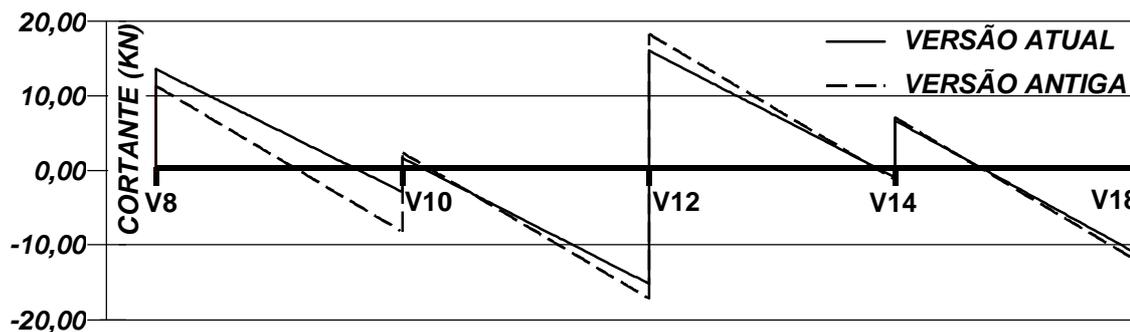


Gráfico 4.8 – Diagrama de esforços cortantes para a viga V13

Tabela 4.11 – Valores máximos de esforço cortante para a viga V13

	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3		TRAMO 4	
	V8	V10	V10	V12	V12	V14	V14	V18
VERSÃO ANTIGA (KN)	11,30	-8,20	2,40	-17,10	18,26	-1,24	7,05	-12,45
VERSÃO ATUAL (KN)	13,53	-2,87	1,66	-15,15	16,05	-0,93	6,67	-11,47
DIFERENÇA (%)	16,48	185,71	44,58	12,87	13,77	33,33	5,70	8,54

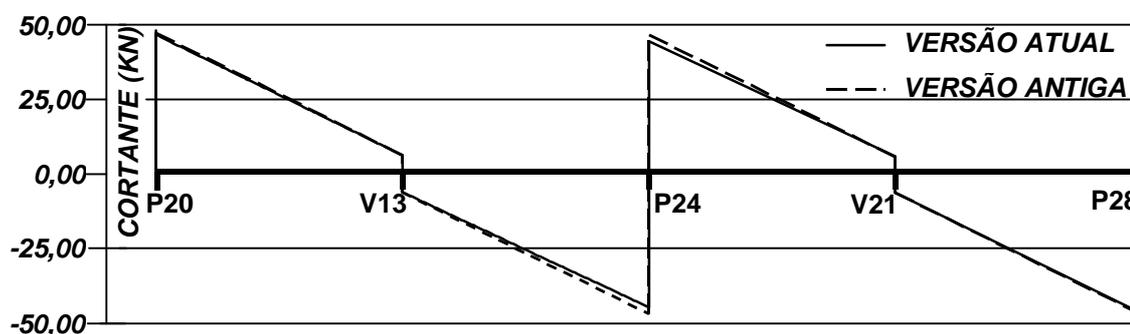


Gráfico 4.9 – Diagrama de esforços cortantes para a viga V18

Tabela 4.12 – Valores máximos de esforço cortante para a viga V18

	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3		TRAMO 4	
	P20	V13	V13	P24	P24	V21	V21	P28
VERSÃO ANTIGA (KN)	46,13	5,48	-6,97	-47,62	45,51	4,86	-7,26	47,91
VERSÃO ATUAL (KN)	45,60	5,33	-7,00	-45,38	43,36	5,05	-7,10	47,49
DIFERENÇA (%)	1,16	2,81	0,43	4,94	4,96	3,76	2,25	0,88

De modo geral, os diagramas de momentos fletores das vigas V3 e V18 apresentaram configurações semelhantes, com uma diferença máxima de 13,5 % para a viga V3 e 3,85 % para a viga V18, tendo a versão atual valores inferiores aos da versão

antiga. Porém, notam-se configurações bastante diferenciadas para a viga V13, apresentando a versão atual momento não nulo no cruzamento desta com a viga V8, devido a transferência de esforços entre a mesma e a laje L22, analogamente ao ocorrido nos pavimentos 2 e 3 do exemplo 2.

Com relação aos diagramas de esforço cortante, verificam-se diferenças acentuadas entre as duas versões para a viga V13, com valores de até 185,71 %, também devidas à transferência de momentos entre esta e a laje L22. Já a viga V18, da mesma forma que os valores de momentos fletores desta, apresentou diferenças bastante pequenas entre os esforços cortantes, sendo a máxima de 4,96 %.

A menos dos resultados apresentados pela viga V13 e, também, levando-se em consideração os resultados de deslocamentos verticais e horizontais da estrutura, percebe-se diferenças relativamente pequenas entre os resultados obtidos pelas duas versões. Com isto, compararam-se os termos diagonais das matrizes de rigidez do primeiro pavimento-tipo, nas duas versões, observando-se para a maioria destes diferenças inferiores a 5 %, com um valor máximo de 12 %.

4.3.3.3 ESFORÇOS NOS PILARES

A fim de se verificar o comportamento dos esforços nos elementos de pilares nas duas versões do ANSUPER/PAV, são apresentados os valores de esforço normal (F_x), esforço cortante na direção de X_G (F_z) e de momentos fletores em torno do eixo Y_G (M_y), para os pilares P5 e P22, obtidos com a combinação dos carregamentos 1, 2 e 3. Assim, a tabela 4.13 apresenta os esforços relativos ao pilar P5, cujos valores de esforço normal são também apresentados na forma gráfica pelo gráfico 4.10. Da mesma forma, o pilar P22 possui valores de esforços na tabela 4.13, sendo que os gráficos 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, a evolução do esforço cortante e momento fletores ao longo dos andares.

Tabela 4.13 – Valores de esforços para o pilar P5

ANDAR	FX(KN)		FZ(KN)		MY(KNm)	
	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL
1	-2568,00	-2555,80	-38,28	-37,47	233,94	221,06
2	-2381,90	-2372,50	-5,02	-3,67	158,43	148,65
3	-2209,40	-2200,70	-23,88	-21,63	46,71	41,75
4	-2044,80	-2037,60	78,63	78,29	273,03	263,49
5	-1889,30	-1882,70	-43,22	-40,11	139,54	135,00
6	-1811,80	-1806,00	-57,45	-54,72	29,01	27,38
7	-1739,40	-1734,00	-41,36	-38,40	-16,36	-15,29
8	-1664,50	-1659,40	-37,12	-34,32	-45,01	-42,30
9	-1587,10	-1581,20	-27,74	-24,87	-47,86	-43,71
10	-1504,60	-1500,00	-27,93	-25,38	-56,79	-52,39
11	-1422,60	-1417,30	-19,68	-17,08	-49,22	-44,40
12	-1337,30	-1331,20	-16,84	-14,49	-41,85	-37,27
13	-1250,10	-1244,50	-14,82	-12,30	-35,97	-31,09
14	-1149,30	-1143,00	-12,86	-10,48	-30,88	-26,01
15	-1050,90	-1045,30	-13,93	-11,86	-37,02	-32,80
16	-952,30	-947,30	-0,56	1,72	-14,24	-9,72
17	-850,58	-845,04	-7,08	-5,35	-21,25	-17,72
18	-752,63	-747,34	7,67	9,57	1,55	5,20
19	-649,05	-644,05	3,09	4,48	-1,98	0,76
20	-542,42	-537,87	13,64	15,02	12,31	14,86
21	-431,61	-427,66	16,86	18,08	22,20	24,46
22	-323,46	-320,09	20,30	21,19	31,52	33,18
23	-215,04	-212,60	15,42	15,93	21,69	22,62
24	-103,72	-102,39	33,79	34,24	54,62	55,37

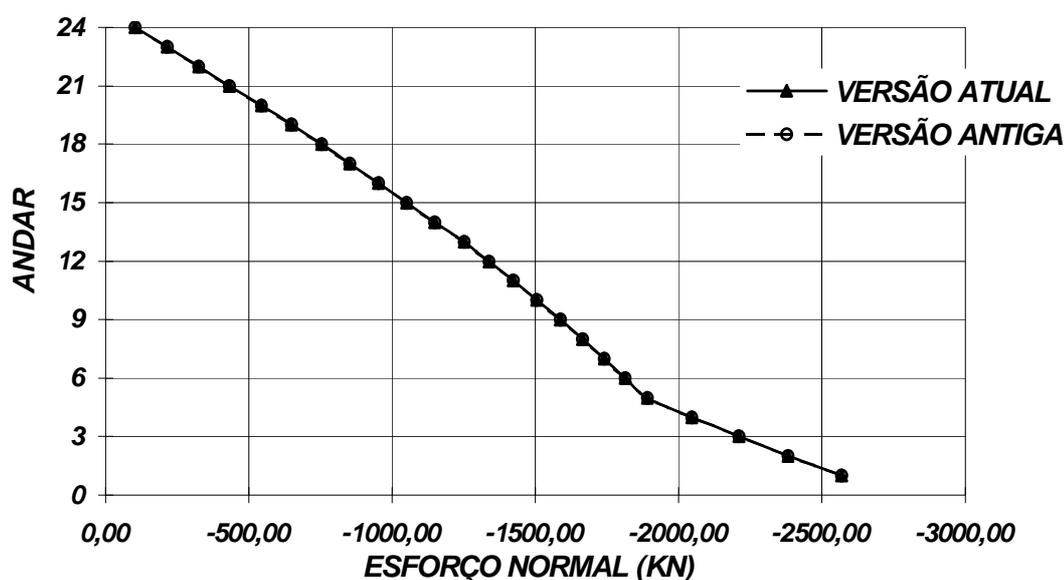


Gráfico 4.10 – Esforço normal no pilar P5

Tabela 4.14 – Valores de esforços para o pilar P22

ANDAR	FX(KN)		FZ(KN)		MY(KNm)	
	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL	VERSÃO ANTIGA	VERSÃO ATUAL
1	-7625,35	-7639,42	-100,57	-101,98	295,08	280,43
2	-7248,62	-7260,81	-92,95	-95,37	101,51	88,04
3	-6878,94	-6888,08	-92,41	-94,37	-12,20	-23,09
4	-6514,70	-6522,43	-80,90	-83,53	-50,26	-61,94
5	-6155,79	-6162,21	-100,40	-99,33	-110,78	-113,48
6	-5803,28	-5807,61	-108,24	-102,95	-144,38	-141,59
7	-5463,76	-5465,01	-100,59	-95,92	-155,85	-151,19
8	-5129,26	-5128,56	-94,85	-89,72	-158,83	-152,46
9	-4798,94	-4795,98	-88,79	-83,02	-156,19	-147,70
10	-4473,25	-4468,05	-79,32	-73,72	-139,23	-130,42
11	-4154,40	-4148,53	-78,65	-73,03	-135,91	-127,64
12	-3840,44	-3832,73	-46,07	-37,56	-48,49	-33,12
13	-3530,96	-3520,41	-85,70	-85,79	-73,25	-74,34
14	-3218,15	-3210,32	-81,08	-85,55	-110,49	-115,82
15	-2912,51	-2905,39	-72,69	-75,95	-117,00	-121,36
16	-2614,65	-2609,15	-66,06	-70,07	-113,93	-119,44
17	-2316,95	-2313,95	-56,17	-59,10	-97,86	-101,78
18	-2029,21	-2027,57	-47,51	-50,92	-83,93	-88,55
19	-1743,97	-1743,54	-37,67	-40,22	-66,30	-69,81
20	-1463,10	-1464,81	-27,55	-30,26	-49,76	-53,43
21	-1182,08	-1184,80	-18,40	-20,77	-33,59	-36,97
22	-898,43	-901,67	-9,09	-11,20	-16,59	-19,81
23	-608,71	-611,62	-2,70	-4,11	-5,88	-7,90
24	-320,53	-322,89	11,53	9,30	17,95	14,33

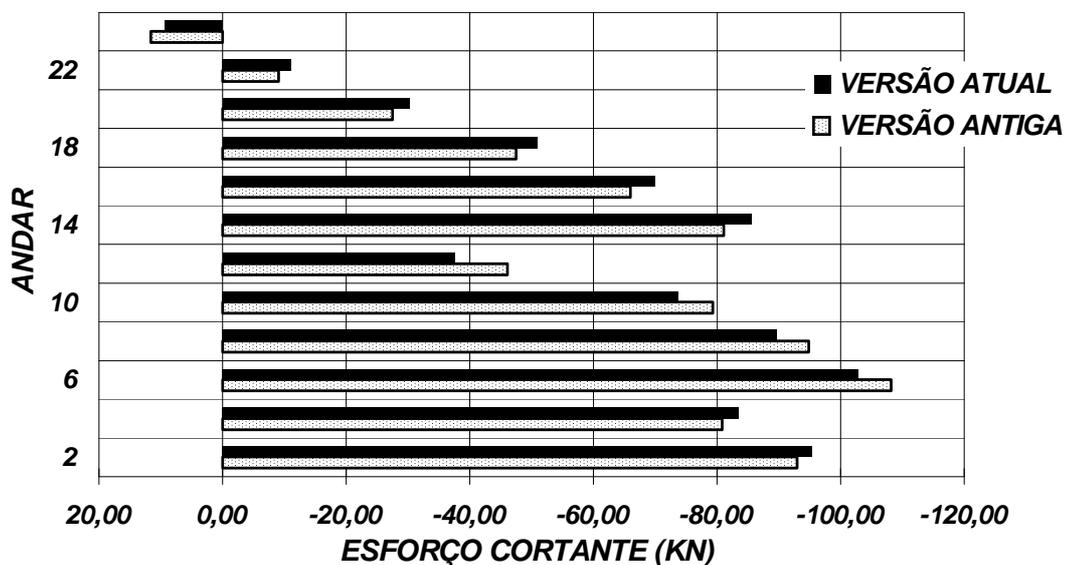


Gráfico 4.11 – Esforço cortante no pilar P22

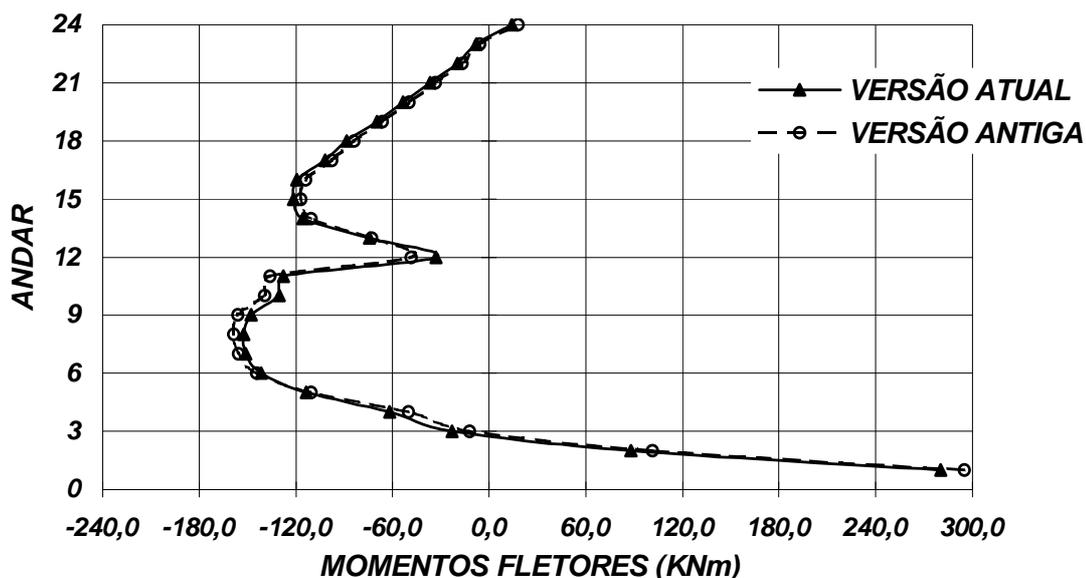


Gráfico 4.12 – Momento fletor no pilar P22

Os esforços resultantes nos elementos de pilares, a exemplo dos resultados obtidos até então, apresentaram uma significativa semelhança entre as duas versões do sistema. Os esforços normais apresentaram uma diferença máxima de 1,30 % para o pilar P5 e 0,73 % para o pilar P22. Já para os esforços cortantes obteve-se diferenças médias da ordem de 3,5 % para o pilar P5 e 2 % para o pilar P22, sendo as diferenças máximas verificadas para valores pequenos de esforços. Finalmente, os momentos fletores tiveram diferenças da ordem de 4,5 % para o pilar P5 e 1,5 % para o pilar P22, onde as diferenças máximas ocorreram em valores de momentos desprezíveis para fins de dimensionamento.

4.3.3.4 ESFORÇOS NAS LAJES

Como foi dito na seção 3.2, o dimensionamento das lajes é feito a partir da combinação dos esforços resultantes da aplicação de quatro carregamentos à estrutura. Assim, são apresentados os esforços máximos nestes elementos, a fim de se verificar a influência de cada carregamento no esforço final de dimensionamento, especialmente o carregamento de vento.

Tabela 4.15 – Momentos máximos na dir. X para as lajes do 6º andar

LAJE	MOMENTOS FLETORES(KNm/m)		
	CARREGAMENTO 1	CARREGAMENTO 2	CARREGAMENTO 3
1	0,86	0,46	0,60
2	2,75	0,91	-1,73
3	1,31	0,54	1,16
4	1,73	0,72	-1,13
5	0,77	0,42	0,71
6	2,49	0,81	-2,10
7	1,25	0,51	1,46
8	1,37	0,58	-1,44
9	0,75	0,41	0,71
10	2,46	0,80	-2,14
11	1,34	0,56	1,25
12	1,67	0,70	-1,18
13	0,13	0,12	0,84
14	3,74	1,31	-0,93
15	2,20	0,74	1,43
16	2,83	1,03	-0,79
17	1,61	0,53	1,45
18	0,58	0,15	4,09
19	1,69	0,57	-0,12
20	0,20	0,16	4,00
21	0,50	0,12	4,08
22	3,87	1,52	0,35
23	2,21	0,59	-0,26
24	3,06	1,08	0,78
25	2,89	1,04	-0,80

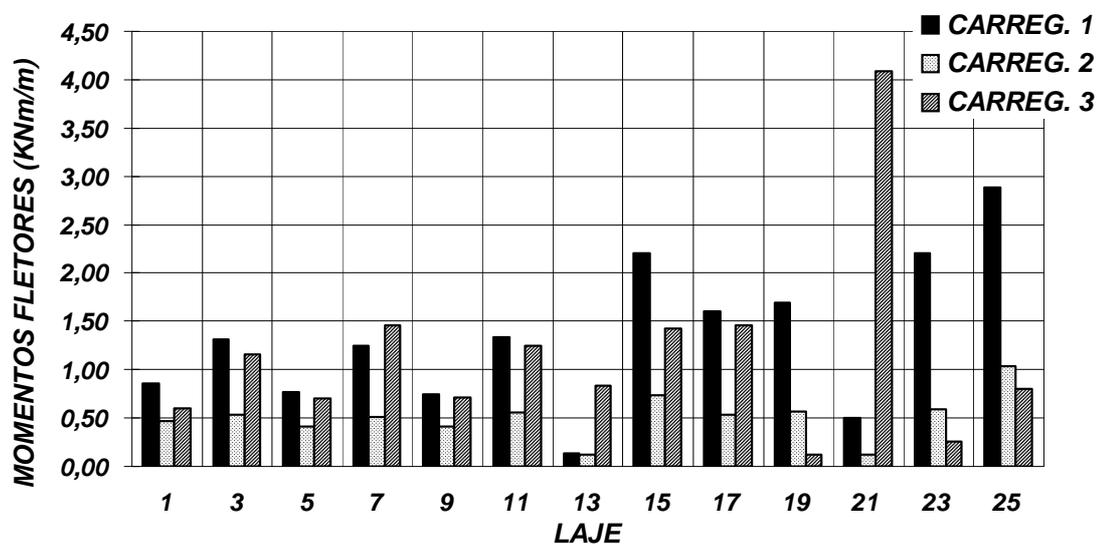


Gráfico 4.13 – Momentos na dir. X das lajes do 6º andar

Tabela 4.16 – Momentos máximos na dir. Y para as lajes do 6º andar

LAJE	MOMENTOS FLETORES(KNm/m)		
	CARREGAMENTO 1	CARREGAMENTO 2	CARREGAMENTO 4
1	0,44	0,20	0,41
2	2,25	0,83	0,05
3	1,09	0,45	0,05
4	1,75	0,70	0,03
5	0,54	0,25	-0,13
6	1,99	0,73	0,01
7	0,96	0,39	0,00
8	1,48	0,60	0,01
9	0,52	0,24	0,13
10	1,82	0,66	-0,01
11	0,60	0,26	-0,98
12	1,55	0,63	-0,02
13	0,13	0,07	-0,07
14	2,54	0,89	0,01
15	2,58	0,92	0,46
16	3,72	1,36	0,42
17	2,24	0,78	-0,30
18	2,64	0,92	-0,24
19	1,04	0,52	0,02
20	2,83	0,99	0,25
21	2,60	0,90	0,26
22	3,51	1,29	-0,14
23	1,56	0,41	-0,01
24	3,59	1,33	-0,41
25	3,54	1,31	-0,41

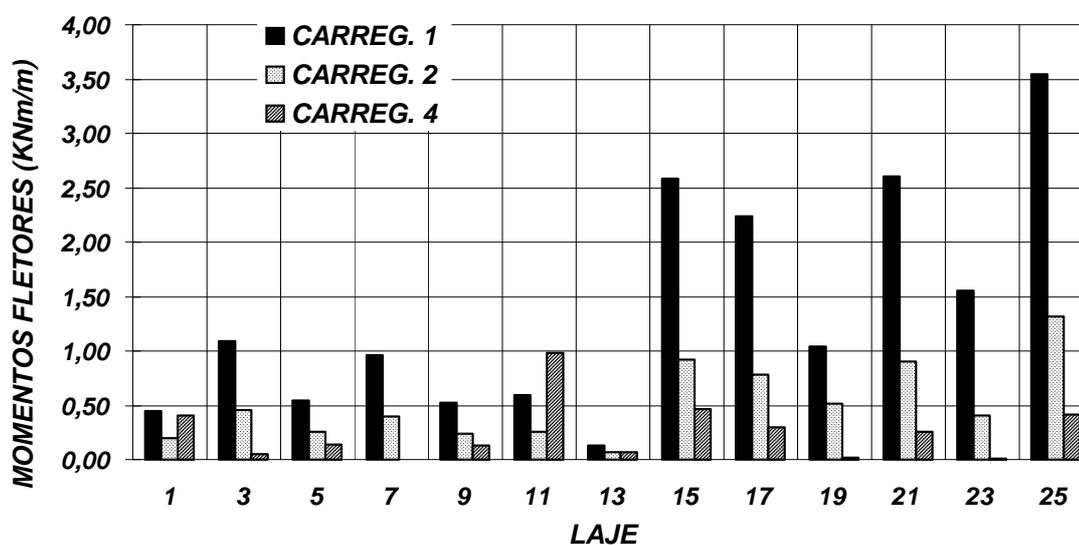


Gráfico 4.14 – Momentos na dir. Y das lajes do 6º andar

A tabela 4.15 apresenta os momentos fletores M_x máximos nas lajes do sexto andar, para os carregamentos 1, 2 e 3, enquanto o gráfico 4.13 faz a comparação destes valores para as lajes ímpares. Da mesma forma, observa-se na tabela 4.16 os valores máximos de M_y nestas lajes, para os carregamentos 1, 2 e 4, tendo as lajes ímpares valores representados no gráfico 4.14.

Verifica-se para a maioria das lajes valores significativos de momentos fletores devidos ao carregamento de vento, sendo estes algumas vezes preponderantes no cálculo dos momentos de dimensionamento. Observa-se, também, que os mais altos valores destes momentos ocorrem nas lajes dos andares correspondentes ao pavimento-tipo 2 (5° ao 12° andares) e, especialmente nos valores de M_x das lajes L18, L20 e L21.

4.3.3.5 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

As figuras 4.16 a 4.18 exemplificam o dimensionamento das lajes L14 do 8° pavimento, L10 do 10° pavimento e L12 do 20° pavimento, respectivamente.

=====														
LAJE 14							PAVIMENTO 8							
H = 12.0cm				RETANGULAR			FLECHA = .82cm							
L1 = 400.00		L2 = 600.00												

I ARMADURA BORDOS I														
I	BORDO	I	Mmax	I	AREA	I	N	I	D	I	ESP.	I	COMP.	I

I	1	I	-767.27	I	2.37	I	21	I	8.0	I	20.0	I	100.00	I
I	2	I	-788.21	I	2.44	I	31	I	8.0	I	20.0	I	100.00	I
I	3	I	-90.04	I	1.80	I	25	I	6.3	I	17.0	I	100.00	I
I	4	I	-293.77	I	1.80	I	36	I	6.3	I	17.0	I	100.00	I

I ARMADURA VAO I														
I	DIR	I	Mmax	I	AREA	I	N	I	D	I	ESP.	I	COMP.	I

I	X	I	610.91	I	1.86	I	56	I	5.0	I	11.0	I	400.00	I
I	Y	I	404.23	I	1.80	I	37	I	5.0	I	11.0	I	600.00	I
=====														

Figura 4.16 – Relatório de dimensionamento da laje L14 do 8° andar

```

=====
LAJE 10                                     PAVIMENTO 10
H = 12.0cm                                RETANGULAR      FLECHA = .79cm
L1 = 400.00  L2 = 400.00
-----
I                                     ARMADURA BORDOS                                     I
-----
I BORDO I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                     I
-----
I  1      -722.00  2.22  21  8.0  20.0  100.00                                     I
I  2      -562.00  1.80  25  6.3  17.0  100.00                                     I
I  3      -765.50  2.36  21  8.0  20.0  100.00                                     I
I  4      -257.88  1.80  25  6.3  17.0  100.00                                     I
-----
I                                     ARMADURA VAO                                     I
-----
I DIR I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                     I
-----
I  X      543.31  1.80  37  5.0  11.0  400.00                                     I
I  Y      266.69  1.80  37  5.0  11.0  400.00                                     I
=====

```

Figura 4.17 – Relatório de dimensionamento da laje L10 do 10º andar

```

=====
LAJE 12                                     PAVIMENTO 20
H = 10.0cm                                RETANGULAR      FLECHA = 1.22cm
L1 = 300.00  L2 = 400.00
-----
I                                     ARMADURA BORDOS                                     I
-----
I BORDO I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                     I
-----
I  1      -561.12  2.13  21  6.3  15.0  75.00                                     I
I  2      -99.29  1.50  21  6.3  20.0  75.00                                     I
I  3      -664.00  2.55  16  8.0  20.0  75.00                                     I
I  4      -190.19  1.50  21  6.3  20.0  75.00                                     I
-----
I                                     ARMADURA VAO                                     I
-----
I DIR I  Mmax I  AREA I  N I  D I  ESP. I  COMP. I                                     I
-----
I  X      223.41  1.50  32  5.0  13.0  300.00                                     I
I  Y      200.51  1.50  24  5.0  13.0  400.00                                     I
=====

```

Figura 4.18 – Relatório de dimensionamento da laje L12 do 20º andar

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O sistema ANASUPER/PAV constitui-se em um projeto de pesquisa interessado na análise e dimensionamento de estruturas de edifícios altos, preocupado em tornar a simulação da estrutura o mais próximo possível da realidade, principalmente através da consideração, em sua análise, de todos os elementos constituintes da estrutura, sem porém desconsiderar as limitações dos equipamentos computacionais existentes.

Assim, este trabalho incorporou de forma efetiva à análise do ANASUPER/PAV os elementos de lajes, pela aplicação do método dos elementos finitos, proporcionando uma verificação do acréscimo de rigidez incorporado à estrutura por estes elementos, bem como do processo de transmissão de esforços entre vigas e lajes.

Além disso, introduziu-se no ANASUPER/PAV lajes com geometria em "L", tendo em vista que, anteriormente, o sistema admitia somente lajes retangulares, tornando, assim, o sistema mais genérico por serem estas lajes elementos bastante comuns em estruturas de edifícios.

Com relação ao dimensionamento dos elementos estruturais, o ANASUPER/PAV, que já possuía o dimensionamento e detalhamento parcial dos elementos de viga e pilar, recebeu rotinas para o cálculo das áreas de aço e detalhamento das armaduras de flexão das lajes, dispondo ao projetista estrutural uma completa definição de todas as armaduras necessárias à execução da estrutura.

Dos resultados apresentados pelo exemplo 1, concluiu-se que a aplicação do modelo experimental de subestruturação a estruturas convencionais de edifícios de concreto armado, ou seja, estruturas constituídas por lajes, vigas e pilares, não

é eficiente por este modelo de subestruturação não simular a transferência de esforços entre vigas e lajes de forma adequada. Todavia, os valores idênticos de deslocamentos verificados nos nós de contorno da laje (nós onde ocorrem a passagem dos pilares), entre os dois sistemas computacionais, indicam que uma aplicação imediata da versão experimental do ANASUPER/PAV seria a estruturas de edifícios com pavimentos formados por lajes-cogumelo, restando, apenas, verificar-se a compatibilização de esforços na interface das malhas de elementos finitos.

Observa-se, através do exemplo 2, a participação das lajes no equilíbrio de momentos nos nós onde ocorre o encontro das extremidades de viga e pilar, e em cujo entorno existe a presença de lajes. Assim, verificou-se que uma significativa parcela do momento fletor existente na extremidade destas vigas é transmitida às lajes, ocasionando picos de momentos nas lajes nestes nós e, conseqüentemente, uma redução dos momentos resultantes nos elementos de pilares. Assim, com o uso de uma armadura adequada para suportar estes picos de momentos, o alívio dos momentos fletores nos pilares pode ser convenientemente utilizado, por exemplo, para a redução da seção transversal destes elementos, o que muitas vezes vem de encontro com as ambições do projeto arquitetônico do edifício.

O elevado tempo de processamento, gasto na análise do exemplo 3, deve-se principalmente à solução de muitos sistemas de equações lineares, sendo alguns destes compostos por uma elevada quantidade de equações, e a grande quantidade de memória necessária para armazenar os coeficientes das matrizes de rigidez indicam que a análise de estruturas maiores e, ou, mais complexas possa ser inviabilizada pelas limitações do equipamento computacional. Uma das alternativas para atenuar estes problemas, seria um estudo detalhado dos vetores que são armazenados na memória principal do computador durante o processamento de cada módulo do sistema, retirando-se, assim, as posições ociosas destes vetores. Outra alternativa diz respeito à subdivisão dos módulos atuais do ANASUPER/PAV em módulos menores, reduzindo a ocupação de memória por ocasião do processamento dos mesmos.

A comparação dos resultados de deslocamentos nodais e esforços nos elementos de viga e pilar, realizada no exemplo 3, apresentou uma significativa semelhança entre os resultados do modelo de análise sem a consideração efetiva das lajes (versão original) e do modelo que faz esta consideração (versão atual), sendo atribuída a pequena parcela de rigidez transferida pelas lajes à estrutura se comparada à transferida pelo denso vigamento existente nos pavimentos deste exemplo. Porém, salienta-se que, os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito somente a um exemplo e, que, um estudo mais aprofundado deva ser realizado utilizando-se exemplos de estruturas de edifícios com diferentes características geométricas, a fim de se estabelecer mais precisamente as diferenças entre estes dois modos de análise.

Considerando as potencialidades do ANASUPER/PAV, esta versão do sistema não se constitui em uma versão completa e definitiva, existindo ainda temas a serem explorados, tanto com relação a melhorias no processamento e funcionamento do sistema, como a inclusão de novos recursos de análise e pós-processamento.

Entre futuras melhorias a serem implementadas à análise da estrutura, destacam-se a análise de pavimentos constituídos por vigas não paralelas aos eixos X_G e Y_G , a aplicação de cargas de paredes nas lajes, a consideração de lajes e vigas de um mesmo pavimento com plano médio e eixo baricêntrico, respectivamente, localizados em planos horizontais diferenciados e, o estudo de um método de correção para os momentos produzidos pelo descarregamento das lajes em forças concentradas.

Também a análise não-linear geométrica de estruturas esbeltas e de grande porte, já realizada pela versão anterior do ANASUPER/PAV, pode ser realizada por esta nova versão com a simples adaptação de um módulo já existente para este tipo de análise, possibilitando, conseqüentemente, a verificação dos efeitos de 2ª ordem nos elementos de pilares.

Em trabalho apresentado por BEZERRA (1995), fez-se a consideração de tramos rígidos na análise de estruturas de edifícios altos, observando-se reduções nos valores dos

resultados, especialmente nos deslocamentos horizontais. A consideração de tramos rígidos no ANASUPER/PAV poderia ser realizada com a aplicação do formulário desenvolvido por RAMALHO (1992), baseada na técnica de translação de coordenadas.

Convém salientar que os resultados obtidos pelo ANASUPER/PAV referem-se a uma análise elástica da estrutura, sem considerar a fissuração das peças de concreto. Assim, sugere-se a implantação no sistema de uma análise não-linear física.

Com relação aos recursos de pós-processamento, salienta-se o detalhamento conjunto dos elementos de viga, apresentando-se ao projetista estrutural um detalhamento único e completo para cada viga; a determinação conjunta das armaduras das lajes, eliminado-se o duplo detalhamento existente na interface das mesmas; e o cálculo preciso dos comprimentos das armaduras negativas das lajes, com a construção dos diagramas de momentos fletores nas seções de momento negativo máximo. Além disso, seria interessante apresentar o detalhamento das lajes, vigas e pilares sob a forma gráfica, pelo uso de softwares do tipo CAD, cuja interface com os resultados numéricos fornecidos pelo ANASUPER/PAV poderia ser facilmente programada.

Finalmente, acredita-se que este trabalho tenha alcançado seus objetivos, realizando mais um passo na construção de um complexo sistema de análise e dimensionamento de estruturas de edifícios de concreto armado, que tem por principal meta uma fiel simulação do comportamento real de tais estruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de obras de concreto armado**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 1980. 76p.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas**. NBR 8681. Rio de Janeiro, 1984. 76p
- 3 BATHE, K.J. **Finite elements procedures in engineering analysis**. New Jersey, Prentice Hall Inc., 1982.
- 4 BATOZ, J.L. An explicit formulation for an efficient triangular plate-bending element. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, New York, v.18, p.1077-1089, 1982.
- 5 BEZERRA, P.D. e ANTUNES, H.M. CARMO Estudo da contribuição da laje na distribuição de esforços em estruturas de edifícios altos. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 27., 1995, Tucumán. **Anais...** Tucumán, 1997. v.1., p.385-393.
- 6 BHARAT, A. Man, environment and tall buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "CONQUEST OF VERTICAL SPACE IN THE 21st CENTURY", 3., 1997, London. **Proceedings...** London: The Concrete Society, 1997. v.1., p.39-45.
- 7 BIANCHI, A.J. **A subestruturação aplicada ao projeto de estruturas de edifícios altos**. Porto Alegre, 1996. 131p. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Estruturas) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 8 BOÉSSIO, M.L. **Análise de vigas de seção aberta pelo método de subestruturação em múltiplos níveis.** Porto Alegre, 1992. 86p. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Estruturas) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 9 ELLWANGER, R.J.; LIMA, E.C.P. A utilização de superelementos na análise estrutural. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL. 24., 1987, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1987. 6v. v.4., p.153-168.
- 10 ELLWANGER, R.J. **Análise estática e dinâmica com subestruturação em múltiplos níveis.** Rio de Janeiro, 1989. 126p. Tese de Doutorado em Engenharia (Estruturas) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 11 ELLWANGER, R.J. Aplicação da subestruturação na análise de estruturas com não-linearidade física localizada. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25., 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1991. 5v. v.1., p.81-93.
- 12 ELLWANGER, R.J. ANASUPER: um sistema para análise de estruturas formadas por superelementos. In: CILAMCE, 13., 1992, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1992. 2v. v.2., p.374-383.
- 13 ELLWANGER, R.J. Análise por subestruturação com recursos gráficos. In: CILAMCE, 13., 1992, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1992. 2v. v.2., p.384-393.
- 14 ELLWANGER, R.J. Substructuring applied to the analysis of tall buildings structures In: INTERNATIONAL CONFERENCE "CONQUEST OF VERTICAL SPACE IN THE 21st CENTURY", 3., 1997, London. **Proceedings...** London: The Concrete Society, 1997. v.1., p.213-226.
- 15 FUSCO, P.B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto.** São Paulo, Editora Pini Ltda, 1995.
- 16 GRÖEHS, A.G.; SANTOS, M.I.G **GAELI - Gerador e Analisador de Estruturas Lineares.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1990.

- 17 LO, S.H.; LEE, C.K. Generation of gradation meshes by the background grid technique. **Computers and Structures**, v.50, p.21-32, 1994.
- 18 PETERSON, M.; POPOV, E.P. Substructuring and equation system in finite element analysis. **Computers and Structures**, v.7, 1977.
- 19 RAMALHO, A.R.; CORRÊA, M.R.S. Formulações para a consideração de trechos rígidos em análise linear e não-linear geométrica de pórticos tridimensionais de edifícios. In: CILAMCE, 13., 1992, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1992. 2v. v.2., p.97-106.
- 20 SPANGEMACHER, R. Structural design of high-rise buildings using numerical simulation methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "CONQUEST OF VERTICAL SPACE IN THE 21st CENTURY", 3., 1997, London. **Proceedings...** London: The Concrete Society, 1997. v.1., p.145-156.
- 21 SARRAZIN, M.; ELLWANGER, R.J. Projeto estrutural de edifícios de concreto armado mediante computador. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA ENGENHARIA CIVIL, 3., 1979, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPEGC/UFRGS, 1979. v.1, p.235-256.
- 22 SENSALE, G.R. **Projeto automático através de computadores pessoais de estruturas de edifícios correntes de concreto armado**. Porto Alegre, 1994. 125p. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Estruturas) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 23 TIMOSHENKO, S.P.; KRIEGER, S.W. **Theory of plates and shells**. New York, Mac Graw-Hill Book Company, 1959.

ANEXO A

Neste anexo estão apresentados os dados informados ao ANASUPER/PAV por ocasião da entrada de dados do exemplo 3 do capítulo 4. São apresentados também alguns dados gerados automaticamente pelo sistema.

TITULO: EDIFICIO 24 ANDARES

1. CARACTERISTICAS DO PROJETO

Numero de pisos : 24
 Numero de pilares : 28
 Numero de pavimentos-tipo : 3
 Max. num. de nos/pavimento : 80
 Max. num. elementos/pavimento: 120
 Numero de classes de pilares: 10
 Numero de classes de vigas : 3
 Numero de classes de lajes : 3

2. CARACTERISTICAS DE CALCULO

fck : resist. do concreto a compressao (MPa): 15
 fyk : resist. do concreto a tração (MPa): 500
 gama: peso especifico do concreto (kN/m3): 25
 GC : coef. de minoracao de fck : 1.4
 GY : coef. de minoracao de fyk : 1.15
 GFP : coef. de majoracao cargas peso/proprio: 1.4
 GFA : coef. de majoracao cargas acidentais : 1.4
 GFV : coef. de majoracao cargas de vento : 1.4
 V0 : velocidade basica do vento (m/s) : 45
 S1 : fator topografico (carga de vento) : 1
 E : modulo de elasticidade longitudinal : 25548.91
 G : modulo de elasticidade transversal : 10219.56

Assunto: Classes de Propriedades

CLASSES DE PILARES: 10

Classe	Hx (cm)	Hy (cm)	Classe	Hx (cm)	Hy (cm)
1	110	60	6	70	40
2	110	50	7	60	40
3	100	50	8	60	30
4	90	50	9	50	30
5	80	50	10	40	30

CLASSES DE VIGAS: 3

Classe	B (cm)	H (cm)
1	15	40
2	20	40
3	20	60

CLASSES DE LAJES: 3

Classe	Espess.(cm)	Taxas de Sobrecarga (kgf/m ²)	
		Permanente	Acidental
1	8	1	2
2	10	1	2
3	12	1	2

Assunto: Dados dos Pisos

TOTAL DE PISOS: 24

Piso	Pav.Tipo	altura(m)	Fator S2 (vento)
1	1	3	0.7
2	1	3	0.7
3	1	3	0.7
4	1	3	0.7
5	2	3	0.8
6	2	3	0.8
7	2	3	0.8
8	2	3	0.8
9	2	3	0.8
10	2	3	0.9
11	2	3	0.9
12	2	3	0.9
13	3	3	0.9
14	3	3	0.9
15	3	3	0.9
16	3	3	0.9
17	3	3	0.9
18	3	3	0.9
19	3	3	0.9
20	3	3	0.9
21	3	3	1.0
22	3	3	1.0
23	3	3	1.0
24	3	3	1.0

Assuto: Eixos na Direcao Xi

NIN	Pav.Tipo	Eixo Xi	Cota (m)
1	1	1	0.000
2	1	2	4.000
3	1	3	8.000
4	1	4	12.000
5	1	5	16.000
6	1	6	18.000
7	1	7	19.000
8	1	8	20.000
9	1	9	22.000
10	1	10	23.800
11	1	11	25.000
12	1	12	28.000
13	2	1	4.000
14	2	2	8.000

15	2	3	12.000
16	2	4	16.000
17	2	5	18.000
18	2	6	19.000
19	2	7	20.000
20	2	8	22.000
21	2	9	23.800
22	2	10	25.000
23	2	11	28.000
24	3	1	4.000
25	3	2	8.000
26	3	3	12.000
27	3	4	16.000
28	3	5	18.000
29	3	6	19.000
30	3	7	20.000
31	3	8	22.000
32	3	9	23.800
33	3	10	25.000
34	3	11	28.000

Assunto: Eixos na Direcao Yi

NIN	Pav.Tipo	Eixo	Yi	Cota (m)
1	1	1		0.000
2	1	2		2.000
3	1	3		4.000
4	1	4		6.000
5	1	5		9.000
6	1	6		12.000
7	1	7		15.000
8	1	8		16.000
9	1	9		18.000
10	2	1		0.000
11	2	2		2.000
12	2	3		4.000
13	2	4		6.000
14	2	5		9.000
15	2	6		12.000
16	2	7		18.000
17	3	1		0.000
18	3	2		2.000
19	3	3		4.000
20	3	4		6.000
21	3	5		9.000
22	3	6		12.000

Assunto: NOS - Eixos/Coordenadas/cargas

NIN	P.Tipo	NO'	EX	EY	X (m)	Y (m)	C.C. (kgf)
1	1	1	1	1	.00000E+000	.00000E+00	+.00000E+00
2	1	2	1	2	.20000E+001	.00000E+00	+.00000E+00
3	1	3	1	4	.60000E+001	.00000E+00	+.00000E+00
4	1	4	1	5	.90000E+001	.00000E+00	+.00000E+00
5	1	5	1	6	.12000E+002	.00000E+00	+.00000E+00
6	1	6	1	8	.16000E+002	.00000E+00	+.00000E+00
7	1	7	2	1	.00000E+000	.40000E+01	+.00000E+00
8	1	8	2	2	.20000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
9	1	9	2	4	.60000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
10	1	10	2	5	.90000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
11	1	11	2	6	.12000E+002	.40000E+01	+.00000E+00
12	1	12	2	8	.16000E+002	.40000E+01	+.00000E+00
13	1	13	3	1	.00000E+000	.80000E+01	+.00000E+00
14	1	14	3	2	.20000E+001	.80000E+01	+.00000E+00

15	1	15	3	4	.60000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
16	1	16	3	5	.90000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
17	1	17	3	6	.12000E+002	.80000E+01	+.00000E+00
18	1	18	3	8	.16000E+002	.80000E+01	+.00000E+00
19	1	19	4	1	.00000E+000	.12000E+02	+.00000E+00
20	1	20	4	2	.20000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
21	1	21	4	4	.60000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
22	1	22	4	5	.90000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
23	1	23	4	6	.12000E+002	.12000E+02	+.00000E+00
24	1	24	4	8	.16000E+002	.12000E+02	+.00000E+00
25	1	25	5	1	.00000E+000	.16000E+02	+.00000E+00
26	1	26	5	2	.20000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
27	1	27	5	4	.60000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
28	1	28	5	5	.90000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
29	1	29	5	6	.12000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
30	1	30	5	7	.15000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
31	1	31	5	8	.16000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
32	1	32	5	9	.18000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
33	1	33	6	1	.00000E+000	.18000E+02	+.00000E+00
34	1	34	6	2	.20000E+001	.18000E+02	+.00000E+00
35	1	35	7	4	.60000E+001	.19000E+02	+.00000E+00
36	1	36	7	5	.90000E+001	.19000E+02	+.00000E+00
37	1	37	7	6	.12000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
38	1	38	7	7	.15000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
39	1	39	7	9	.18000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
40	1	40	8	1	.00000E+000	.20000E+02	+.00000E+00
41	1	41	8	2	.20000E+001	.20000E+02	+.00000E+00
42	1	42	9	1	.00000E+000	.22000E+02	+.00000E+00
43	1	43	9	2	.20000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
44	1	44	9	4	.60000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
45	1	45	9	5	.90000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
46	1	46	9	6	.12000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
47	1	47	9	7	.15000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
48	1	48	9	9	.18000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
49	1	49	10	1	.00000E+000	.23800E+02	+.00000E+00
50	1	50	10	3	.40000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
51	1	51	10	4	.60000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
52	1	52	11	4	.60000E+001	.25000E+02	+.00000E+00
53	1	53	11	5	.90000E+001	.25000E+02	+.00000E+00
54	1	54	11	6	.12000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
55	1	55	11	7	.15000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
56	1	56	11	9	.18000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
57	1	57	12	1	.00000E+000	.28000E+02	+.00000E+00
58	1	58	12	3	.40000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
59	1	59	12	4	.60000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
60	1	60	12	5	.90000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
61	1	61	12	6	.12000E+002	.28000E+02	+.00000E+00
62	1	62	12	7	.15000E+002	.28000E+02	+.00000E+00
63	1	63	12	9	.18000E+002	.28000E+02	+.00000E+00
64	2	1	1	1	.00000E+000	.40000E+01	+.00000E+00
65	2	2	1	2	.20000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
66	2	3	1	4	.60000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
67	2	4	1	5	.90000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
68	2	5	1	6	.12000E+002	.40000E+01	+.00000E+00
69	2	6	2	1	.00000E+000	.80000E+01	+.00000E+00
70	2	7	2	2	.20000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
71	2	8	2	4	.60000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
72	2	9	2	5	.90000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
73	2	10	2	6	.12000E+002	.80000E+01	+.00000E+00
74	2	11	3	1	.00000E+000	.12000E+02	+.00000E+00
75	2	12	3	2	.20000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
76	2	13	3	4	.60000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
77	2	14	3	5	.90000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
78	2	15	3	6	.12000E+002	.12000E+02	+.00000E+00
79	2	16	4	1	.00000E+000	.16000E+02	+.00000E+00
80	2	17	4	2	.20000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
81	2	18	4	4	.60000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
82	2	19	4	5	.90000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
83	2	20	4	6	.12000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
84	2	21	4	7	.18000E+002	.16000E+02	+.00000E+00

85	2	22	5	1	.00000E+000	.18000E+02	+.00000E+00
86	2	23	5	2	.20000E+001	.18000E+02	+.00000E+00
87	2	24	6	4	.60000E+001	.19000E+02	+.00000E+00
88	2	25	6	6	.12000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
89	2	26	6	7	.18000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
90	2	27	7	1	.00000E+000	.20000E+02	+.00000E+00
91	2	28	7	2	.20000E+001	.20000E+02	+.00000E+00
92	2	29	8	1	.00000E+000	.22000E+02	+.00000E+00
93	2	30	8	2	.20000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
94	2	31	8	4	.60000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
95	2	32	8	6	.12000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
96	2	33	8	7	.18000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
97	2	34	9	1	.00000E+000	.23800E+02	+.00000E+00
98	2	35	9	3	.40000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
99	2	36	9	4	.60000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
100	2	37	10	4	.60000E+001	.25000E+02	+.00000E+00
101	2	38	10	6	.12000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
102	2	39	10	7	.18000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
103	2	40	11	1	.00000E+000	.28000E+02	+.00000E+00
104	2	41	11	3	.40000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
105	2	42	11	4	.60000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
106	2	43	11	6	.12000E+002	.28000E+02	+.00000E+00
107	2	44	11	7	.18000E+002	.28000E+02	+.00000E+00
108	3	1	1	1	.00000E+000	.40000E+01	+.00000E+00
109	3	2	1	2	.20000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
110	3	3	1	4	.60000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
111	3	4	1	5	.90000E+001	.40000E+01	+.00000E+00
112	3	5	1	6	.12000E+002	.40000E+01	+.00000E+00
113	3	6	2	1	.00000E+000	.80000E+01	+.00000E+00
114	3	7	2	2	.20000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
115	3	8	2	4	.60000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
116	3	9	2	5	.90000E+001	.80000E+01	+.00000E+00
117	3	10	2	6	.12000E+002	.80000E+01	+.00000E+00
118	3	11	3	1	.00000E+000	.12000E+02	+.00000E+00
119	3	12	3	2	.20000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
120	3	13	3	4	.60000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
121	3	14	3	5	.90000E+001	.12000E+02	+.00000E+00
122	3	15	3	6	.12000E+002	.12000E+02	+.00000E+00
123	3	16	4	1	.00000E+000	.16000E+02	+.00000E+00
124	3	17	4	2	.20000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
125	3	18	4	4	.60000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
126	3	19	4	5	.90000E+001	.16000E+02	+.00000E+00
127	3	20	4	6	.12000E+002	.16000E+02	+.00000E+00
128	3	21	5	1	.00000E+000	.18000E+02	+.00000E+00
129	3	22	5	2	.20000E+001	.18000E+02	+.00000E+00
130	3	23	6	4	.60000E+001	.19000E+02	+.00000E+00
131	3	24	6	5	.90000E+001	.19000E+02	+.00000E+00
132	3	25	6	6	.12000E+002	.19000E+02	+.00000E+00
133	3	26	7	1	.00000E+000	.20000E+02	+.00000E+00
134	3	27	7	2	.20000E+001	.20000E+02	+.00000E+00
135	3	28	8	1	.00000E+000	.22000E+02	+.00000E+00
136	3	29	8	2	.20000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
137	3	30	8	4	.60000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
138	3	31	8	5	.90000E+001	.22000E+02	+.00000E+00
139	3	32	8	6	.12000E+002	.22000E+02	+.00000E+00
140	3	33	9	1	.00000E+000	.23800E+02	+.00000E+00
141	3	34	9	3	.40000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
142	3	35	9	4	.60000E+001	.23800E+02	+.00000E+00
143	3	36	10	4	.60000E+001	.25000E+02	+.00000E+00
144	3	37	10	5	.90000E+001	.25000E+02	+.00000E+00
145	3	38	10	6	.12000E+002	.25000E+02	+.00000E+00
146	3	39	11	1	.00000E+000	.28000E+02	+.00000E+00
147	3	40	11	3	.40000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
148	3	41	11	4	.60000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
149	3	42	11	5	.90000E+001	.28000E+02	+.00000E+00
150	3	43	11	6	.12000E+002	.28000E+02	+.00000E+00

Assunto: Vigas na Direcao Xi

NIN	P.Tipo	Viga	Classe	NOI	NOF	NBI	DVIG(cm)
1	1	1	3	1	6	1	0.0
2	1	2	3	7	12	6	0.0
3	1	3	3	13	18	11	0.0
4	1	4	3	19	24	16	0.0
5	1	5	3	25	32	21	0.0
6	1	6	1	33	34	28	0.0
7	1	7	2	35	39	29	0.0
8	1	8	1	40	41	33	0.0
9	1	9	3	42	48	34	0.0
10	1	10	2	49	51	40	0.0
11	1	11	2	52	56	42	0.0
12	1	12	3	57	63	46	0.0
13	2	1	3	1	5	1	0.0
14	2	2	3	6	10	5	0.0
15	2	3	3	11	15	9	0.0
16	2	4	3	16	21	13	0.0
17	2	5	1	22	23	18	0.0
18	2	6	2	24	26	19	0.0
19	2	7	1	27	28	21	0.0
20	2	8	3	29	33	22	0.0
21	2	9	2	34	36	26	0.0
22	2	10	2	37	39	28	0.0
23	2	11	3	40	44	30	0.0
24	3	1	3	1	5	1	0.0
25	3	2	3	6	10	5	0.0
26	3	3	3	11	15	9	0.0
27	3	4	3	16	20	13	0.0
28	3	5	1	21	22	17	0.0
29	3	6	2	23	25	18	0.0
30	3	7	1	26	27	20	0.0
31	3	8	3	28	32	21	0.0
32	3	9	2	33	35	25	0.0
33	3	10	2	36	38	27	0.0
34	3	11	3	39	43	29	0.0

Assunto: Vigas na Direcao Yi

NIN	P.Tipo	Viga	Classe	NOI	NOF	NBI	DVIG(cm)
1	1	1	3	1	57	52	0.0
2	1	2	3	2	43	61	0.0
3	1	3	2	50	58	68	0.0
4	1	4	3	3	59	69	0.0
5	1	5	3	4	60	78	0.0
6	1	6	3	5	61	86	0.0
7	1	7	3	30	62	94	0.0
8	1	8	3	6	31	98	0.0
9	1	9	3	32	63	102	0.0
10	2	1	3	1	40	26	0.0
11	2	2	3	2	30	28	0.0
12	2	3	2	35	41	30	0.0
13	2	4	3	3	42	34	0.0
14	2	5	2	4	19	42	0.0
15	2	6	3	5	43	48	0.0
16	2	7	3	21	44	49	0.0
17	3	1	3	1	39	17	0.0
18	3	2	3	2	29	18	0.0
19	3	3	2	34	40	20	0.0
20	3	4	3	3	41	21	0.0
21	3	5	3	4	42	25	0.0
22	3	6	3	5	43	27	0.0

Assunto: ELEMENTOS - conetividades

NIN	P.Tipo	NEL	NOI	NOF	NIN	P.Tipo	NEL	NOI	NOF
1	1	1	1	2	66	1	66	34	41
2	1	2	2	3	67	1	67	41	43
3	1	3	3	4	68	1	68	50	58
4	1	4	4	5	69	1	69	3	9
5	1	5	5	6	70	1	70	9	15
6	1	6	7	8	71	1	71	15	21
7	1	7	8	9	72	1	72	21	27
8	1	8	9	10	73	1	73	27	35
9	1	9	10	11	74	1	74	35	44
10	1	10	11	12	75	1	75	44	51
11	1	11	13	14	76	1	76	51	52
12	1	12	14	15	77	1	77	52	59
13	1	13	15	16	78	1	78	4	10
14	1	14	16	17	79	1	79	10	16
15	1	15	17	18	80	1	80	16	22
16	1	16	19	20	81	1	81	22	28
17	1	17	20	21	82	1	82	28	36
18	1	18	21	22	83	1	83	36	45
19	1	19	22	23	84	1	84	45	53
20	1	20	23	24	85	1	85	53	60
21	1	21	25	26	86	1	86	5	11
22	1	22	26	27	87	1	87	11	17
23	1	23	27	28	88	1	88	17	23
24	1	24	28	29	89	1	89	23	29
25	1	25	29	30	90	1	90	29	37
26	1	26	30	31	91	1	91	37	46
27	1	27	31	32	92	1	92	46	54
28	1	28	33	34	93	1	93	54	61
29	1	29	35	36	94	1	94	30	38
30	1	30	36	37	95	1	95	38	47
31	1	31	37	38	96	1	96	47	55
32	1	32	38	39	97	1	97	55	62
33	1	33	40	41	98	1	98	6	12
34	1	34	42	43	99	1	99	12	18
35	1	35	43	44	100	1	100	18	24
36	1	36	44	45	101	1	101	24	31
37	1	37	45	46	102	1	102	32	39
38	1	38	46	47	103	1	103	39	48
39	1	39	47	48	104	1	104	48	56
40	1	40	49	50	105	1	105	56	63
41	1	41	50	51	106	2	1	1	2
42	1	42	52	53	107	2	2	2	3
43	1	43	53	54	108	2	3	3	4
44	1	44	54	55	109	2	4	4	5
45	1	45	55	56	110	2	5	6	7
46	1	46	57	58	111	2	6	7	8
47	1	47	58	59	112	2	7	8	9
48	1	48	59	60	113	2	8	9	10
49	1	49	60	61	114	2	9	11	12
50	1	50	61	62	115	2	10	12	13
51	1	51	62	63	116	2	11	13	14
52	1	52	1	7	117	2	12	14	15
53	1	53	7	13	118	2	13	16	17
54	1	54	13	19	119	2	14	17	18
55	1	55	19	25	120	2	15	18	19
56	1	56	25	33	121	2	16	19	20
57	1	57	33	40	122	2	17	20	21
58	1	58	40	42	123	2	18	22	23
59	1	59	42	49	124	2	19	24	25
60	1	60	49	57	125	2	20	25	26
61	1	61	2	8	126	2	21	27	28
62	1	62	8	14	127	2	22	29	30
63	1	63	14	20	128	2	23	30	31
64	1	64	20	26	129	2	24	31	32
65	1	65	26	34	130	2	25	32	33

131	2	26	34	35	188	3	13	16	17
132	2	27	35	36	189	3	14	17	18
133	2	28	37	38	190	3	15	18	19
134	2	29	38	39	191	3	16	19	20
135	2	30	40	41	192	3	17	21	22
136	2	31	41	42	193	3	18	23	24
137	2	32	42	43	194	3	19	24	25
138	2	33	43	44	195	3	20	26	27
139	2	34	1	6	196	3	21	28	29
140	2	35	6	11	197	3	22	29	30
141	2	36	11	16	198	3	23	30	31
142	2	37	16	22	199	3	24	31	32
143	2	38	22	27	200	3	25	33	34
144	2	39	27	29	201	3	26	34	35
145	2	40	29	34	202	3	27	36	37
146	2	41	34	40	203	3	28	37	38
147	2	42	2	7	204	3	29	39	40
148	2	43	7	12	205	3	30	40	41
149	2	44	12	17	206	3	31	41	42
150	2	45	17	23	207	3	32	42	43
151	2	46	23	28	208	3	33	1	6
152	2	47	28	30	209	3	34	6	11
153	2	48	35	41	210	3	35	11	16
154	2	49	3	8	211	3	36	16	21
155	2	50	8	13	212	3	37	21	26
156	2	51	13	18	213	3	38	26	28
157	2	52	18	24	214	3	39	28	33
158	2	53	24	31	215	3	40	33	39
159	2	54	31	36	216	3	41	2	7
160	2	55	36	37	217	3	42	7	12
161	2	56	37	42	218	3	43	12	17
162	2	57	4	9	219	3	44	17	22
163	2	58	9	14	220	3	45	22	27
164	2	59	14	19	221	3	46	27	29
165	2	60	5	10	222	3	47	34	40
166	2	61	10	15	223	3	48	3	8
167	2	62	15	20	224	3	49	8	13
168	2	63	20	25	225	3	50	13	18
169	2	64	25	32	226	3	51	18	23
170	2	65	32	38	227	3	52	23	30
171	2	66	38	43	228	3	53	30	35
172	2	67	21	26	229	3	54	35	36
173	2	68	26	33	230	3	55	36	41
174	2	69	33	39	231	3	56	4	9
175	2	70	39	44	232	3	57	9	14
176	3	1	1	2	233	3	58	14	19
177	3	2	2	3	234	3	59	19	24
178	3	3	3	4	235	3	60	24	31
179	3	4	4	5	236	3	61	31	37
180	3	5	6	7	237	3	62	37	42
181	3	6	7	8	238	3	63	5	10
182	3	7	8	9	239	3	64	10	15
183	3	8	9	10	240	3	65	15	20
184	3	9	11	12	241	3	66	20	25
185	3	10	12	13	242	3	67	25	32
186	3	11	13	14	243	3	68	32	38
187	3	12	14	15	244	3	69	38	43

Assunto: ELEMENTOS - cargas distribuidas (kN/m)

NIN	NEL	peso propr. (vigas)	reacao(lajes) (pp + c.p.)	distribuida (paredes)	carregamento 2 (acidental)
1	1	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00
2	2	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00
3	3	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00
4	4	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00
5	5	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00
6	6	+.30000E+01	+.00000E+00	+.83000E+01	+.00000E+00

220	45	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
221	46	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
222	47	+.20000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
223	48	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
224	49	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
225	50	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
226	51	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
227	52	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
228	53	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
229	54	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
230	55	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
231	56	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
232	57	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
233	58	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
234	59	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
235	60	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
236	61	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
237	62	+.30000E+01	+.00000E+00	+.00000E+00	+.00000E+00
238	63	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
239	64	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
240	65	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
241	66	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
242	67	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
243	68	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00
244	69	+.30000E+01	+.00000E+00	+.78000E+01	+.00000E+00

Assunto: Lajes dos Pavimentos Tipos

NIN	P.Tipo	Laje	Classe	NO1	NO2	V.1	V.2	V.3	V.4
1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
2	1	2	3	2	9	0	0	0	0
3	1	3	2	3	10	0	0	0	0
4	1	4	2	4	11	0	0	0	0
5	1	5	3	5	12	0	0	0	0
6	1	6	1	7	14	0	0	0	0
7	1	7	3	8	15	0	0	0	0
8	1	8	2	9	16	0	0	0	0
9	1	9	2	10	17	0	0	0	0
10	1	10	3	11	18	0	0	0	0
11	1	11	1	13	20	0	0	0	0
12	1	12	3	14	21	0	0	0	0
13	1	13	2	15	22	0	0	0	0
14	1	14	2	16	23	0	0	0	0
15	1	15	3	17	24	0	0	0	0
16	1	16	1	19	26	0	0	0	0
17	1	17	3	20	27	0	0	0	0
18	1	18	2	21	28	0	0	0	0
19	1	19	2	22	29	0	0	0	0
20	1	20	3	23	31	0	0	0	0
21	1	21	1	25	34	0	0	0	0
22	1	22	3	26	44	0	0	0	0
23	1	23	1	27	36	0	0	0	0
24	1	24	1	28	37	0	0	0	0
25	1	25	1	29	38	0	0	0	0
26	1	26	1	30	39	0	0	0	0
27	1	27	1	35	45	0	0	0	0
28	1	28	1	36	46	0	0	0	0
29	1	29	1	37	47	0	0	0	0
30	1	30	1	38	48	0	0	0	0
31	1	31	1	42	51	0	0	0	0
32	1	32	1	44	53	0	0	0	0
33	1	33	1	45	54	0	0	0	0
34	1	34	1	46	55	0	0	0	0
35	1	35	1	47	56	0	0	0	0
36	1	36	2	49	58	0	0	0	0
37	1	37	1	50	59	0	0	0	0
38	1	38	1	52	60	0	0	0	0
39	1	39	1	53	61	0	0	0	0

40	1	40	1	54	62	0	0	0	0
41	1	41	1	55	63	0	0	0	0
42	2	1	1	1	7	0	0	0	0
43	2	2	3	2	8	0	0	0	0
44	2	3	2	3	9	0	0	0	0
45	2	4	2	4	10	0	0	0	0
46	2	5	1	6	12	0	0	0	0
47	2	6	3	7	13	0	0	0	0
48	2	7	2	8	14	0	0	0	0
49	2	8	2	9	15	0	0	0	0
50	2	9	1	11	17	0	0	0	0
51	2	10	3	12	18	0	0	0	0
52	2	11	2	13	19	0	0	0	0
53	2	12	2	14	20	0	0	0	0
54	2	13	1	16	23	0	0	0	0
55	2	14	3	17	31	0	0	0	0
56	2	15	3	18	25	0	0	0	0
57	2	16	3	20	26	0	0	0	0
58	2	17	3	24	32	0	0	0	0
59	2	18	3	25	33	0	0	0	0
60	2	19	1	29	36	0	0	0	0
61	2	20	3	31	38	0	0	0	0
62	2	21	3	32	39	0	0	0	0
63	2	22	2	34	41	0	0	0	0
64	2	23	1	35	42	0	0	0	0
65	2	24	3	37	43	0	0	0	0
66	2	25	3	38	44	0	0	0	0
67	3	1	1	1	7	0	0	0	0
68	3	2	3	2	8	0	0	0	0
69	3	3	2	3	9	0	0	0	0
70	3	4	2	4	10	0	0	0	0
71	3	5	1	6	12	0	0	0	0
72	3	6	3	7	13	0	0	0	0
73	3	7	2	8	14	0	0	0	0
74	3	8	2	9	15	0	0	0	0
75	3	9	1	11	17	0	0	0	0
76	3	10	3	12	18	0	0	0	0
77	3	11	2	13	19	0	0	0	0
78	3	12	2	14	20	0	0	0	0
79	3	13	1	16	22	0	0	0	0
80	3	14	3	17	30	0	0	0	0
81	3	15	2	18	24	0	0	0	0
82	3	16	2	19	25	0	0	0	0
83	3	17	2	23	31	0	0	0	0
84	3	18	2	24	32	0	0	0	0
85	3	19	2	28	35	0	0	0	0
86	3	20	2	30	37	0	0	0	0
87	3	21	2	31	38	0	0	0	0
88	3	22	2	33	40	0	0	0	0
89	3	23	1	34	41	0	0	0	0
90	3	24	2	36	42	0	0	0	0
91	3	25	2	37	43	0	0	0	0

Assunto: Pilares - Classe/Conetividades

Piso	No. de pilares	Classe	Piso	No. de pilares	Classe
1	28	1	13	18	3
2	28	1	14	18	4
3	28	1	15	18	5
4	28	1	16	18	5
5	21	1	17	18	6
6	21	2	18	18	6
7	21	2	19	18	7
8	21	2	20	18	7
9	21	2	21	18	8
10	21	3	22	18	9
11	21	3	23	18	10
12	21	3	24	18	10

