

**ANÁLISE COMPARATIVA PELO MÉTODO DOS
ELEMENTOS FINITOS DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS
CLÁSSICOS E EVOLUTIVOS DO SISTEMA ESTRUTURAL
DE UM EDIFÍCIO ALTO EM CONCRETO ARMADO**

Bruno Alves de Carvalho

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**"ANÁLISE COMPARATIVA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS
FINITOS DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS CLÁSSICOS E
EVOLUTIVOS DO SISTEMA ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO
ALTO EM CONCRETO ARMADO"**

Bruno Alves de Carvalho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Alcebíades de Vasconcellos Filho
DEES - UFMG - (Orientador)

Prof. Dr. Armando Cesar Campos Lavall
DEES-UFMG

Prof. Dr. Humberto Lima Soriano
UERJ

Belo Horizonte, 19 de março de 2004

*Aos meus pais Paulo Roberto e Márcia,
aos meus irmãos Maria Rita, Fausto e Bráulio,
aos meus cunhados Eduardo e Juliana
e aos meus sobrinhos Luiz Eduardo, Paulo Otávio e Ana Flávia.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo.

Ao amigo e professor Alcebiades de Vasconcellos Filho, pela orientação deste trabalho, pelos conhecimentos e experiência transmitidos, pela dedicação, pela atenção, pela compreensão, pela paciência.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Estruturas por fazerem parte deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Estruturas pelo apoio necessário à realização deste trabalho.

Aos amigos e amigas da pós-graduação, pela amizade, pelo companheirismo, pelas trocas de experiências. Em especial ao amigo Edson Leonel.

À Andréa, pelo incentivo, pelo apoio, pela compreensão, pelo carinho.

À minha família, sempre presente em todos os momentos de minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3 ESTRUTURA ANALISADA	14
4 MODELOS ESTRUTURAIS ANALISADOS	17
4.1 Considerações	17
4.2 Carregamento	20
4.2.1 Carregamento das lajes.....	20
4.2.2 Carregamento das vigas.....	21
4.2.3 Carregamento dos pilares.....	21
4.2.4 Carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água.....	22
4.2.4.1 Carregamento devido à casa de máquinas.....	22
4.2.4.2 Carregamento devido à caixa d'água.....	23
4.2.4.3 Carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água.....	24
4.3 Modelo CDA	24
4.4 Modelo SDA	25
4.5 Modelo EVOL	25

4.6	Modelo EVOL+R.....	31
5	COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS EVOL, CDA E SDA.....	43
5.1	Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central.....	44
5.2	Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central.....	47
5.3	Momentos fletores positivos máximos das vigas V1.....	49
5.4	Momentos fletores positivos máximos das vigas V2.....	52
5.5	Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes.....	55
5.6	Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes.....	58
5.7	Forças axiais no pilar P5.....	61
5.8	Reações de apoio verticais na fundação.....	63
5.9	Recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5.....	65
5.9.1	Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1.....	65
5.9.2	Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2.....	68
5.9.3	Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1.....	70
6	COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS EVOL E EVOL+R.....	72
6.1	Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central.....	73
6.2	Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central.....	75
6.3	Momentos fletores positivos máximos das vigas V1.....	77
6.4	Momentos fletores positivos máximos das vigas V2.....	80
6.5	Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes.....	83
6.6	Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes.....	86
6.7	Forças axiais no pilar P5.....	89
6.8	Reações de apoio verticais na fundação.....	91
6.9	Recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5.....	92
6.9.1	Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1.....	92
6.9.2	Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2.....	94
6.9.3	Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1.....	96
7	HISTÓRICO DE ESFORÇOS NO MODELO EVOL+R.....	99
7.1	Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar.....	102
7.2	Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar.....	104
7.3	Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar.....	106

7.4	Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15° andar.....	108
7.5	Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30° andar.....	110
7.6	Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30° andar.....	112
7.7	Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1° andar.....	114
7.8	Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 1° andar.....	116
7.9	Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15° andar.....	119
7.10	Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15° andar.....	121
7.11	Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30° andar.....	123
7.12	Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar.....	125
8	CONCLUSÕES.....	127
	BIBLIOGRAFIA.....	131

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1	- Planta do andar tipo (medidas e cotas em cm).....	15
FIGURA 3.2	- Corte A-A (medidas e cotas em cm).....	16
FIGURA 4.1	- Discretização utilizada para um andar.....	18
FIGURA 4.2	- Discretização utilizada para a estrutura completa.....	19
FIGURA 4.3	- Representação esquemática da disposição das alvenarias (medidas em cm).....	20
FIGURA 4.4	- Representação esquemática do peso próprio dos pilares.....	22
FIGURA 4.5	- Casa de máquinas – planta e corte (medidas em cm).....	23
FIGURA 4.6	- Caixa d’água – planta e corte (medidas em cm).....	24
FIGURA 4.7	- Representação esquemática das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL.....	30
FIGURA 4.8	- Convenções adotadas no modelo EVOL+R.....	33
FIGURA 4.9	- Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R.....	34
FIGURA 4.10	- Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R.....	35
FIGURA 4.11	- Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R.....	36
FIGURA 5.1	- Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	45
FIGURA 5.2	- Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada).....	45
FIGURA 5.3	- Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	48

FIGURA 5.4	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	51
FIGURA 5.5	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada).....	51
FIGURA 5.6	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	54
FIGURA 5.7	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada).....	54
FIGURA 5.8	- Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	57
FIGURA 5.9	- Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada).....	57
FIGURA 5.10	- Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	60
FIGURA 5.11	- Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada).....	60
FIGURA 5.12	- Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	63
FIGURA 5.13	- Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	64
FIGURA 5.14	- Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	67
FIGURA 5.15	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	69
FIGURA 5.16	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	71
FIGURA 6.1	- Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R.....	74
FIGURA 6.2	- Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada).....	74
FIGURA 6.3	- Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R.....	77

FIGURA 6.4	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	79
FIGURA 6.5	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada).....	79
FIGURA 6.6	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	82
FIGURA 6.7	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada).....	82
FIGURA 6.8	- Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R.....	85
FIGURA 6.9	- Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada).....	85
FIGURA 6.10	- Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R.....	88
FIGURA 6.11	- Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada).....	88
FIGURA 6.12	- Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	91
FIGURA 6.13	- Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	92
FIGURA 6.14	- Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	94
FIGURA 6.15	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	96
FIGURA 6.16	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	98
FIGURA 7.1	- Numeração dos elementos finitos de referência para as vigas V2 e lajes.....	101
FIGURA 7.2	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	103
FIGURA 7.3	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	105

FIGURA 7.4	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15° andar para o modelo EVOL+R.....	107
FIGURA 7.5	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15° andar para o modelo EVOL+R.....	109
FIGURA 7.6	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30° andar para o modelo EVOL+R.....	111
FIGURA 7.7	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30° andar para o modelo EVOL+R.....	113
FIGURA 7.8	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1° andar para o modelo EVOL+R.....	115
FIGURA 7.9	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 1° andar para o modelo EVOL+R.....	118
FIGURA 7.10	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15° andar para o modelo EVOL+R.....	120
FIGURA 7.11	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15° andar para o modelo EVOL+R.....	122
FIGURA 7.12	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30° andar para o modelo EVOL+R.....	124
FIGURA 7.13	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar para o modelo EVOL+R.....	126

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1	-Resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL.....	29
TABELA 4.2	-Resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL+R.....	42
TABELA 5.1	-Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	44
TABELA 5.2	-Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	47
TABELA 5.3	-Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	50
TABELA 5.4	-Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	53
TABELA 5.5	-Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	56
TABELA 5.6	-Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	59
TABELA 5.7	-Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	62
TABELA 5.8	-Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	64
TABELA 5.9	-Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	66
TABELA 5.10	-Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	68
TABELA 5.11	-Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA.....	70

TABELA 6.1	- Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R.....	73
TABELA 6.2	- Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R.....	76
TABELA 6.3	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	78
TABELA 6.4	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	81
TABELA 6.5	- Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R.....	84
TABELA 6.6	- Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R.....	87
TABELA 6.7	- Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	90
TABELA 6.8	- Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	91
TABELA 6.9	- Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	93
TABELA 6.10	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	95
TABELA 6.11	- Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R.....	97
TABELA 7.1	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	102
TABELA 7.2	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	104
TABELA 7.3	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R.....	106
TABELA 7.4	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R.....	108
TABELA 7.5	- Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R.....	110

TABELA 7.6	- Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R.....	112
TABELA 7.7	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	114
TABELA 7.8	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R.....	117
TABELA 7.9	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R.....	119
TABELA 7.10	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R.....	121
TABELA 7.11	- Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R.....	123
TABELA 7.12	- Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACI	- American Concrete Institute
AÇOMINAS	- Aço Minas Gerais S.A.
alv	- Carregamento devido à alvenaria e ao revestimento nas lajes Carregamento devido à alvenaria nas vigas
ANSYS	- Analysis Systems Inc.
ASCE	- American Society of Civil Engineers
BEAM4	- Elemento finito de barra do programa ANSYS
Carreg.	- Carregamento
CDA	- Com deformação axial
CIMNE	- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería
cm+cx	- Carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água
COPPE	- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia
E	- Módulo de elasticidade longitudinal
EA	- Módulo de rigidez axial
EI	- Módulo de rigidez à flexão
E_{ij}	- Esforço qualquer número i devido ao carregamento número j
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Eq.	- Equação
EVOL	- Evolutivo
EVOL+R	- Evolutivo mais realista
FIG.	- Figura
h	- Espessura da laje
IBRACON	- Instituto Brasileiro do Concreto
M	- Maior valor algébrico do momento fletor
M_o	- Menor valor algébrico do momento fletor

M_x	- Momento fletor que atua no plano XZ
M_y	- Momento fletor que atua no plano YZ
P_i	- Pilar número i
pp	- Peso próprio
sc	- Sobrecarga
sct	- Sobrecarga temporária
SDA	- Sem deformação axial
SHELL63	- Elemento finito de casca do programa ANSYS
SIDERBRÁS	- Siderurgia Brasileira S.A.
T	- Térreo
TAB.	- Tabela
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	- Universidade de São Paulo
V_i	- Viga número i
Δ_{ij}	- Deslocamento qualquer número i devido ao carregamento número j
$\Delta M\%$	- Variação percentual do momento fletor
γ_{alv}	- Peso específico da alvenaria
γ_{conc}	- Peso específico do concreto
ν	- Coeficiente de Poisson
	- Valor absoluto

RESUMO

A análise estrutural de edifícios altos requer a utilização de modelos estruturais mais realistas. Neste trabalho analisa-se uma estrutura de 30 andares composta por lajes, vigas e pilares através de quatro modelos estruturais tridimensionais distintos: dois modelos clássicos, com e sem deformação axial dos pilares, onde todo o carregamento atua simultaneamente após a estrutura concluída e dois modelos de cálculo evolutivo, um mais realista do que o outro, onde os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, considerando as etapas de construção e carregamento. Utiliza-se o método dos elementos finitos, que possibilita a análise tridimensional de um modelo composto de elementos de lajes, vigas e pilares. As análises da estrutura em questão evidenciam de maneira muito clara a possibilidade de modelos estruturais diferentes apresentarem resultados significativamente distintos. Naturalmente, quanto maior o número de informações incorporadas ao modelo que retratem a realidade, mais realista será o modelo e melhores serão os resultados obtidos. Conclui-se, baseado nas análises feitas, que o modelo de cálculo evolutivo, onde se consideram as etapas de construção e carregamento, é superior aos modelos clássicos. Assim sendo, deve-se considerá-lo como um modelo paradigma, procurando utilizá-lo na análise estrutural de edifícios altos. Porém, devido ao grande aumento de trabalho envolvido, é necessário o desenvolvimento de programas que tornem viável o uso corrente do modelo de cálculo evolutivo em escritórios de cálculo estrutural.

Palavras-chave: cálculo evolutivo, edifícios altos, edifícios de andares múltiplos, etapas de carregamento, etapas de construção, modelos estruturais.

ABSTRACT

The structural analysis of tall buildings requires the use of more realistic structural models. In the present work, four different tridimensional structural models were used to analyze a thirty-floor tall building composed of slabs, beams and columns. Two conventional models in which all the load is applied simultaneously after the completion of the structure were employed - one model takes into account the axial deformation of columns and the other does not. Two different sequential analysis models were used in this analysis as well – one model is more realistic than the other. In these models, the load is applied gradually to the structure considering both the construction and the loading stages and both of them take into account the axial deformation of columns. It is used the finite element method that performs the tridimensional analysis of a model composed of elements of slabs, beams and columns. The findings of this analysis clearly show that distinct structural models may lead to very different results. In addition, the more information about the real structure is added to the structural model, the more realistic is the model and the better are the results. Moreover, it is concluded that the sequential analysis model which considers the construction and the loading stages is more reliable than the conventional models. Therefore, sequential analysis models are recommended as standard models in the structural analysis of tall buildings. However, due to the extra workload involved in the structural analysis based on these models, it is necessary that structural analysis programs be developed in order to make feasible the frequent use of sequential analysis models in structural engineering offices.

Keywords: sequential analysis, tall buildings, multistory buildings, loading stages, construction stages, structural models.

1

INTRODUÇÃO

1.1 – Generalidades

A análise estrutural é um dos ramos da Engenharia Civil que oferece grandes desafios aos engenheiros. Procura-se, através dela, conhecer o comportamento de uma estrutura e dimensioná-la para resistir aos esforços que a solicitam.

A princípio pode-se pensar, erroneamente, que a análise estrutural é uma ciência exata. Sabe-se, porém, que isto não é verdade em virtude da interação de diversas variáveis que a tornam uma ciência aproximada. Entre estas variáveis pode-se citar: preparo e confecção dos materiais, comportamento dos mesmos, técnicas de execução, determinação dos carregamentos, simplificações na modelagem e até mesmo limitações diversas de cálculo.

Assim sendo, cabe aos engenheiros estruturais a difícil tarefa de calcular uma estrutura de maneira segura e econômica, levando-se em conta todas as aproximações.

A análise estrutural de edifícios altos apresenta particularidades. Além dos carregamentos verticais, deve-se considerar carregamentos horizontais devidos ao vento e sismos. Deve-se considerar também as ações da temperatura e, no caso de estruturas de concreto armado, as ações da retração e deformação lenta do concreto (FINTEL, 1974).

Inicialmente, o engenheiro estrutural define o sistema estrutural a ser utilizado. Os sistemas estruturais são compostos de subsistemas estruturais horizontais e verticais. São exemplos de subsistemas estruturais horizontais: viga, grelha, laje lisa, laje nervurada, laje cogumelo. São exemplos de subsistemas estruturais verticais: pilar, parede estrutural, pórtico plano, treliça plana, tubo. Pode-se fazer combinações de diferentes subsistemas estruturais horizontais e verticais, definindo assim o sistema estrutural. A escolha do sistema estrutural mais adequado considera, entre outros fatores, questões econômicas, compatibilidade com o projeto arquitetônico, capacidade da estrutura em resistir aos esforços solicitantes (SMITH e COULL, 1991).

Uma vez definido o sistema estrutural, cabe ao engenheiro adotar um modelo estrutural capaz de representar a estrutura adequadamente, através do qual se calculam os deslocamentos e esforços solicitantes.

“A rigor qualquer modelo estrutural que criemos é, em última análise, um modelo estrutural simplificado já que ele não representa exatamente a realidade. Basta fazermos uma única hipótese que não corresponda à realidade para já termos um modelo estrutural simplificado. É lógico, portanto, que o grau de simplificação de um modelo está diretamente ligado ao número de hipóteses simplificadoras, ou seja, quanto mais hipóteses fizermos que não correspondam à realidade mais simplificado será o modelo. São exemplos típicos de hipóteses simplificadoras que podem afetar em maior ou menor grau os resultados dependendo do material utilizado (aço, concreto, madeira), da forma da estrutura, dos tipos de ligações que unem as peças estruturais, das dimensões das peças estruturais, das ações que solicitam a estrutura, das etapas de construção e carregamento, do material não estrutural empregado nas paredes e divisórias, das limitações impostas aos valores das flechas e deslocamentos laterais, etc, as seguintes:

- supormos os materiais homogêneos;
- supormos os materiais isotrópicos;
- supormos os materiais linearmente elásticos;
- utilizarmos a configuração inicial da estrutura como referência para fazermos os cálculos;
- desprezarmos a interação das forças axiais e momentos fletores;
- desprezarmos as deformações por cisalhamento;
- desprezarmos as deformações axiais;
- supormos as lajes de piso funcionando como diafragmas rígidos em seu plano médio;
- supormos a existência de ligações infinitamente rígidas ou infinitamente flexíveis, por exemplo, entre as barras de pórticos ou treliças;
- idealizarmos uma estrutura reticulada através de elementos unidimensionais dispostos segundo os eixos das barras;
- analisarmos pórticos espaciais através de pórticos planos;
- analisarmos pórticos planos através de vigas e pilares;
- analisarmos grelhas através de uma malha de vigas contínuas;
- supormos lajes, vigas e pilares trabalhando isoladamente;
- desprezarmos a contribuição das alvenarias não estruturais no enrijecimento da estrutura;
- supormos as cargas verticais devidas a móveis, equipamentos, arquivos, pessoas, etc, uniformemente distribuídas nos pisos;
- especificarmos “a priori” a posição dos pontos de inflexão, ou os valores dos esforços cortantes, ou os valores das forças axiais, nas barras de uma estrutura, através de um critério razoável, com o objetivo de analisarmos uma estrutura hiperestática como se ela fosse isostática;
- analisarmos estruturas de edifícios de andares múltiplos altos como se fossem “lajes, vigas e pilares” empilhados;
- analisarmos estruturas construídas e carregadas gradualmente como se todos os carregamentos, inclusive o peso próprio, as solicitassem somente depois delas estarem prontas; etc.

Voltamos a repetir que modelo estrutural simplificado, se usado apropriadamente, não é sinônimo de modelo estrutural ruim. Vários fatores influem na escolha de modelos estruturais mais ou menos sofisticados. Por exemplo, o modelo utilizado para fazermos o pré-dimensionamento de uma estrutura pode ser mais simples do que o adotado na análise final. Ao calcularmos a estrutura de uma casa tipo de um conjunto habitacional popular, o modelo estrutural “lajes, vigas e pilares” é perfeitamente adequado. Por outro lado, seríamos até irresponsáveis se adotássemos “lajes, vigas e pilares” empilhados para analisarmos um edifício de 50 pavimentos” (VASCONCELLOS FILHO, 1981, p. 36, 37, 38).

1.2 – Objetivos

Atualmente tem-se um grande desenvolvimento dos recursos computacionais que permitem o cálculo de estruturas através de modelos cada vez mais sofisticados.

Apesar de todo este avanço computacional, percebe-se, mesmo em escritórios de cálculo dotados de softwares modernos, a utilização de modelos estruturais bastante simplificados, oriundos da época em que não se dispunha de tais recursos. Estes modelos demasiadamente simplificados afastam-se do real comportamento da estrutura e podem apresentar resultados bastante discrepantes.

Pretende-se neste trabalho:

- a) analisar um edifício de andares múltiplos através de dois modelos estruturais amplamente utilizados nos escritórios de cálculo e também através de um modelo estrutural onde se consideram as etapas de construção e carregamento, comparando-os e salientando as semelhanças e discrepâncias entre eles;
- b) mostrar que o modelo estrutural onde se consideram as etapas de construção e carregamento, aqui chamado modelo de cálculo evolutivo, é o mais realista;

- c) mostrar que o modelo de cálculo evolutivo pode apresentar resultados diferentes para níveis de refinamento distintos;
- d) mostrar históricos de momentos fletores obtidos através do modelo de cálculo evolutivo ao longo das etapas de construção e carregamento para alguns elementos estruturais;
- e) ressaltar a necessidade e a importância de se trabalhar com modelos estruturais mais realistas.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, com a construção de edifícios de andares múltiplos cada vez mais altos, torna-se muito importante a escolha de um modelo estrutural que melhor represente o real comportamento da estrutura. Além disto, o desenvolvimento dos recursos computacionais permite o cálculo de estruturas através de modelos cada vez mais sofisticados. Em função de tudo isto, diversos trabalhos têm sido publicados ressaltando a necessidade e a importância de se trabalhar com modelos estruturais mais realistas. A seguir apresentam-se alguns destes trabalhos em ordem cronológica.

GRUNDY e KABAILA (1963) analisam as cargas que ocorrem nas lajes, durante a construção, provenientes do escoramento das mesmas, em edifícios de andares múltiplos. Mostra-se que as cargas que ocorrem nas lajes durante a construção de uma estrutura de concreto onde as lajes superiores são escoradas nas lajes inferiores podem exceder as cargas de serviço projetadas em uma margem considerável e, por isto, não devem ser ignoradas no projeto. Apresenta-se um método para determinação destas cargas oriundas do escoramento. Discute-se o efeito de se escorar números diferentes de andares.

SELVARAJ e SHARMA (1974) analisam a influência da seqüência de construção nas tensões em pórticos de edifícios altos. Analisam-se três pórticos de 14 andares: um com 2 vãos, outro com 4 vãos e um núcleo estrutural e o outro com 7 vãos. Consideram-se duas seqüências de construção: caso I – o pórtico é carregado gradativamente sem considerar o escoramento; caso II – o pórtico é carregado gradativamente considerando o escoramento (a laje em construção é escorada na laje situada no nível inferior). Consideram-se neste trabalho apenas as cargas oriundas do peso próprio das vigas e lajes. Os pórticos são analisados pela teoria elástica usando o método dos deslocamentos. Analisam-se os três pórticos através das seis formas seguintes: ignorando a seqüência de construção, com e sem os efeitos das deformações axial e de cisalhamento; considerando as seqüências de construção para os casos I e II, com e sem os efeitos das deformações axial e de cisalhamento. Apresentam-se gráficos com valores dos momentos fletores nas vigas e forças axiais nos pilares, comparando os resultados obtidos para os três pórticos através de cada uma das formas analisadas. Conclui-se que não considerar a seqüência de construção na análise elástica de edifícios altos pode levar a erros significantes nas tensões oriundas de cargas permanentes. Afirma-se que a seqüência de construção deve ser considerada principalmente em edifícios altos onde os recalques diferenciais entre pilares são grandes.

VASCONCELLOS FILHO (1981) mostra a necessidade e importância de se trabalhar com modelos estruturais mais realistas. Consideram-se dois pórticos planos, um com 16 e outro com 26 andares, analisados através de três modelos estruturais distintos: modelo SDA (sem deformação axial), modelo STRESS (com deformação axial) e modelo PPSEM (evolutivo). Nos modelos SDA e STRESS, modelos clássicos amplamente usados, os carregamentos são colocados simultaneamente após a estrutura concluída. Já no modelo PPSEM, modelo de cálculo evolutivo, a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, considerando as etapas de construção e carregamento. Comparam-se os resultados obtidos através dos três modelos, salientando as discrepâncias encontradas. Verifica-se que os modelos SDA e STRESS não apresentam bons resultados quando comparados com o modelo PPSEM (modelo mais realista). Mostra-se que os resultados obtidos através dos três modelos divergem gradativamente, em geral, entre si, à medida que a altura do pórtico aumenta, as tensões

normais nos pilares afastam-se umas das outras em cada andar, a rigidez à flexão EI do vigamento aumenta, as rigidezes axiais EA dos pilares diminuem, entre outros fatores.

CHOI e KIM (1985) apresentam uma técnica simples para análise de pórticos sujeitos a cargas gravitacionais considerando as seqüências de construção e carregamento. O modelo estrutural apresentado introduz conceitos de subestruturas ativas, inativas e desativadas, procurando representar as reais condições em que o pórtico é construído e carregado. A análise da estrutura completa é obtida considerando uma subestrutura de cada vez analisada do topo para a base do edifício. Calculam-se um pórtico de aço com 60 andares e um pórtico de concreto armado com 10 andares, submetidos somente a cargas gravitacionais, através de dois modelos diferentes: um modelo tradicional onde se considera o pórtico completo carregado de uma só vez e o modelo proposto neste trabalho considerando as seqüências de construção e carregamento. Comparam-se os resultados obtidos salientando os efeitos dos recalques diferenciais entre os pilares. Mostra-se que na análise de pórticos submetidos a cargas gravitacionais os recalques diferenciais entre os pilares e os momentos fletores originários destes recalques são muito significantes e não devem ser negligenciados. Mostra-se também que os resultados obtidos através dos dois modelos são discrepantes entre si. Isto justifica a necessidade de se trabalhar na análise de edifícios altos com modelos estruturais mais realistas onde se consideram as etapas de construção e carregamento.

FONTE e SORIANO (1989) apresentam um trabalho considerando a influência do efeito construtivo incremental em edifícios altos. Descrevem-se, inicialmente, em notação matricial, dois processos de cálculo de esforços em edifícios de comportamento elástico linear considerando o efeito construtivo incremental: um “de baixo para cima” (VASCONCELLOS FILHO, 1981) e outro “de cima para baixo” (CHOI e KIM, 1985). Dois pórticos planos em concreto armado, um de 16 e outro de 26 andares tratados em VASCONCELLOS FILHO (1981), são analisados através de modelos clássicos, modelos incrementais e modelos clássicos modificados. Os três primeiros modelos são: modelo I onde os pórticos são carregados de uma única vez considerando as deformações axiais; modelo II onde os pórticos são carregados de uma única vez desconsiderando as deformações axiais; modelo III onde os pórticos são carregados

segundo a concepção incremental andar por andar, considerando as deformações axiais. Os modelos seguintes consideram a estrutura como totalmente construída e carregada, com adoção de propriedades de rigidez fictícias para as colunas, com a idéia de aproximar os diagramas de deslocamentos nodais verticais diferenciais em cada andar dos relativos ao modelo III e em conseqüência obter esforços com melhor aproximação. Estes modelos são apresentados a seguir: modelo IV apresentando colunas com rigidez axial real nos quatro andares inferiores e axialmente indeformáveis nos demais andares; modelo V apresentando coluna central do pórtico com rigidez axial real nos seis andares inferiores e axialmente indeformável nos demais andares; modelo VI apresentando coluna central do pórtico com rigidez axial real nos oito andares inferiores e axialmente indeformável nos demais andares; modelo VII apresentando coluna central do pórtico com rigidez axial corrigida (ao longo da altura), levando em conta as tensões normais ao nível do centro de gravidade da seção transversal obtidas através de uma análise estática prévia. Comparam-se os resultados obtidos através dos diferentes modelos. Os modelos I e II, classicamente usados na análise de edifícios, apresentam-se como inadequados quando seus resultados são comparados com os do modelo III. Os modelos IV a VII apresentam resultados melhores, abrindo perspectiva de pesquisas na linha de “modelos clássicos modificados”. Recomenda-se o modelo III para análise de edifícios altos. Apresenta-se uma seqüência de construção e carregamento simplificada para o modelo III que, sem abrir mão da filosofia incremental, atenua bastante o trabalho do projetista.

KRIPKA (1990) estuda a importância da consideração da seqüência de carregamento e construção na análise de edifícios bem como as formas de melhor simular esta seqüência. Com esta finalidade, desenvolve-se um programa de computador, baseado no método dos deslocamentos, que efetua a análise de pórticos planos de edifícios tanto pelo procedimento convencional como pelo procedimento incremental construtivo. Este último permite a obtenção não apenas dos esforços finais como também dos desenvolvidos durante uma determinada etapa de construção, podendo-se reproduzir os efeitos do processo de escoramento e da construção das alvenarias ou ainda efetuar a pesquisa dos esforços extremos, entre outras facilidades. Analisam-se quatro exemplos de estruturas de diferentes números de andares, com dimensões e formas variadas, com ou sem deslocamentos diferenciais verticais entre os pilares. Em todas estas estruturas

verifica-se grande diferença entre os resultados obtidos por intermédio da análise incremental construtiva em comparação com os gerados pelo procedimento convencional de análise. Através dos exemplos analisados comprova-se que o procedimento convencional de análise conduz a resultados pouco confiáveis, sendo portanto o procedimento incremental indispensável para que se aproxime das reais condições a que as estruturas são submetidas.

PRADO et al. (1998a) analisam os efeitos das cargas de construção em estruturas de concreto armado usando modelos computacionais tridimensionais. Descreve-se um processo para a análise estrutural de edifícios de andares múltiplos em concreto armado. O processo considera a seqüência natural de construção, apresentando resultados mais exatos do que aqueles usualmente obtidos pelos modelos convencionais que consideram a estrutura concluída. O conhecimento das cargas que atuam nos andares durante a construção permite que se tenha uma visão do histórico dos esforços nos elementos estruturais do início ao fim da construção. Apresenta-se um modelo estrutural tridimensional (usando o método dos elementos finitos), onde se define uma seqüência de operações que permitem o desenvolvimento de um processo computacional visando a otimização da análise. Apresenta-se um exemplo numérico para ilustrar o processo proposto, considerando linearidade física e geométrica. Analisa-se seqüencialmente uma simples estrutura de quatro andares em concreto armado, considerando o uso de dois níveis escorados mais um nível reescorado, todos através de cinco escoras, com concretagem de um andar a cada sete dias. Considera-se também a variação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto em função da idade do mesmo. Apresentam-se históricos de esforços que atuam em alguns elementos estruturais do início até o final da construção. Comparam-se os resultados obtidos usando a análise seqüencial com os obtidos sem considerar a análise seqüencial. Conclui-se que o processo seqüencial proposto apresenta resultados mais precisos para a análise de estruturas de edifícios de andares múltiplos em concreto armado. Nota-se, entretanto, que a análise de um simples edifício com somente quatro andares requer doze processamentos de estruturas diferentes. Torna-se, portanto, necessário automatizar ao máximo os cálculos, a fim de minimizar o exaustivo trabalho de processar um número grande de estruturas diferentes.

PRADO et al. (1998b) apresentam um panorama sobre ações construtivas em estruturas de edifícios em concreto armado. Afirma-se que as análises de estruturas de edifícios em concreto armado submetidos a ações verticais geralmente são feitas considerando que toda a estrutura já existe quando estas ações são impostas. A princípio, esta hipótese é válida para as ações horizontais devidas ao vento e para as ações verticais aplicadas à estrutura quando totalmente concluída. Mas, para ações como o peso próprio, que são impostas gradualmente em vários estágios de construção, estas análises globais não são válidas. Neste caso, é conveniente que se considere a seqüência construtiva da edificação. Lembra-se que toda estrutura passa por diversas etapas do início ao término da construção. Apresenta-se um exemplo numérico comparando o modelo que considera a seqüência construtiva com o que considera a estrutura pronta. Apresentam-se modelos para determinação da distribuição das ações construtivas. Verifica-se que as ações atuantes durante as etapas de construção podem ser bastante diferentes das ações normalmente consideradas nos projetos. Afirma-se que estas ações construtivas freqüentemente atuam em idades iniciais do concreto, antes de seu total amadurecimento, tendo sido responsáveis por diversos casos de colapso estrutural. Diante de tudo isto, deixa-se claro que há muito a ser pesquisado na área de ações construtivas nas estruturas de edifícios em concreto armado.

COELHO (2003) analisa três pórticos planos diferentes, um com 16 e dois com 26 andares (um sem e outro com variação das seções transversais dos pilares e vigas). Os três pórticos são analisados através dos modelos clássicos SDA (sem deformação axial) e CDA (com deformação axial) e através do modelo EVOL (evolutivo), onde se consideram as etapas de construção e carregamento. Comparando os resultados obtidos através dos três modelos, observa-se uma grande discrepância entre eles. Verifica-se a influência da rigidez à flexão do vigamento e da rigidez axial dos pilares. Conclui-se que aumentar a rigidez axial dos pilares internos é mais viável para obter-se a convergência dos resultados obtidos para os três modelos do que diminuir a rigidez à flexão do vigamento. Conclui-se que as diferenças entre os modelos aumentam com a altura dos pórticos. Verifica-se que com a uniformização das tensões normais médias nos pilares em cada andar, os resultados obtidos para os três pórticos com os modelos SDA, CDA e EVOL convergem entre si.

MATEUS (2003) mostra que a escolha do modelo estrutural adequado na análise de edifícios altos é muito importante e que a adoção de modelos simplificados, que desconsideram as deformações axiais dos pilares e as etapas de construção e carregamento, pode levar o profissional da área a erros bastante graves. Analisa-se um edifício de 40 andares com lajes lisas, sem vigamento, através de quatro modelos distintos de cálculo estrutural. Um primeiro modelo, no qual os pilares são simulados por molas translacionais, é desenvolvido para mostrar a importância das deformações axiais nos pilares. Dois modelos clássicos (com e sem deformação axial dos pilares) nos quais a estrutura é suposta pronta e carregada simultaneamente são também apresentados e comparados com um quarto modelo que leva em consideração as etapas de construção e carregamento. Mostra-se no primeiro modelo que os esforços nas lajes podem variar ao longo da altura do edifício, o que sugere não ser adequado o uso de uma mesma armação para as diversas lajes-tipo. Os outros três modelos são comparados entre si com o objetivo de mostrar que o quarto modelo é superior aos demais. Verifica-se que os resultados obtidos para os três modelos são discrepantes entre si. Em todos os modelos é também pesquisada a influência da espessura da laje na redistribuição das cargas verticais nos pilares e, conseqüentemente, nos esforços solicitantes nas lajes.

CARVALHO e VASCONCELLOS FILHO (2003) analisam um edifício de 20 andares com lajes lisas, sem vigamento, através de três modelos estruturais distintos: modelo EVOL (evolutivo), onde os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída; modelo CDA, onde os pilares sofrem deformação axial e todas as lajes são carregadas simultaneamente após a estrutura concluída; modelo SDA, onde as deformações axiais dos pilares são impedidas e todas as lajes são carregadas simultaneamente após a estrutura concluída. Obtêm-se os valores dos momentos fletores M_x e M_y para dois elementos distintos em lajes de diversos andares e os valores das reações de apoio verticais dos pilares na fundação para os três modelos. Mostra-se que os resultados obtidos através dos três modelos diferem substancialmente entre si na estrutura analisada. Percebe-se, quando se utilizam modelos estruturais mais realistas, que a idéia da existência de um andar tipo ao longo de toda a altura do edifício não é verdadeira. Isto é verificado pela variação dos momentos fletores nas lajes ao longo da altura do edifício. Mostra-se também a

transferência de carga entre pilares que ocorre com modelos de cálculo que consideram a deformação axial dos pilares. Constata-se que modelos estruturais simplificados podem apresentar resultados não confiáveis. Conclui-se que é necessário e importante trabalhar com modelos estruturais mais realistas, entre os quais está o modelo de cálculo evolutivo (EVOL), para obter resultados mais próximos do real comportamento das estruturas.

O presente trabalho faz parte da linha de pesquisa Análise e Modelagem de Estruturas de Edifícios Altos existente no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG. Este trabalho difere dos anteriores por apresentar uma estrutura composta por lajes, vigas e pilares analisada tridimensionalmente através do método dos elementos finitos, considerando elementos de lajes, vigas e pilares.

3

ESTRUTURA ANALISADA

Neste trabalho analisa-se um edifício de andares múltiplos com as seguintes características:

- a) a estrutura é composta por 30 andares com pé direito de 3 metros;
- b) a estrutura tem dimensões em planta de 15m x 15m;
- c) a estrutura apresenta dois planos verticais de simetria;
- d) a estrutura não apresenta pilotis e subsolo;
- e) a estrutura possui casa de máquinas e caixa d'água situadas no seu topo;
- f) a estrutura é composta por lajes, vigas e pilares;
- g) consideram-se todos os pilares engastados na fundação;
- h) os nove pilares possuem a mesma seção de 110cm x 110cm ao longo de toda a altura do edifício;
- i) as vigas do perímetro são chamadas V1 e possuem seção de 20cm x 80cm em todos os andares;
- j) as vigas internas são chamadas V2 e possuem seção de 30cm x 80cm em todos os andares;
- k) as lajes têm espessura de 15cm em todos os andares.

As FIG.3.1 e FIG.3.2 mostram a estrutura analisada.

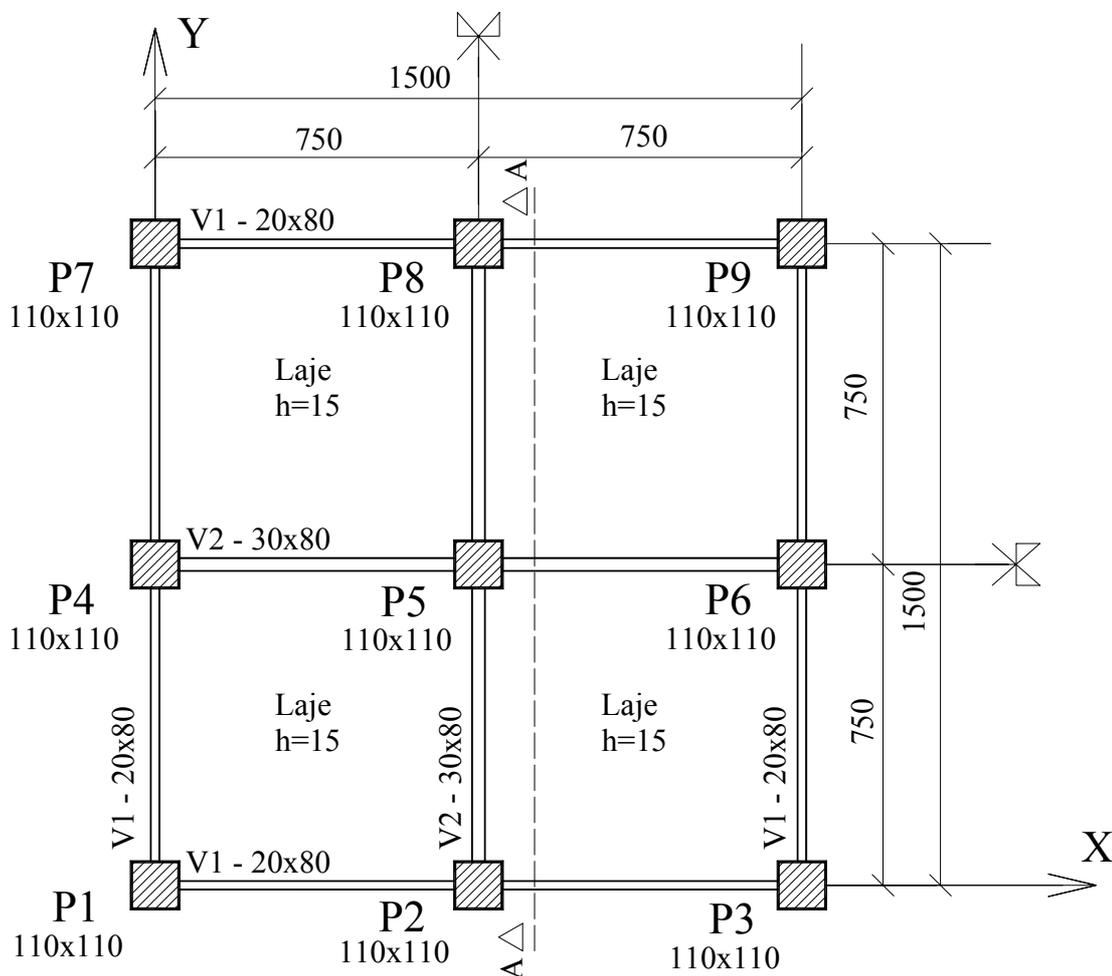


FIGURA 3.1- Planta do andar tipo (medidas e cotas em cm)

A estrutura é constituída de concreto armado. Não se considera a fissuração do concreto, sendo este tratado como um material elástico, linear e isotrópico, com as seguintes propriedades:

- módulo de elasticidade $E = 2,1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$;
- coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$;
- peso específico do concreto $\gamma_{\text{conc}} = 24 \text{ kN/m}^3$.

As divisórias são constituídas de alvenarias com 15cm de espessura e peso específico da alvenaria $\gamma_{alv} = 18 \text{ kN/m}^3$.

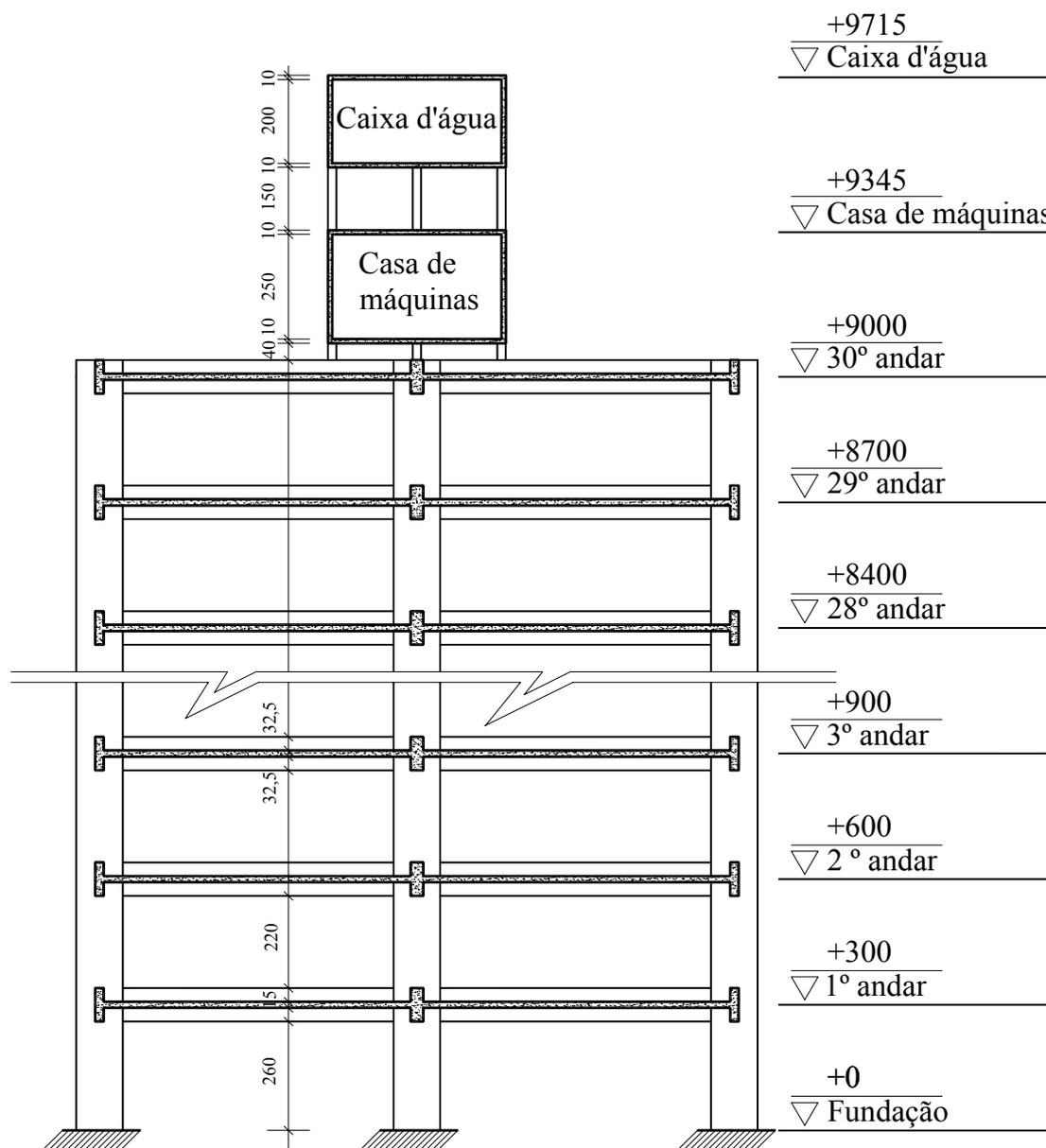


FIGURA 3.2- Corte A-A (medidas e cotas em cm)

4

MODELOS ESTRUTURAIS ANALISADOS

4.1 – Considerações

Analisa-se a estrutura através de quatro modelos estruturais tridimensionais distintos:

- a) modelo CDA (com deformação axial);
- b) modelo SDA (sem deformação axial);
- c) modelo EVOL (evolutivo);
- d) modelo EVOL+R (evolutivo mais realista).

Têm-se para os quatro modelos:

- a) consideram-se as cargas verticais nas lajes, vigas e pilares;
- b) não se consideram cargas laterais devido ao vento;
- c) não se aborda a questão da estabilidade lateral do edifício;
- d) considera-se a análise elástico-linear;
- e) nas vigas e pilares, além das deformações de flexão, de torção e axial, consideram-se também as deformações de cisalhamento;
- f) considera-se o centróide das seções transversais das vigas situado no plano médio das lajes.

Os modelos são analisados através do método dos elementos finitos, utilizando-se o programa *ANSYS* versão 6.1. Adotam-se os elementos finitos *BEAM4* para as vigas e pilares e *SHELL63* para as lajes. Discretiza-se a estrutura da seguinte forma:

- a) 100 elementos finitos de casca (*SHELL63*) com dimensões de 75cm x 75cm para cada um dos quatro painéis de laje, totalizando 400 elementos finitos de casca por andar;
- b) 10 elementos finitos de barra (*BEAM4*) com dimensão de 75cm para cada um dos doze vãos de viga, totalizando 120 elementos finitos de barra para as vigas por andar;
- c) 1 elemento finito de barra (*BEAM4*) com dimensão de 300cm para cada um dos nove trechos de pilar, totalizando 9 elementos finitos de barra para os pilares por andar;
- d) a estrutura completa apresenta um total de 15870 elementos finitos.

As FIG.4.1 e FIG.4.2 mostram a discretização utilizada.

ANSYS

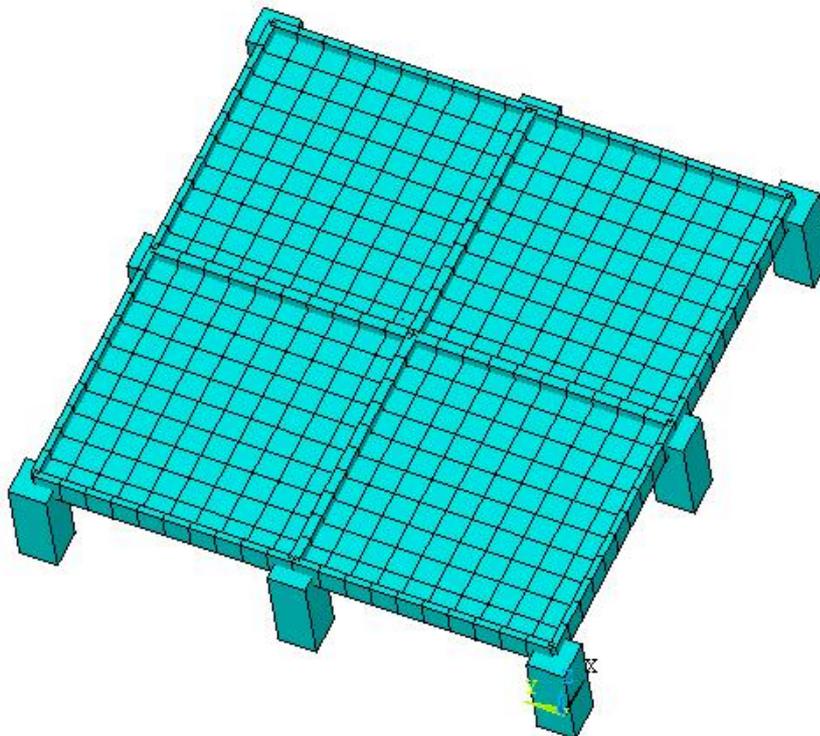


FIGURA 4.1 – Discretização utilizada para um andar

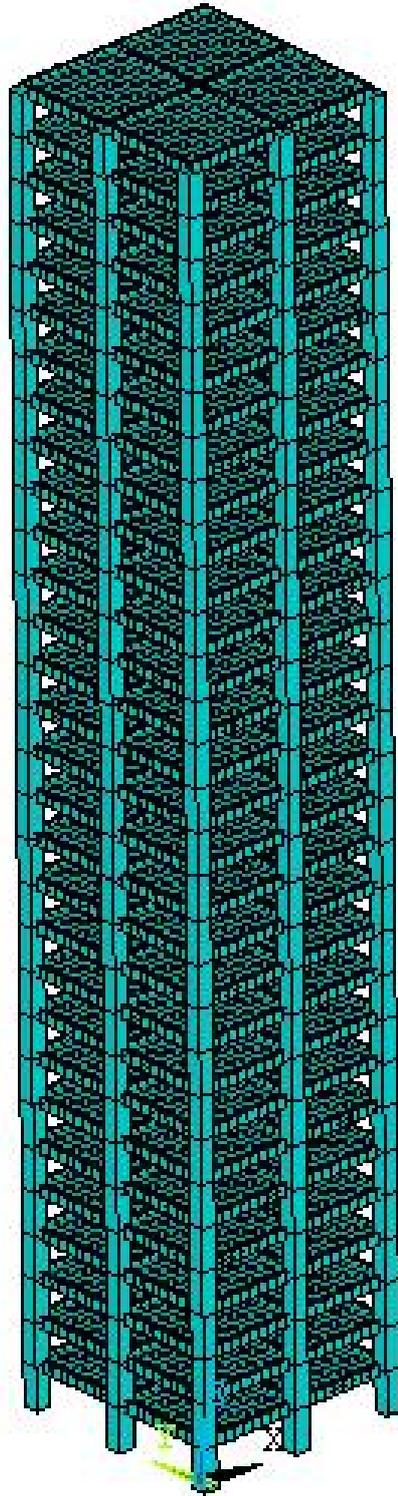
ANSYS

FIGURA 4.2 – Discretização utilizada para a estrutura completa

4.2 – Carregamento

Considera-se o mesmo carregamento final para todos os modelos. Porém estes se diferem pela seqüência em que o carregamento solicita a estrutura.

Para a determinação do carregamento, consideram-se as alvenarias dispostas conforme mostrado na FIG.4.3.

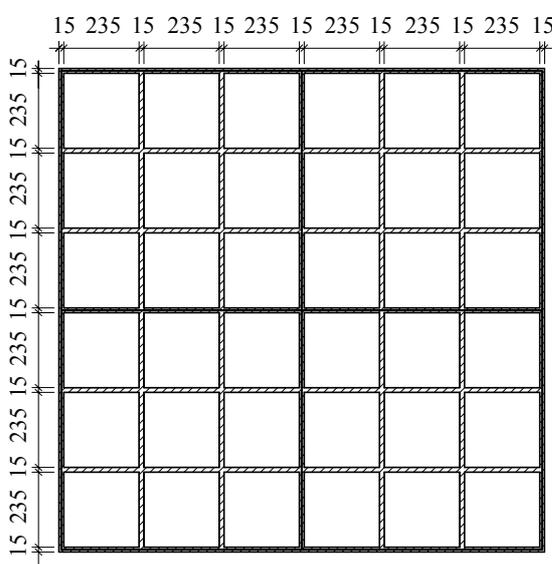


FIGURA 4.3 – Representação esquemática da disposição das alvenarias
(medidas em cm)

4.2.1 – Carregamento das lajes

Considera-se o seguinte carregamento para as lajes (espessura $h = 15\text{cm}$):

- | | | | |
|-------------------|---|---|--|
| a) peso próprio : | $0,15\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3$ | = | $3,60 \text{ kN/m}^2$ |
| b) revestimento : | $0,025\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3$ | = | $0,60 \text{ kN/m}^2$ |
| c) sobrecarga : | | = | $1,70 \text{ kN/m}^2$ |
| d) alvenaria : | $(4 \times 7,5\text{m} \times 0,15\text{m} \times 2,85\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3) /$
$(7,5\text{m} \times 7,5\text{m})$ | = | $4,10 \text{ kN/m}^2$ |
| | | | <u>$10,00 \text{ kN/m}^2$</u> |
- Carregamento total das lajes = $10,00 \text{ kN/m}^2$

4.2.2 – Carregamento das vigas

Considera-se o seguinte carregamento para as vigas V1 (20cm x 80cm):

$$\begin{aligned}
 \text{a) peso próprio} &: 0,20\text{m} \times 0,65\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 &= & 3,12 \text{ kN/m} \\
 \text{b) alvenaria} &: 0,15\text{m} \times 2,20\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3 &= & 5,94 \text{ kN/m} \\
 \text{Carregamento total das vigas V1} &&= & \underline{9,06 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

Considera-se o seguinte carregamento para as vigas V2 (30cm x 80cm):

$$\begin{aligned}
 \text{a) peso próprio} &: 0,30\text{m} \times 0,65\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 &= & 4,68 \text{ kN/m} \\
 \text{b) alvenaria} &: 0,15\text{m} \times 2,20\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3 &= & 5,94 \text{ kN/m} \\
 \text{Carregamento total das vigas V2} &&= & \underline{10,62 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

4.2.3 – Carregamento dos pilares

Considera-se o seguinte carregamento para os pilares (110cm x 110cm):

$$\text{a) peso próprio} : 1,10\text{m} \times 1,10\text{m} \times 2,85\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \quad \cong \quad 83 \text{ kN}$$

Observação: o peso próprio de 83 kN refere-se a apenas um trecho de pilar.

Considera-se o peso próprio do trecho de pilar dividido em duas forças concentradas de mesmo valor atuando nos nós extremos do elemento finito de pilar. Sendo assim, cada nó extremo de elemento de pilar está sujeito a uma força concentrada de 83 kN, com exceção dos níveis térreo (T) e 3º, os quais estão submetidos a uma força concentrada de 41,5 kN.

A FIG.4.4 mostra o peso próprio dos pilares.

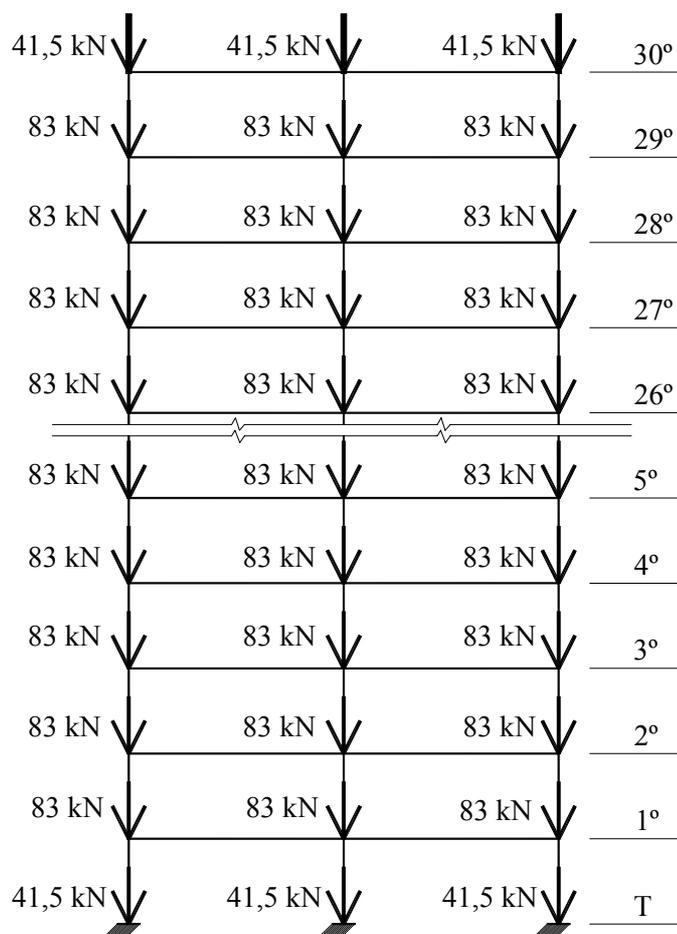


FIGURA 4.4 – Representação esquemática do peso próprio dos pilares

4.2.4 – Carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água

4.2.4.1 – Carregamento devido à casa de máquinas

A FIG.4.5 mostra a casa de máquinas em planta e corte.

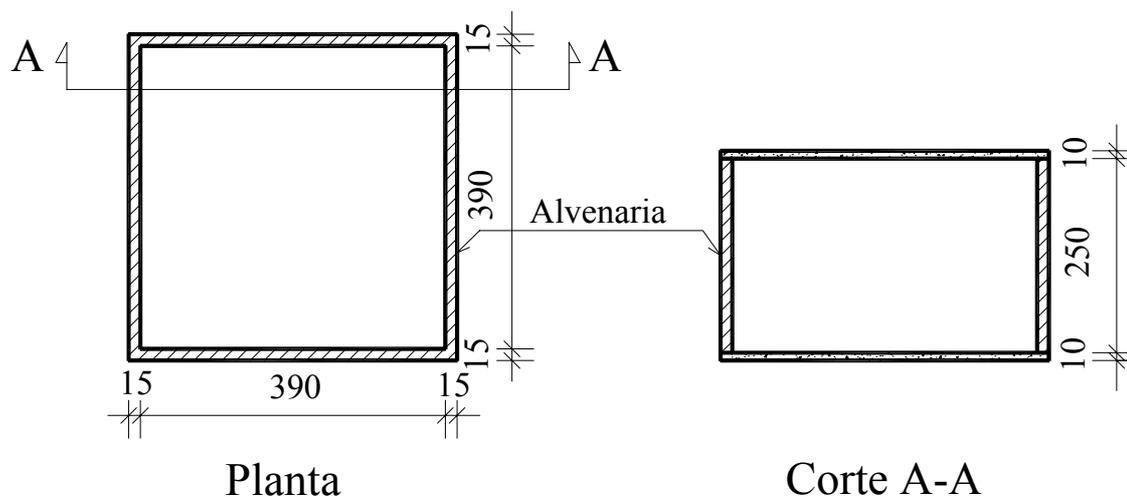


FIGURA 4.5 – Casa de máquinas – planta e corte (medidas em cm)

Considera-se o seguinte carregamento para a casa de máquinas:

a) peso próprio	: $2 \times 4,20\text{m} \times 4,20\text{m} \times 0,10\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3$	=	84,67 kN
b) alvenaria	: $4 \times 4,05\text{m} \times 2,50\text{m} \times 0,15\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3$	=	109,35 kN
c) sobrecarga inferior	: $3,90\text{m} \times 3,90\text{m} \times 3,5 \text{ kN/m}^2$	=	53,24 kN
d) sobrecarga superior	: $4,20\text{m} \times 4,20\text{m} \times 0,5 \text{ kN/m}^2$	=	8,82 kN
Carregamento total da casa de máquinas			$\cong \frac{\quad}{\quad} 256 \text{ kN}$

4.2.4.2 – Carregamento devido à caixa d'água

A FIG.4.6 mostra a caixa d'água em planta e corte.

Considera-se o seguinte carregamento para a caixa d'água:

a) peso da água	: $4,00\text{m} \times 4,00\text{m} \times 2,00\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3$	=	320,00 kN
b) peso próprio	: $[(4,20\text{m} \times 4,20\text{m} \times 2,20\text{m}) - 32\text{m}^3] \times 24 \text{ kN/m}^3$	=	163,39 kN
c) sobrecarga superior	: $4,20\text{m} \times 4,20\text{m} \times 1 \text{ kN/m}^2$	=	17,64 kN
Carregamento total da caixa d'água			$\cong \frac{\quad}{\quad} 500 \text{ kN}$

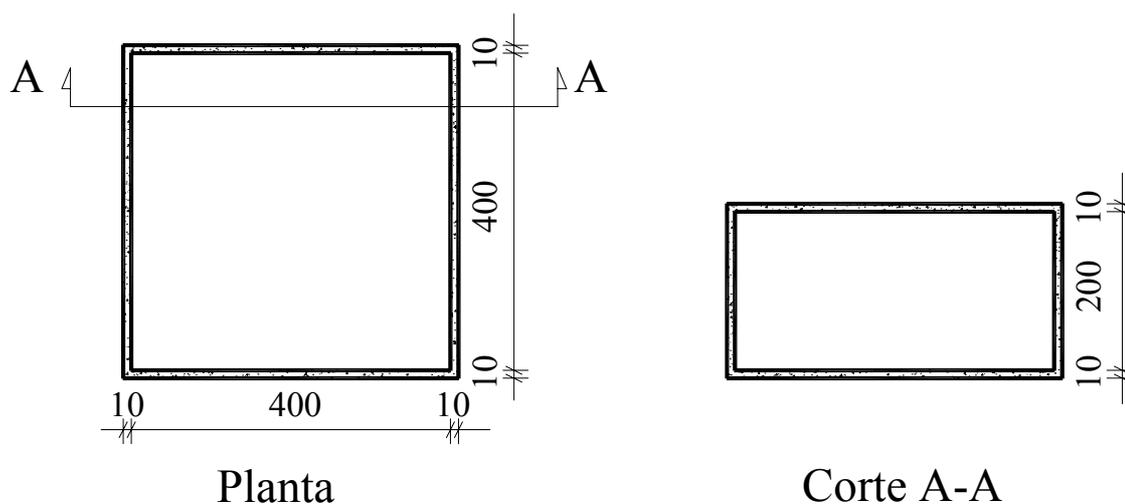


FIGURA 4.6 – Caixa d'água – planta e corte (medidas em cm)

4.2.4.3 – Carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água

O carregamento total devido à casa de máquinas e caixa d'água é dado pela seguinte soma: $256 \text{ kN} + 500 \text{ kN} = 756 \text{ kN}$.

A casa de máquinas e caixa d'água encontram-se apoiadas em quatro pilares, os quais se apoiam nas vigas V2 do último andar. Sendo assim, cada pilar transmite à viga V2 uma força concentrada de valor igual a $756 \text{ kN} / 4 = 189 \text{ kN} \cong 190 \text{ kN}$.

4.3 – Modelo CDA

No modelo CDA os pilares sofrem deformação axial e todo o carregamento atua simultaneamente após a estrutura concluída. Usam-se os valores totais dos carregamentos conforme mostrado em 4.2:

- a) lajes: 10 kN/m^2 ;
- b) vigas V1: $9,06 \text{ kN/m}$;
- c) vigas V2: $10,62 \text{ kN/m}$;
- d) pilares: conforme FIG.4.4;

e) casa de máquinas e caixa d'água: quatro forças concentradas de 190 kN cada, atuando nas vigas V2 do último andar.

O modelo CDA é um modelo clássico, amplamente usado em escritórios de cálculo estrutural.

4.4 – Modelo SDA

No modelo SDA desprezam-se as deformações axiais dos pilares e todo o carregamento atua simultaneamente após a estrutura concluída. Usam-se os valores totais dos carregamentos conforme mostrado em 4.2:

- a) lajes: 10 kN/m²;
- b) vigas V1: 9,06 kN/m;
- c) vigas V2: 10,62 kN/m;
- d) pilares: conforme FIG.4.4;
- e) casa de máquinas e caixa d'água: quatro forças concentradas de 190 kN cada, atuando nas vigas V2 do último andar.

No modelo SDA, com o objetivo de desprezar as deformações axiais dos pilares, impede-se os deslocamentos verticais em todos os nós dos elementos de pilar.

O modelo SDA também é um modelo clássico amplamente utilizado em escritórios de cálculo estrutural. Equivale ao método de se calcular um andar tipo e, depois deste calculado, fazer a descida de carga através dos pilares até a fundação.

4.5 – Modelo EVOL

A consideração utilizada nos modelos clássicos CDA e SDA que todos os carregamentos solicitam simultaneamente a estrutura somente após esta estar pronta não é realista. Na realidade, o único carregamento que só solicita a estrutura pronta é a carga

acidental (sobrecarga), sendo que todos os demais carregamentos solicitam ou podem solicitar a estrutura parcialmente construída.

Nos modelos clássicos CDA e SDA, como todo o carregamento atua simultaneamente após a estrutura concluída, ocorrem, por exemplo, as seguintes situações:

- a) o peso próprio do 1º andar afeta os esforços na estrutura do 30º andar;
- b) a estrutura do 30º andar ajuda a resistir a qualquer recalque diferencial ocorrido antes dela estar construída.

Estas situações são questionáveis. Não é possível o peso próprio do 1º andar afetar os esforços na estrutura do 30º andar, visto que quando esta carga é introduzida o 30º andar ainda não foi construído. Da mesma forma, não é possível a estrutura do 30º andar ajudar a resistir aos recalques diferenciais ocorridos antes dela estar concluída. Vê-se claramente que estas situações, apesar de ocorrerem nos modelos clássicos CDA e SDA, não correspondem à realidade.

Percebe-se, pelas situações levantadas, a necessidade de se utilizarem modelos estruturais mais realistas nos quais a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída. Isto é o que se pretende fazer no modelo de cálculo evolutivo.

O modelo de cálculo evolutivo leva em consideração as diversas etapas de construção e carregamento. Nele a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída.

No modelo de cálculo evolutivo, um esforço E_{ij} qualquer, devido ao carregamento número j , deve ser calculado obrigatoriamente na primeira estrutura parcialmente construída capaz de suportá-lo. Com isto, um elemento estrutural que esteja desde o primeiro instante na estrutura sofre os efeitos de todos os carregamentos solicitantes. Porém, um elemento estrutural construído posteriormente somente é afetado por carregamentos colocados na estrutura após a sua construção.

No modelo de cálculo evolutivo, um deslocamento qualquer Δ_{ij} em determinado elemento estrutural, devido ao carregamento número j , é calculado a partir da posição

em que este elemento estrutural foi construído, sendo aí considerado nulo. Calculam-se apenas os deslocamentos provocados pelos carregamentos colocados na estrutura após a construção do elemento estrutural. Assim sendo, os deslocamentos de um elemento estrutural que esteja desde o primeiro instante na estrutura sofrem os efeitos de todos os carregamentos solicitantes. Porém, os deslocamentos de um elemento estrutural construído posteriormente somente são afetados por carregamentos colocados na estrutura após a sua construção.

O modelo de cálculo evolutivo permite que se tenha um histórico de esforços e deslocamentos a partir do momento que o elemento é colocado na estrutura e carregado pela primeira vez. Este histórico permite verificar em que etapa de construção e carregamento o elemento é mais solicitado e quais os valores dos esforços e/ou deslocamentos que atuam sobre o elemento naquele instante. Este histórico é muito importante pois nem sempre a situação mais desfavorável para um determinado elemento estrutural ocorre quando a estrutura está concluída e com o carregamento final atuando.

O modelo de cálculo evolutivo também permite que se considerem vários fatores que influem no comportamento da estrutura, entre os quais podem-se citar:

- a) etapas de construção;
- b) etapas de carregamento;
- c) escoramento de lajes;
- d) áreas de depósito de materiais durante a construção;
- e) cargas de montagem em geral.

Quanto maior o número de informações incorporadas ao modelo que retratem a realidade, tais como uma seqüência exata dos carregamentos devidos a peso próprio, alvenaria, revestimento, sobrecarga, etc, entre outras informações, mais realista será o modelo.

Neste trabalho o modelo de cálculo evolutivo é chamado de modelo EVOL (evolutivo).

No modelo EVOL os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída. Calculam-se 30 estruturas submetidas a 30 carregamentos em níveis diferentes. Como a análise é linear, pode-se aplicar o princípio da superposição dos efeitos para se obterem os valores dos esforços nas estruturas.

A estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída usando-se os valores totais dos carregamentos conforme mostrado em 4.2:

- a) lajes: 10 kN/m^2 ;
- b) vigas V1: $9,06 \text{ kN/m}$;
- c) vigas V2: $10,62 \text{ kN/m}$;
- d) pilares: conforme FIG.4.4;
- e) casa de máquinas e caixa d'água: quatro forças concentradas de 190 kN cada, atuando nas vigas V2 do último andar.

A TAB.4.1 mostra um resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam. Considera-se o termo carregamento completo como sendo os valores totais dos carregamentos das lajes, vigas V1, vigas V2 e pilares. Considera-se o termo cm+cx como sendo o carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água.

TABELA 4.1 – Resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL

Estrutura	Carregamento	Descrição do carregamento
1	1	completo no 1º andar
2	2	completo no 2º andar
3	3	completo no 3º andar
4	4	completo no 4º andar
5	5	completo no 5º andar
6	6	completo no 6º andar
7	7	completo no 7º andar
8	8	completo no 8º andar
9	9	completo no 9º andar
10	10	completo no 10º andar
11	11	completo no 11º andar
12	12	completo no 12º andar
13	13	completo no 13º andar
14	14	completo no 14º andar
15	15	completo no 15º andar
16	16	completo no 16º andar
17	17	completo no 17º andar
18	18	completo no 18º andar
19	19	completo no 19º andar
20	20	completo no 20º andar
21	21	completo no 21º andar
22	22	completo no 22º andar
23	23	completo no 23º andar
24	24	completo no 24º andar
25	25	completo no 25º andar
26	26	completo no 26º andar
27	27	completo no 27º andar
28	28	completo no 28º andar
29	29	completo no 29º andar
30	30	completo no 30º andar + cm+cx no 30º andar

A FIG.4.7 apresenta um esquema das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL. Nesta figura, o carregamento completo é representado simbolicamente por uma carga uniformemente distribuída. Omitem-se as estruturas e carregamentos 4 a 29 por analogia às estruturas e aos carregamentos já apresentados.

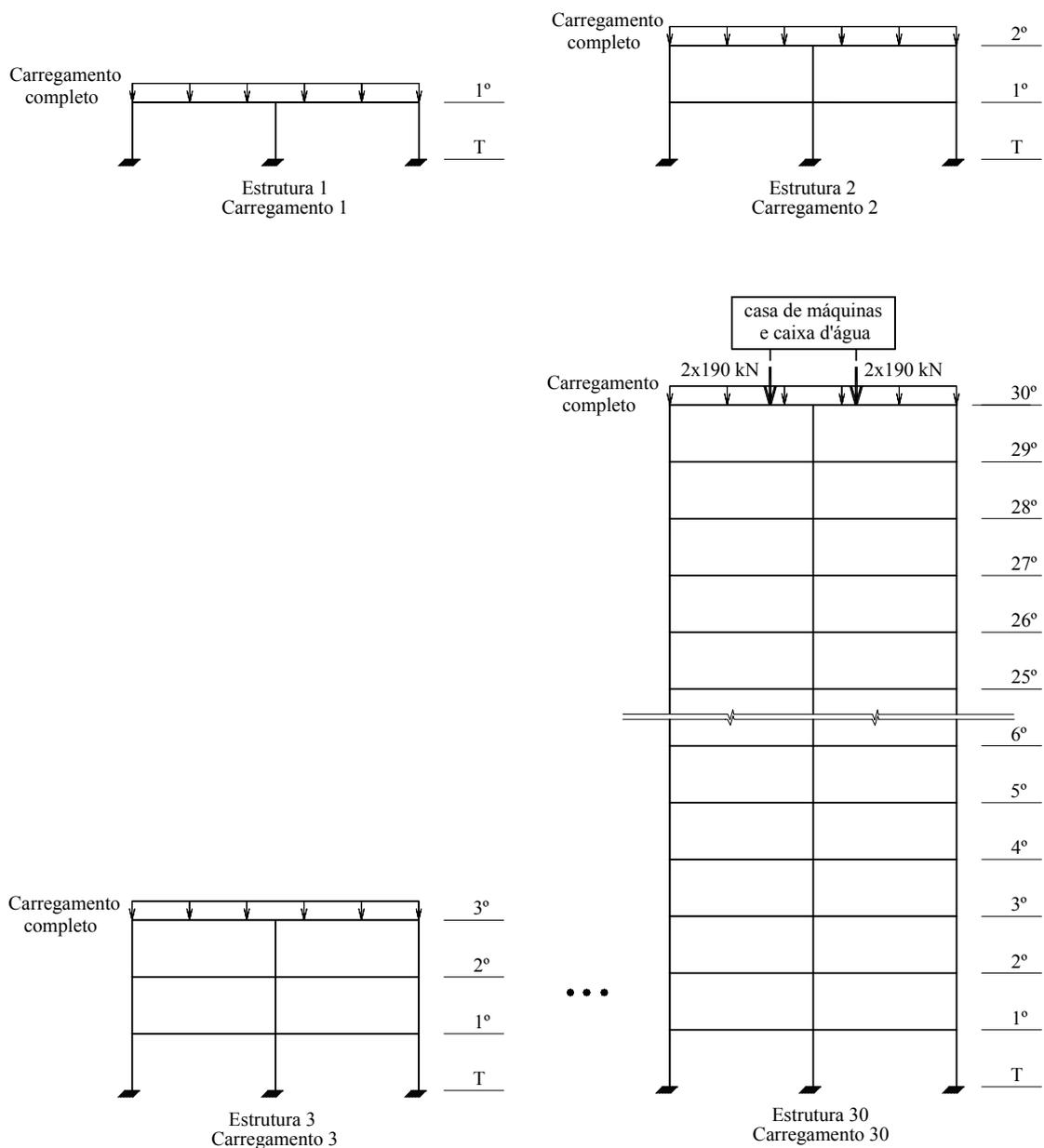


FIGURA 4.7 – Representação esquemática das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL

Observa-se que a soma de todos os carregamentos (1 a 30) resulta no carregamento final da estrutura.

4.6 – Modelo EVOL+R

O modelo EVOL+R (evolutivo mais realista) mantém as mesmas premissas do modelo EVOL (evolutivo). Também no modelo EVOL+R os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída.

O modelo EVOL+R, como o próprio nome já diz, é um modelo mais realista. Neste modelo as etapas de construção e carregamento são mais próximas da realidade. Além disto, consideram-se os efeitos de escoramento (cargas de montagem) e de áreas de armazenamento de materiais durante a construção.

No modelo EVOL+R calculam-se 30 estruturas submetidas a 33 carregamentos diferentes. Como a análise é linear, pode-se aplicar o princípio da superposição dos efeitos para se obterem os valores dos esforços nas estruturas.

Consideram-se os seguintes carregamentos, conforme mostrado em 4.2:

a) Lajes:

$$pp = \text{peso próprio} = 3,60 \text{ kN/m}^2$$

$$alv = \text{alvenaria + revestimento} = 4,70 \text{ kN/m}^2$$

$$sc = \text{sobrecarga} = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

$$sct = \text{sobrecarga temporária} = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

Considera-se que nas lajes os carregamentos devidos à alvenaria e ao revestimento entram juntos na estrutura sob a denominação alv.

Considera-se que durante a construção a laje do primeiro andar seja utilizada como uma área de armazenamento de materiais, atribuindo-se a ela uma sobrecarga temporária (sct) de $4,00 \text{ kN/m}^2$.

b) Vigas V1:

$$pp = \text{peso próprio} = 3,12 \text{ kN/m}$$

$$alv = \text{alvenaria} = 5,94 \text{ kN/m}$$

c) Vigas V2:

$$pp = \text{peso próprio} = 4,68 \text{ kN/m}$$

$$alv = \text{alvenaria} = 5,94 \text{ kN/m}$$

d) Pilares:

$$pp = \text{peso próprio de um trecho} = 83 \text{ kN}$$

O carregamento dos pilares é mostrado na FIG.4.4.

e) Casa de máquinas e caixa d'água:

$cm+cx$ = carregamento devido à casa de máquinas e caixa d'água = quatro forças concentradas de 190 kN cada, atuando nas vigas V2 do último andar.

Para melhor entendimento da seqüência de carregamento adotada no modelo EVOL+R, usam-se as convenções mostradas na FIG.4.8.

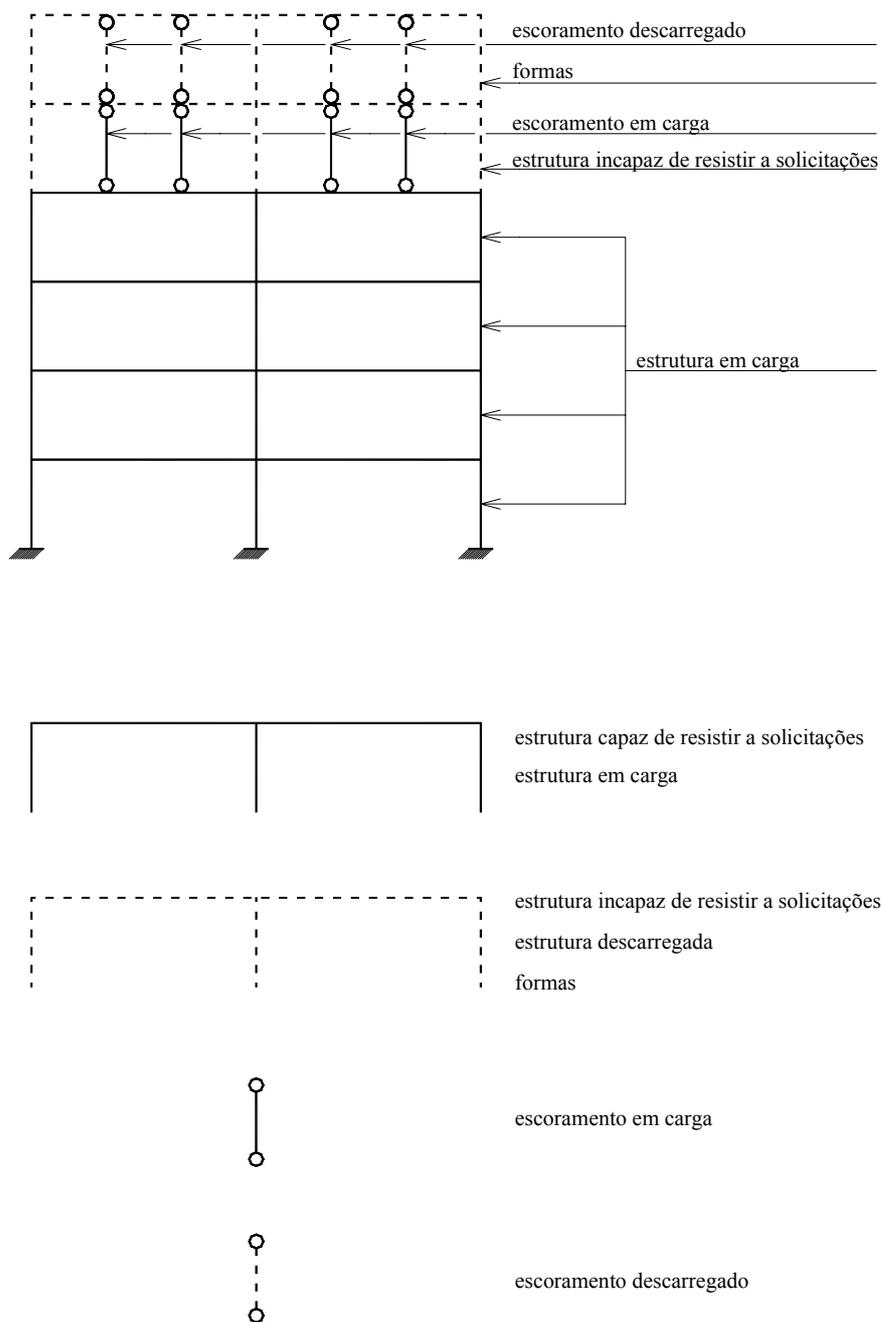


FIGURA 4.8 – Convenções adotadas no modelo EVOL+R

As FIG.4.9, FIG.4.10 e FIG.4.11 representam esquematicamente as diversas etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R. Nelas foram omitidas as figuras correspondentes às estruturas e aos carregamentos 6 a 28, devido à analogia existente com as estruturas e carregamentos mostrados anteriormente.

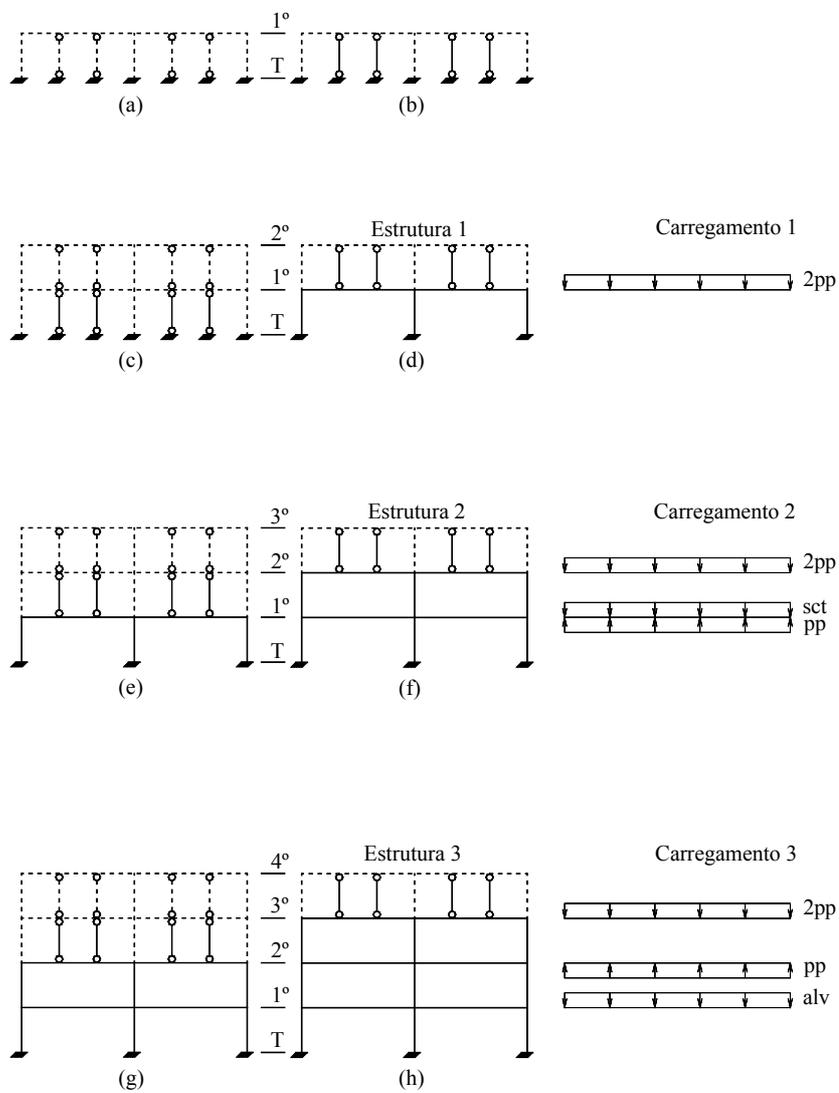


FIGURA 4.9 – Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R

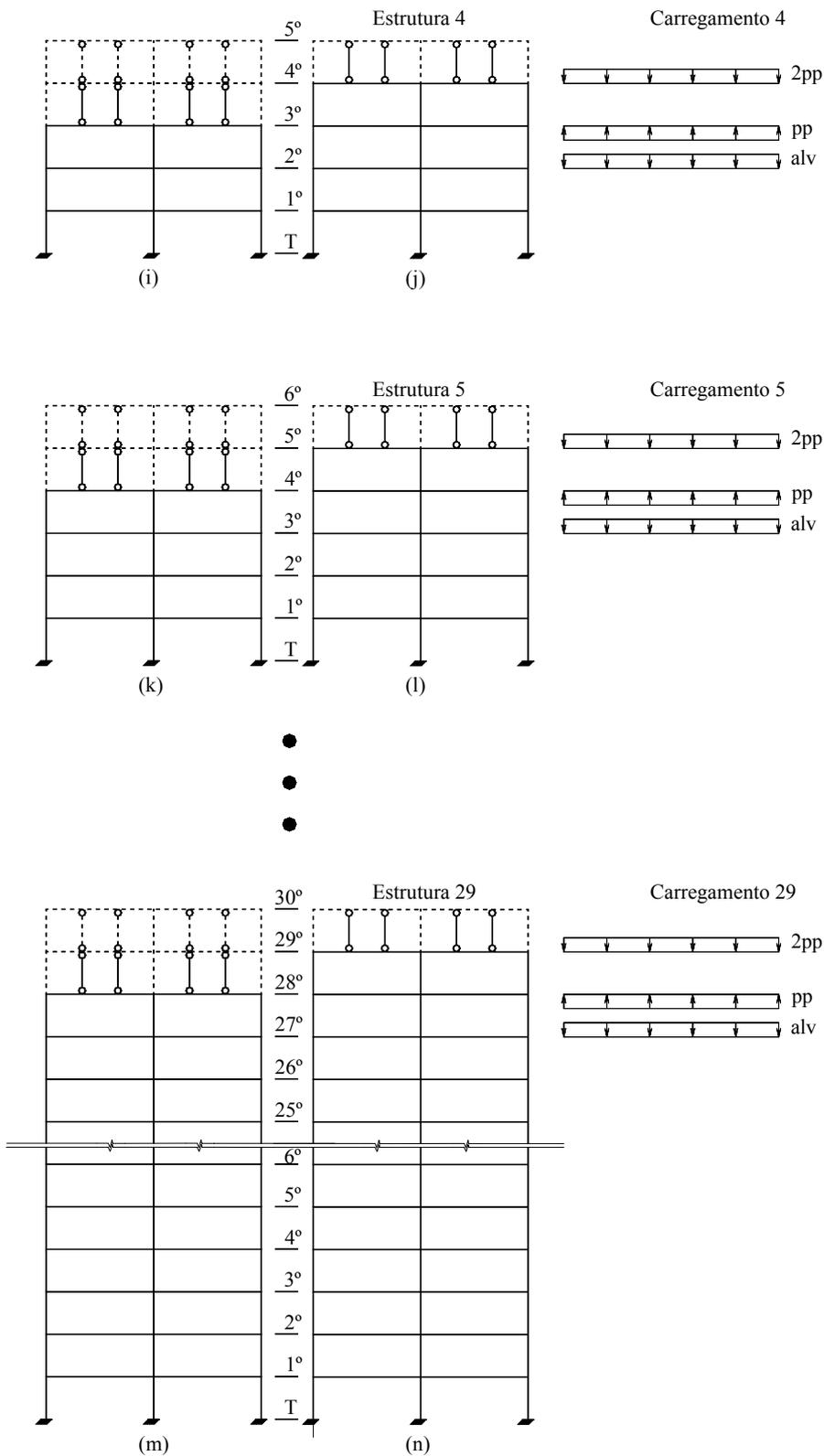


FIGURA 4.10 – Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R

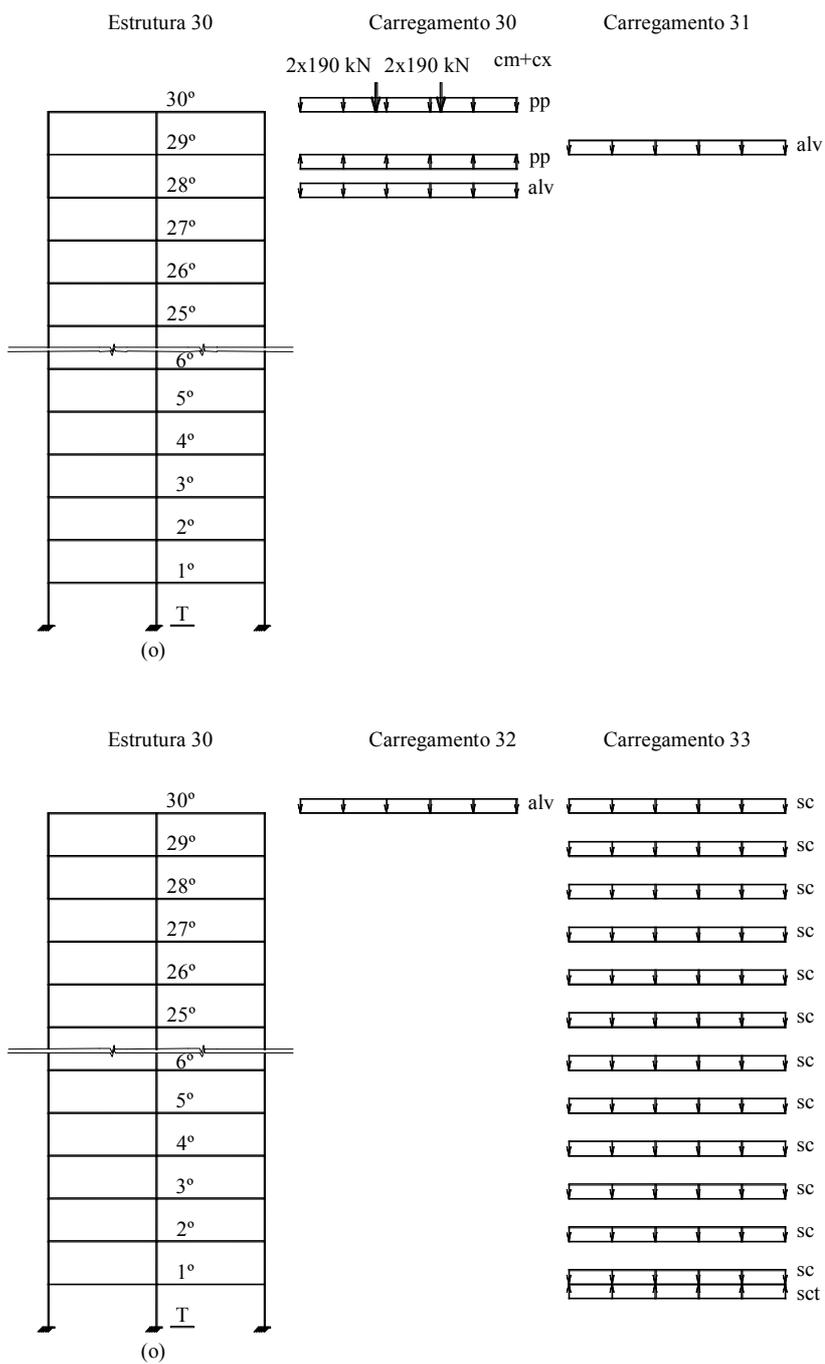


FIGURA 4.11 – Representação esquemática das etapas de construção e carregamento do modelo EVOL+R

Com o objetivo de esclarecer melhor as etapas de construção e carregamento adotadas no modelo EVOL+R fazem-se os seguintes comentários a respeito da FIG.4.9:

a) etapa a

- a.1) o peso próprio das formas, que é uma carga de montagem, foi desprezado;
- a.2) o escoramento do 1º andar está descarregado;
- a.3) a forma do 1º andar está pronta;
- a.4) o 1º andar ainda não foi concretado;

b) etapa b

- b.1) o escoramento do 1º andar está em carga;
- b.2) o 1º andar já foi concretado;
- b.3) a estrutura do 1º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- b.4) o peso próprio do 1º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo solo;

c) etapa c

- c.1) o escoramento do 2º andar está descarregado;
- c.2) a forma do 2º andar está pronta;
- c.3) o 2º andar ainda não foi concretado;
- c.4) a estrutura do 1º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

d) etapa d

- d.1) o escoramento do 2º andar está em carga;
- d.2) o 2º andar já foi concretado;
- d.3) a estrutura do 2º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- d.4) a estrutura do 1º andar já é capaz de resistir a solicitações;
- d.5) o escoramento do 1º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o solo e carregando o 1º andar;
- d.6) o peso próprio do 2º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 1º andar;

e) etapa e

- e.1) o escoramento do 3º andar está descarregado;
- e.2) a forma do 3º andar está pronta;
- e.3) o 3º andar ainda não foi concretado;
- e.4) a estrutura do 2º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

f) etapa f

- f.1) o escoramento do 3º andar está em carga;
- f.2) o 3º andar já foi concretado;
- f.3) a estrutura do 3º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- f.4) a estrutura do 2º andar já é capaz de resistir a solicitações;
- f.5) o escoramento do 2º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 1º andar e carregando o 2º andar;
- f.6) o peso próprio do 3º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 2º andar;
- f.7) o 1º andar, que será utilizado como uma área de armazenamento de materiais, é carregado com uma sobrecarga temporária de $4,00 \text{ kN/m}^2$;
- f.8) os pesos próprios dos andares e a sobrecarga temporária no 1º andar são as únicas cargas de montagem consideradas neste modelo;

g) etapa g

- g.1) o escoramento do 4º andar está descarregado;
- g.2) a forma do 4º andar está pronta;
- g.3) o 4º andar ainda não foi concretado;
- g.4) a estrutura do 3º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

h) etapa h

- h.1) o escoramento do 4º andar está em carga;
- h.2) o 4º andar já foi concretado;
- h.3) a estrutura do 4º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- h.4) a estrutura do 3º andar já é capaz de resistir a solicitações;

- h.5) o escoramento do 3º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 2º andar e carregando o 3º andar;
- h.6) o peso próprio do 4º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 3º andar;
- h.7) as alvenarias do 1º andar são construídas;

Em relação à FIG.4.10 fazem-se os seguintes comentários:

i) etapa i

- i.1) o escoramento do 5º andar está descarregado;
- i.2) a forma do 5º andar está pronta;
- i.3) o 5º andar ainda não foi concretado;
- i.4) a estrutura do 4º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

j) etapa j

- j.1) o escoramento do 5º andar está em carga;
- j.2) o 5º andar já foi concretado;
- j.3) a estrutura do 5º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- j.4) a estrutura do 4º andar já é capaz de resistir a solicitações;
- j.5) o escoramento do 4º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 3º andar e carregando o 4º andar;
- j.6) o peso próprio do 5º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 4º andar;
- j.7) as alvenarias do 2º andar são construídas;

k) etapa k

- k.1) o escoramento do 6º andar está descarregado;
- k.2) a forma do 6º andar está pronta;
- k.3) o 6º andar ainda não foi concretado;
- k.4) a estrutura do 5º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

l) etapa l

- l.1) o escoramento do 6º andar está em carga;
- l.2) o 6º andar já foi concretado;
- l.3) a estrutura do 6º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- l.4) a estrutura do 5º andar já é capaz de resistir a solicitações;
- l.5) o escoramento do 5º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 4º andar e carregando o 5º andar;
- l.6) o peso próprio do 6º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 5º andar;
- l.7) as alvenarias do 3º andar são construídas;

m) etapa m

- m.1) o escoramento do 30º andar está descarregado;
- m.2) a forma do 30º andar está pronta;
- m.3) o 30º andar ainda não foi concretado;
- m.4) a estrutura do 29º andar ainda é incapaz de resistir a solicitações;

n) etapa n

- n.1) o escoramento do 30º andar está em carga;
- n.2) o 30º andar já foi concretado;
- n.3) a estrutura do 30º andar é incapaz de resistir a solicitações;
- n.4) a estrutura do 29º andar já é capaz de resistir a solicitações;
- n.5) o escoramento do 29º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 28º andar e carregando o 29º andar;
- n.6) o peso próprio do 30º andar, que é uma carga de montagem, é suportado pelo 29º andar;
- n.7) as alvenarias do 27º andar são construídas;

Em relação à FIG.4.11 fazem-se os seguintes comentários:

o) etapa o

- o.1) a estrutura do 30º andar já é capaz de resistir a solicitações;

- o.2) o escoramento do 30º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 29º andar e carregando o 30º andar;
- o.3) a casa de máquinas e caixa d'água são construídas sobre o 30º andar; as ações resultantes da construção da casa de máquinas e caixa d'água são representadas por 4 forças concentradas de 190 kN cada, conforme mostrado no carregamento 30;
- o.4) as alvenarias do 28º andar são construídas;
- o.5) as alvenarias do 29º andar são construídas;
- o.6) as alvenarias do 30º andar são construídas;
- o.7) a sobrecarga é aplicada simultaneamente em todos os andares;
- o.8) retira-se a sobrecarga temporária do 1º andar, aliviando o mesmo.

A TAB.4.2 mostra um resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam.

TABELA 4.2 - Resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam no modelo EVOL+R

Estrutura	Carreg.	Descrição do carregamento					
1	1	2pp no 1°					
2	2	2pp no 2°	-pp no 1°			sct no 1°	
3	3	2pp no 3°	-pp no 2°	alv no 1°			
4	4	2pp no 4°	-pp no 3°	alv no 2°			
5	5	2pp no 5°	-pp no 4°	alv no 3°			
6	6	2pp no 6°	-pp no 5°	alv no 4°			
7	7	2pp no 7°	-pp no 6°	alv no 5°			
8	8	2pp no 8°	-pp no 7°	alv no 6°			
9	9	2pp no 9°	-pp no 8°	alv no 7°			
10	10	2pp no 10°	-pp no 9°	alv no 8°			
11	11	2pp no 11°	-pp no 10°	alv no 9°			
12	12	2pp no 12°	-pp no 11°	alv no 10°			
13	13	2pp no 13°	-pp no 12°	alv no 11°			
14	14	2pp no 14°	-pp no 13°	alv no 12°			
15	15	2pp no 15°	-pp no 14°	alv no 13°			
16	16	2pp no 16°	-pp no 15°	alv no 14°			
17	17	2pp no 17°	-pp no 16°	alv no 15°			
18	18	2pp no 18°	-pp no 17°	alv no 16°			
19	19	2pp no 19°	-pp no 18°	alv no 17°			
20	20	2pp no 20°	-pp no 19°	alv no 18°			
21	21	2pp no 21°	-pp no 20°	alv no 19°			
22	22	2pp no 22°	-pp no 21°	alv no 20°			
23	23	2pp no 23°	-pp no 22°	alv no 21°			
24	24	2pp no 24°	-pp no 23°	alv no 22°			
25	25	2pp no 25°	-pp no 24°	alv no 23°			
26	26	2pp no 26°	-pp no 25°	alv no 24°			
27	27	2pp no 27°	-pp no 26°	alv no 25°			
28	28	2pp no 28°	-pp no 27°	alv no 26°			
29	29	2pp no 29°	-pp no 28°	alv no 27°			
30	30	pp no 30°	-pp no 29°	alv no 28°	cm + cx no 30°		
30	31			alv no 29°			
30	32			alv no 30°			
30	33					-sct no 1°	sc do 1° ao 30°

5

COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS EVOL, CDA E SDA

Neste capítulo comparam-se os resultados obtidos através dos modelos EVOL, CDA e SDA. Analisam-se as seguintes grandezas (referir-se à FIG.3.1):

- a) momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central;
- b) momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central;
- c) momentos fletores positivos máximos das vigas V1;
- d) momentos fletores positivos máximos das vigas V2;
- e) momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes;
- f) momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes;
- g) forças axiais no pilar P5;
- h) reações de apoio verticais na fundação;
- i) recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5.

Adota-se a seguinte convenção de sinais para os momentos fletores das vigas e lajes: positivos quando tracionam as fibras inferiores e negativos quando tracionam as fibras superiores.

5.1 – Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central

Obtêm-se os valores dos momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.1.

TABELA 5.1 – Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores das vigas V1 junto ao pilar central (kN.m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	-119,40	-119,21	-128,33
2°	-110,12	-110,44	-128,22
3°	-101,03	-102,07	-128,14
4°	-92,70	-94,15	-128,14
5°	-85,16	-86,62	-128,15
6°	-78,39	-79,44	-128,15
7°	-72,40	-72,62	-128,15
8°	-67,15	-66,14	-128,15
9°	-62,66	-60,00	-128,15
10°	-58,89	-54,18	-128,15
11°	-55,85	-48,69	-128,15
12°	-53,51	-43,51	-128,15
13°	-51,86	-38,64	-128,15
14°	-50,89	-34,07	-128,15
15°	-50,59	-29,79	-128,15
16°	-50,94	-25,81	-128,15
17°	-51,93	-22,10	-128,15
18°	-53,55	-18,67	-128,15
19°	-55,78	-15,52	-128,15
20°	-58,62	-12,63	-128,15
21°	-62,04	-10,01	-128,15
22°	-66,05	-7,65	-128,15
23°	-70,63	-5,55	-128,15
24°	-75,78	-3,70	-128,15
25°	-81,49	-2,11	-128,15
26°	-87,75	-0,78	-128,15
27°	-94,54	0,35	-128,13
28°	-101,89	1,42	-128,00
29°	-110,08	1,56	-128,25
30°	-120,00	-3,95	-131,90

Com os dados da TAB.5.1 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.1.

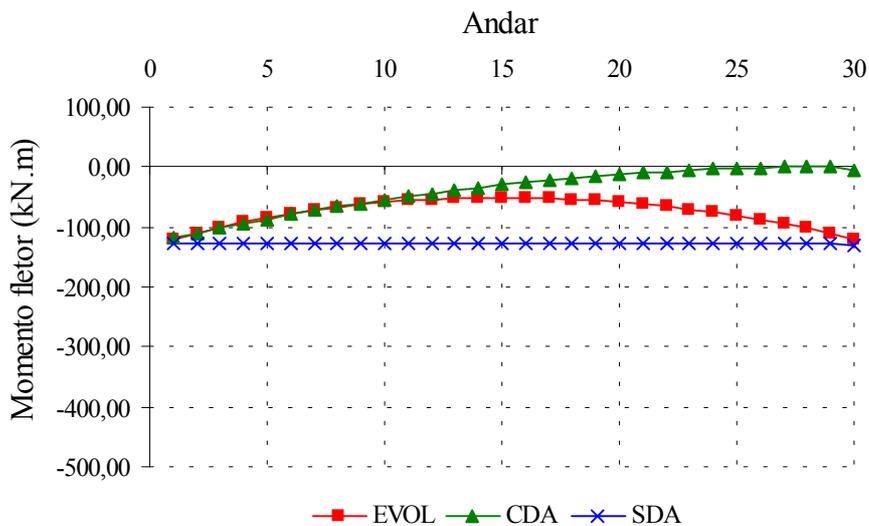


FIGURA 5.1 - Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.5.1 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.5.2.

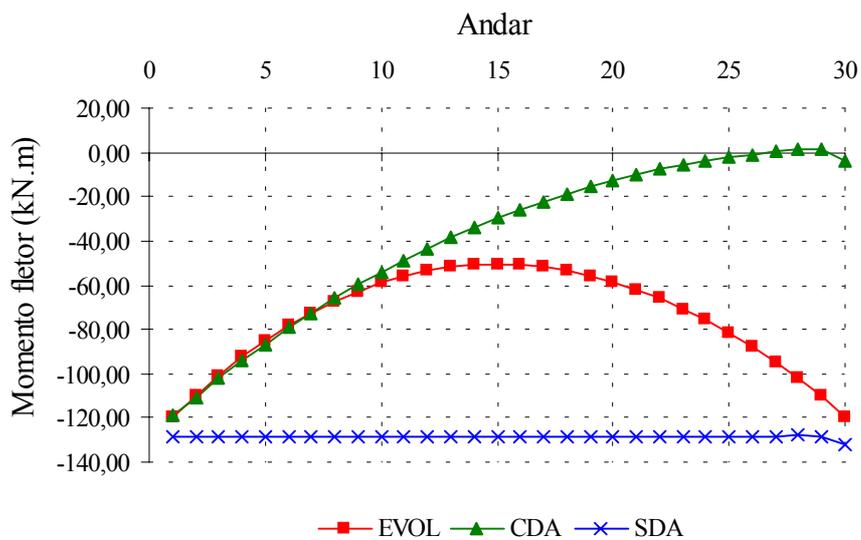


FIGURA 5.2 - Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.5.1 e FIG.5.2 verifica-se que:

- a) no modelo SDA, os valores dos momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central permanecem praticamente constantes ao longo da altura;
- b) no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores crescem algebricamente do 1º até o 15º andar, onde atingem seu maior valor algébrico; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores diminuem algebricamente, aproximando-se do valor inicial;
- c) no modelo CDA, os valores dos momentos fletores crescem algebricamente do 1º até o 29º andar, onde atingem seu maior valor algébrico; no 30º andar o valor do momento fletor tem uma pequena redução algébrica em função do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar;
- d) o modelo EVOL apresenta valores dos momentos fletores intermediários aos modelos CDA e SDA.

Objetivando mostrar a variação percentual dos momentos fletores em cada um dos modelos analisados, utiliza-se a seguinte equação:

$$\Delta M\% = \frac{M - M_o}{|M_o|} \times 100\% \quad (5.1)$$

onde:

$\Delta M\%$ representa a variação percentual do momento fletor;

M representa o maior valor algébrico do momento fletor;

M_o representa o menor valor algébrico do momento fletor;

| | representa o valor absoluto.

Para o cálculo das variações percentuais desprezam-se os valores dos momentos fletores do 30º andar, devido às perturbações que nele ocorrem em função do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central (TAB.5.1): 57,6 % no modelo EVOL, 101,3 % no modelo CDA e 0,3 % no modelo SDA.

5.2 – Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central

Obtêm-se os valores dos momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.2.

TABELA 5.2 – Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores das vigas V2 junto ao pilar central (kN.m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	-264,50	-266,24	-285,56
2°	-242,77	-247,77	-285,15
3°	-221,87	-230,63	-284,98
4°	-203,19	-214,71	-284,99
5°	-186,68	-199,77	-285,00
6°	-172,23	-185,75	-285,00
7°	-159,73	-172,60	-285,00
8°	-149,07	-160,27	-285,00
9°	-140,16	-148,72	-285,00
10°	-132,90	-137,90	-285,00
11°	-127,19	-127,76	-285,00
12°	-122,95	-118,28	-285,00
13°	-120,11	-109,41	-285,00
14°	-118,60	-101,11	-285,00
15°	-118,35	-93,36	-285,00
16°	-119,32	-86,13	-285,00
17°	-121,44	-79,39	-285,00
18°	-124,70	-73,12	-285,00
19°	-129,05	-67,28	-285,00
20°	-134,46	-61,87	-285,00
21°	-140,94	-56,85	-285,00
22°	-148,46	-52,21	-285,00
23°	-157,02	-47,93	-285,00
24°	-166,63	-43,99	-285,00
25°	-177,30	-40,38	-285,00
26°	-189,05	-37,10	-285,01
27°	-201,88	-34,07	-285,00
28°	-215,67	-30,76	-284,61
29°	-231,15	-28,50	-284,62
30°	-446,09	-235,51	-488,48

Com os dados da TAB.5.2 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.3.

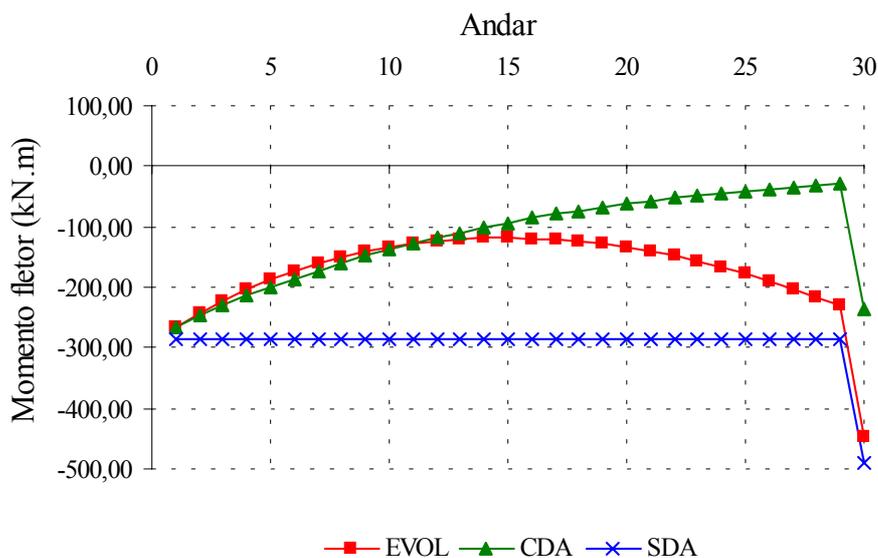


FIGURA 5.3 - Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.3 verifica-se que:

- no modelo SDA, os valores dos momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central permanecem praticamente constantes ao longo da altura; porém, no 30º andar, o valor do momento fletor sofre uma grande variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar;
- no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores crescem algebricamente do 1º até o 15º andar, onde atingem seu maior valor algébrico; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores diminuem algebricamente, aproximando-se do valor inicial; no 30º andar o valor do momento fletor sofre uma grande variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar;
- no modelo CDA, os valores dos momentos fletores crescem algebricamente do 1º até o 29º andar, onde atingem seu maior valor algébrico; no 30º andar o valor do momento fletor tem uma grande redução algébrica em função do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar;
- o modelo EVOL apresenta valores dos momentos fletores próximos aos do modelo CDA até o 13º andar; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores para os dois

modelos divergem, apresentando o modelo EVOL valores intermediários aos dos modelos CDA e SDA.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central (TAB.5.2): 55,3 % no modelo EVOL, 89,3 % no modelo CDA e 0,3 % no modelo SDA.

5.3 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V1

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V1 ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.3.

TABELA 5.3 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 (kN.m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	78,41	77,43	77,32
2°	78,89	77,51	77,27
3°	79,07	77,61	77,23
4°	79,24	77,75	77,23
5°	79,39	77,90	77,23
6°	79,52	78,03	77,23
7°	79,64	78,16	77,23
8°	79,74	78,42	77,23
9°	80,42	79,71	77,23
10°	81,21	80,93	77,23
11°	81,85	82,09	77,23
12°	82,35	83,17	77,23
13°	82,69	84,20	77,23
14°	82,90	85,15	77,23
15°	82,96	86,05	77,23
16°	82,89	86,89	77,23
17°	82,68	87,67	77,23
18°	82,35	88,39	77,23
19°	81,88	89,05	77,23
20°	81,28	89,66	77,23
21°	80,57	90,21	77,23
22°	79,80	90,70	77,23
23°	79,71	91,15	77,23
24°	79,62	91,54	77,23
25°	79,52	91,87	77,23
26°	79,40	92,16	77,24
27°	79,27	92,39	77,22
28°	79,13	92,52	77,16
29°	79,16	92,75	77,29
30°	79,73	94,36	79,07

Com os dados da TAB.5.3 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.4.

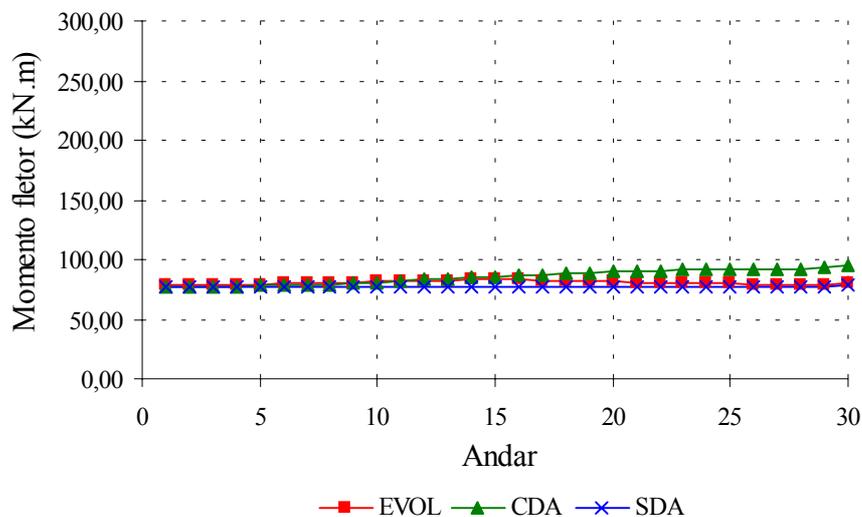


FIGURA 5.4 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.5.4 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.5.5.

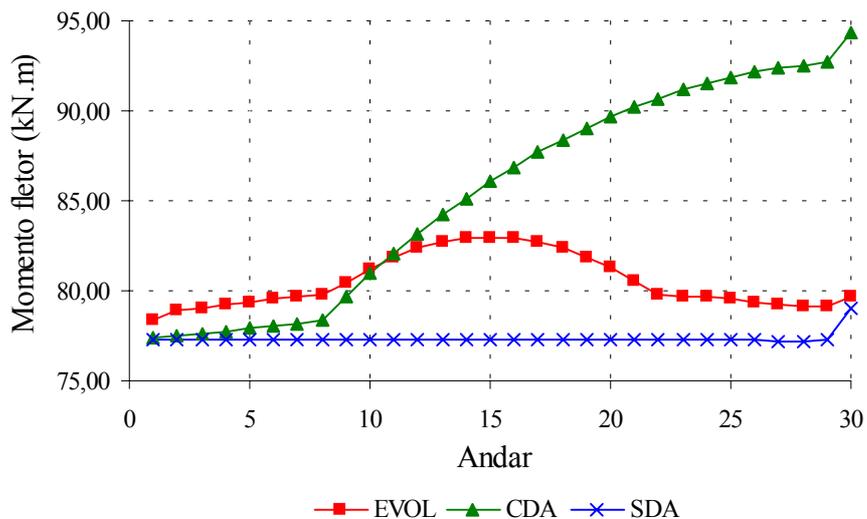


FIGURA 5.5 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.5.4 e FIG.5.5 verifica-se que:

- a) no modelo SDA, os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V1 permanecem praticamente constantes ao longo da altura;
- b) no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores crescem do 1º até o 15º andar, onde atingem seu valor máximo; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores diminuem, aproximando-se do valor inicial;
- c) no modelo CDA, os valores dos momentos fletores crescem do 1º até o 30º andar, onde atingem seu valor máximo;
- d) nos três modelos, os valores dos momentos fletores no 30º andar sofrem uma pequena variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores positivos máximos das vigas V1 (TAB.5.3): 5,8 % no modelo EVOL, 19,8 % no modelo CDA e 0,2 % no modelo SDA.

5.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.4.

TABELA 5.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2
para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 (kN.m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	168,78	166,30	166,42
2°	169,51	166,01	166,21
3°	169,50	165,85	166,13
4°	169,54	165,87	166,13
5°	169,57	165,89	166,13
6°	169,60	165,90	166,13
7°	169,63	165,91	166,13
8°	169,65	165,92	166,13
9°	170,63	166,05	166,13
10°	171,97	168,04	166,13
11°	173,03	169,91	166,13
12°	173,82	171,66	166,13
13°	174,34	173,29	166,13
14°	174,63	174,82	166,13
15°	174,68	176,24	166,13
16°	174,50	177,57	166,13
17°	174,12	178,81	166,13
18°	173,52	179,97	166,13
19°	172,72	181,04	166,13
20°	171,73	182,04	166,13
21°	170,54	182,96	166,13
22°	169,73	183,82	166,13
23°	169,72	184,61	166,13
24°	169,72	185,33	166,13
25°	169,71	186,00	166,13
26°	169,71	186,61	166,14
27°	169,69	187,16	166,13
28°	169,59	187,53	165,93
29°	169,77	188,02	165,94
30°	238,34	291,13	229,40

Com os dados da TAB.5.4 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.6.

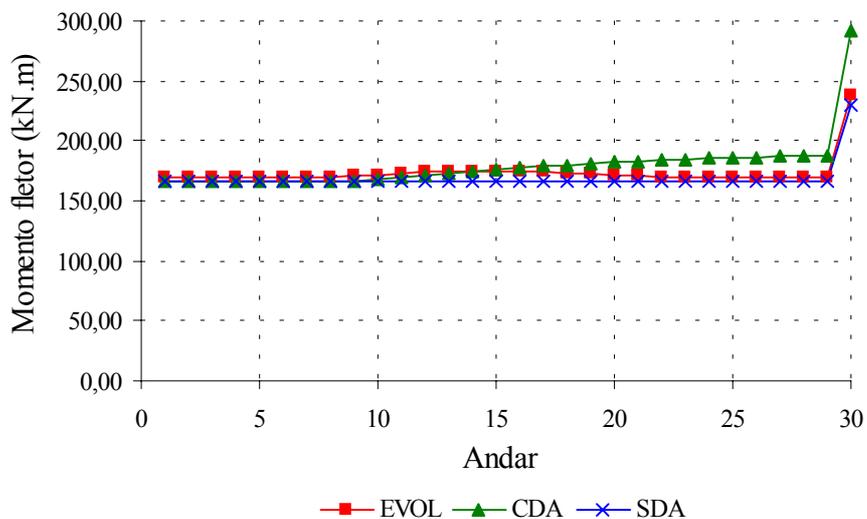


FIGURA 5.6 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.5.6 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.5.7.

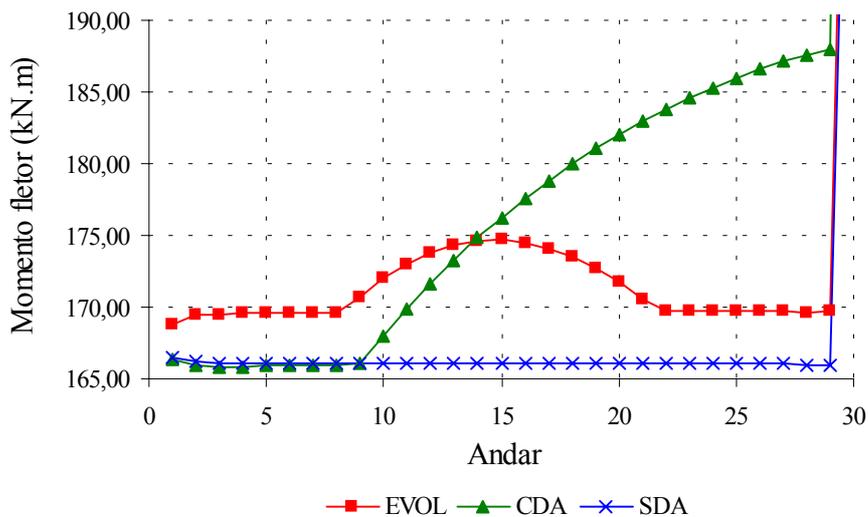


FIGURA 5.7 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.5.6 e FIG.5.7 verifica-se que:

- a) no modelo SDA, os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 permanecem praticamente constantes ao longo da altura, exceto no 30º andar;
- b) no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores crescem do 1º até o 15º andar; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores diminuem, aproximando-se do valor inicial, com exceção do 30º andar;
- c) no modelo CDA, os valores dos momentos fletores crescem do 3º até o 30º andar;
- d) nos três modelos, os valores dos momentos fletores no 30º andar sofrem uma grande variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 (TAB.5.4): 3,5 % no modelo EVOL, 13,4 % no modelo CDA e 0,3 % no modelo SDA.

5.5 – Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes, em módulo, ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.5.

TABELA 5.5 – Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes (kN.m/m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	-21,00	-21,07	-21,31
2°	-20,73	-20,84	-21,31
3°	-20,48	-20,63	-21,31
4°	-20,26	-20,43	-21,31
5°	-20,06	-20,24	-21,31
6°	-19,88	-20,06	-21,31
7°	-19,73	-19,88	-21,31
8°	-19,59	-19,72	-21,31
9°	-19,48	-19,57	-21,31
10°	-19,38	-19,43	-21,31
11°	-19,31	-19,29	-21,31
12°	-19,25	-19,17	-21,31
13°	-19,21	-19,05	-21,31
14°	-19,19	-18,93	-21,31
15°	-19,18	-18,83	-21,31
16°	-19,19	-18,73	-21,31
17°	-19,22	-18,64	-21,31
18°	-19,26	-18,56	-21,31
19°	-19,32	-18,48	-21,31
20°	-19,39	-18,41	-21,31
21°	-19,47	-18,34	-21,31
22°	-19,57	-18,28	-21,31
23°	-19,68	-18,23	-21,31
24°	-19,81	-18,18	-21,31
25°	-19,95	-18,14	-21,31
26°	-20,11	-18,10	-21,31
27°	-20,28	-18,07	-21,31
28°	-20,46	-18,04	-21,31
29°	-20,66	-18,03	-21,31
30°	-20,11	-17,50	-20,55

Com os dados da TAB.5.5 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.8.

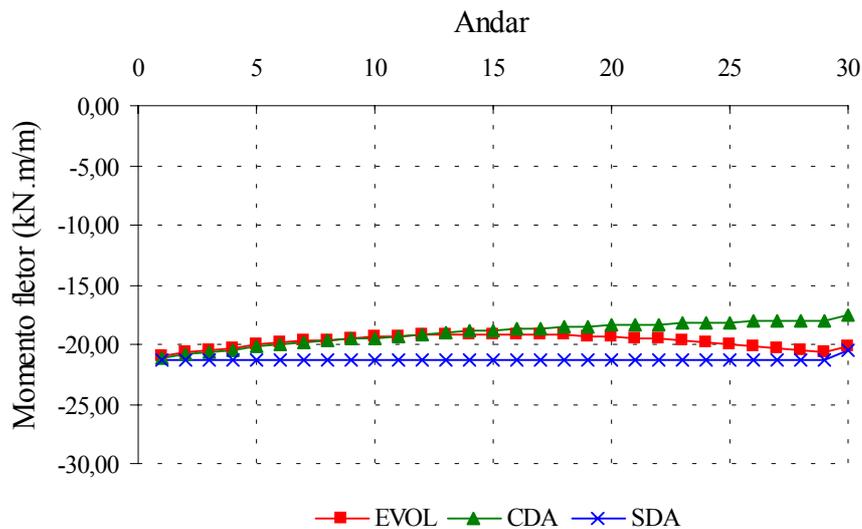


FIGURA 5.8 - Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.5.8 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.5.9.

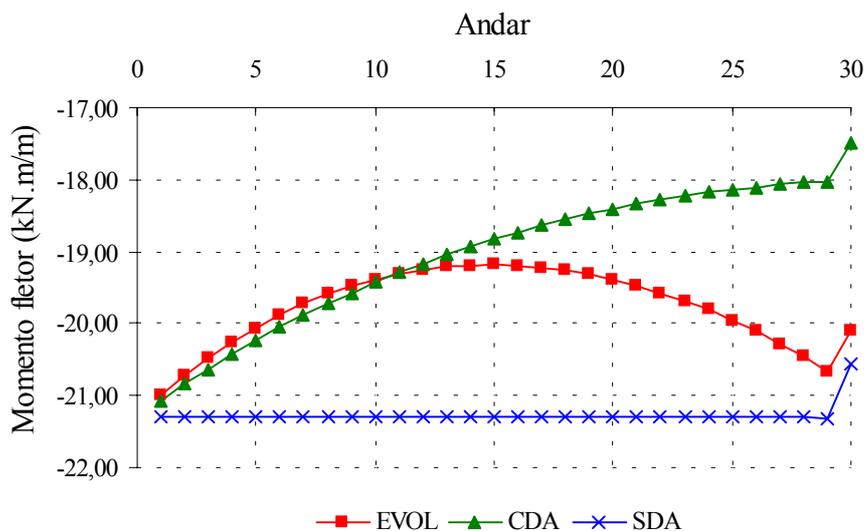


FIGURA 5.9 - Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.5.8 e FIG.5.9 verifica-se que:

- a) no modelo SDA, os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes permanecem constantes ao longo da altura, exceto no 30º andar;
- b) no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores diminuem, em módulo, do 1º até o 15º andar, onde atingem seu menor valor; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores aumentam, em módulo, aproximando-se do valor inicial, com exceção do 30º andar;
- c) no modelo CDA, os valores dos momentos fletores diminuem, em módulo, do 1º até o 30º andar;
- d) nos três modelos, os valores dos momentos fletores no 30º andar sofrem uma pequena variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes (TAB.5.5): 8,7 % no modelo EVOL, 14,4 % no modelo CDA e 0 % no modelo SDA.

5.6 – Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.6.

TABELA 5.6 – Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA

Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes (kN.m/m)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	15,27	15,23	15,21
2°	15,31	15,24	15,21
3°	15,32	15,25	15,21
4°	15,34	15,26	15,21
5°	15,35	15,27	15,21
6°	15,36	15,29	15,21
7°	15,37	15,30	15,21
8°	15,38	15,30	15,21
9°	15,38	15,31	15,21
10°	15,39	15,32	15,21
11°	15,39	15,33	15,21
12°	15,40	15,34	15,21
13°	15,40	15,34	15,21
14°	15,40	15,35	15,21
15°	15,40	15,36	15,21
16°	15,40	15,36	15,21
17°	15,40	15,37	15,21
18°	15,40	15,37	15,21
19°	15,39	15,38	15,21
20°	15,39	15,38	15,21
21°	15,38	15,39	15,21
22°	15,38	15,39	15,21
23°	15,37	15,39	15,21
24°	15,36	15,40	15,21
25°	15,36	15,40	15,21
26°	15,35	15,40	15,21
27°	15,34	15,40	15,21
28°	15,33	15,40	15,21
29°	15,32	15,41	15,21
30°	15,51	15,71	15,47

Com os dados da TAB.5.6 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.10.

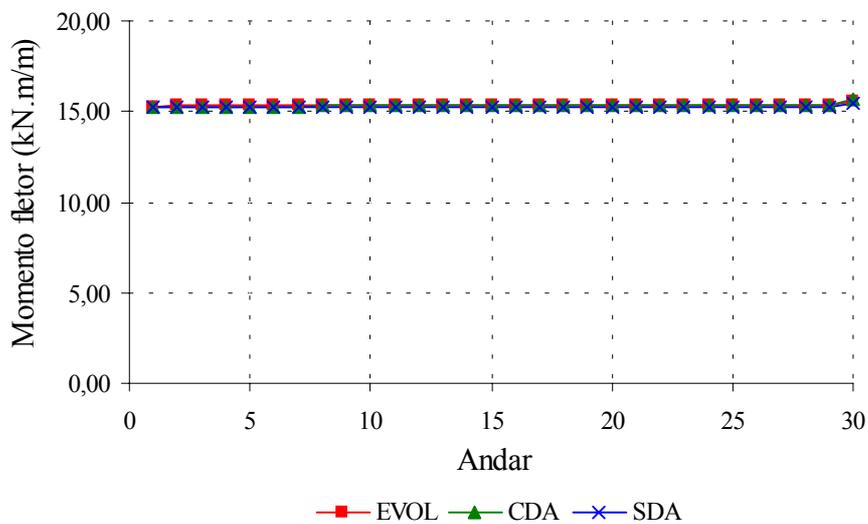


FIGURA 5.10 - Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.5.10 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.5.11.

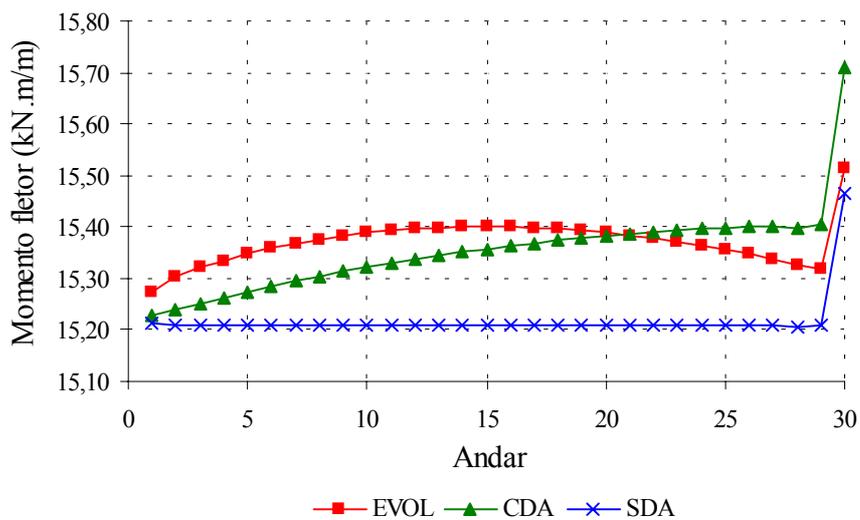


FIGURA 5.11 - Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL, CDA e SDA (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.5.10 e FIG.5.11 verifica-se que:

- a) no modelo SDA, os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes permanecem constantes ao longo da altura, exceto no 30º andar;
- b) no modelo EVOL, os valores dos momentos fletores crescem do 1º até o 15º andar; a partir deste ponto os valores dos momentos fletores diminuem, aproximando-se do valor inicial, com exceção do 30º andar;
- c) no modelo CDA, os valores dos momentos fletores crescem do 1º até o 30º andar;
- d) nos três modelos, os valores dos momentos fletores no 30º andar sofrem uma pequena variação devido à influência do carregamento da casa de máquinas e caixa d'água e da inexistência do 31º andar;
- e) os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes são muito próximos para os três modelos.

Usando a Eq.(5.1), obtêm-se as seguintes variações percentuais dos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes (TAB.5.6): 0,9 % no modelo EVOL, 1,2 % no modelo CDA e 0 % no modelo SDA.

5.7 – Forças axiais no pilar P5

Obtêm-se os valores das forças axiais no pilar P5 (pilar central) ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.7.

TABELA 5.7 – Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Forças axiais no pilar P5 (kN)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
1°	22094	19982	26172
2°	21221	19110	25278
3°	20414	18302	24425
4°	19632	17514	23573
5°	18873	16744	22721
6°	18132	15993	21869
7°	17409	15257	21017
8°	16700	14537	20165
9°	16003	13832	19313
10°	15318	13140	18461
11°	14640	12461	17609
12°	13970	11794	16757
13°	13304	11138	15904
14°	12642	10493	15052
15°	11981	9857	14200
16°	11321	9231	13348
17°	10660	8613	12496
18°	9996	8002	11644
19°	9328	7399	10792
20°	8656	6804	9940
21°	7976	6214	9088
22°	7290	5630	8236
23°	6594	5052	7384
24°	5888	4479	6532
25°	5171	3910	5679
26°	4442	3346	4827
27°	3698	2785	3975
28°	2940	2229	3123
29°	2165	1676	2272
30°	1372	1126	1420

Com os dados da TAB.5.7 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.12.

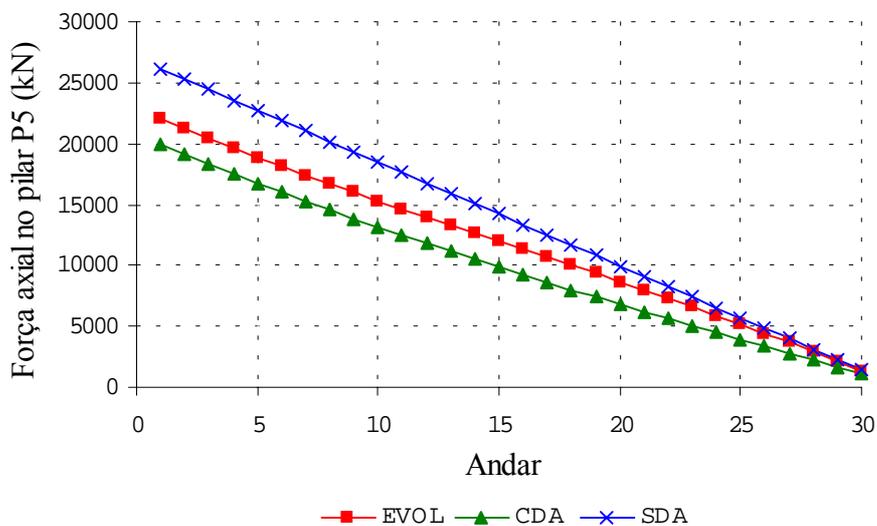


FIGURA 5.12 - Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.12 verifica-se que:

- os valores das forças axiais no pilar P5 (pilar central) são diferentes para os três modelos;
- o modelo SDA apresenta os maiores valores das forças axiais no pilar P5;
- o modelo EVOL apresenta valores intermediários das forças axiais no pilar P5;
- o modelo CDA apresenta os menores valores das forças axiais no pilar P5.

5.8 – Reações de apoio verticais na fundação

Obtêm-se os valores das reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.8.

TABELA 5.8 – Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Reações de apoio verticais na fundação (kN)			
Modelo	Pilar P1	Pilar P2	Pilar P5
CDA	9950	14189	19982
EVOL	9292	14319	22094
SDA	8376	14215	26172

Com os dados da TAB.5.8 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.13.

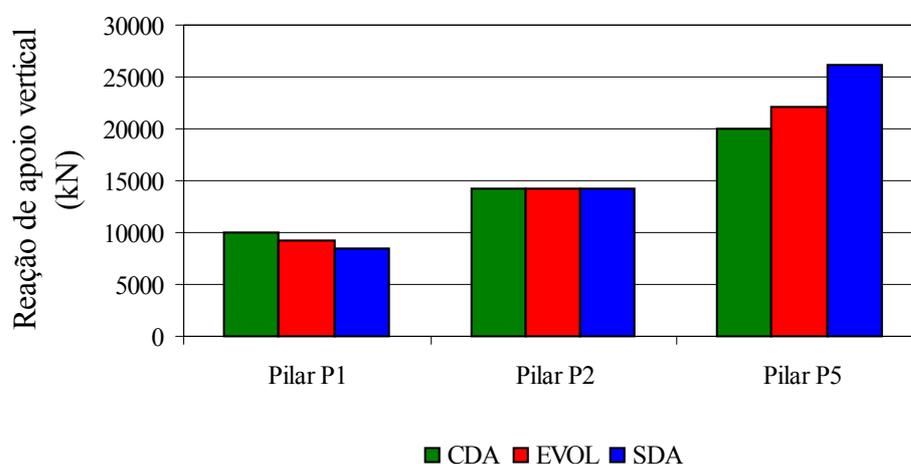


FIGURA 5.13 - Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.13 verifica-se que:

- na fundação do pilar P1 (pilar de canto), os valores das reações de apoio verticais são maiores no modelo CDA, intermediários no modelo EVOL e menores no modelo SDA;
- na fundação do pilar P2, os valores das reações de apoio verticais são próximos entre si para os três modelos;
- na fundação do pilar P5 (pilar central), os valores das reações de apoio verticais são maiores no modelo SDA, intermediários no modelo EVOL e menores no modelo CDA.

Pelas verificações feitas e tomando como referência o modelo SDA, conclui-se que há uma transferência de carga entre o pilar P5 (pilar central) e o pilar P1 (pilar de canto) nos modelos EVOL e CDA. Esta transferência de carga é mais acentuada no modelo CDA. Percebe-se, neste exemplo, que o pilar P2 é pouco afetado por esta transferência de carga.

5.9 – Recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5

5.9.1 – Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.9.

TABELA 5.9 – Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1
para os modelos EVOL, CDA e SDA

Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 (mm)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
0°	0,00	0,00	0,00
1°	0,59	0,50	0,00
2°	1,14	0,98	0,00
3°	1,65	1,44	0,00
4°	2,10	1,87	0,00
5°	2,52	2,29	0,00
6°	2,89	2,68	0,00
7°	3,22	3,06	0,00
8°	3,51	3,41	0,00
9°	3,76	3,75	0,00
10°	3,97	4,07	0,00
11°	4,14	4,37	0,00
12°	4,26	4,66	0,00
13°	4,35	4,92	0,00
14°	4,41	5,18	0,00
15°	4,43	5,41	0,00
16°	4,41	5,63	0,00
17°	4,35	5,83	0,00
18°	4,26	6,02	0,00
19°	4,14	6,20	0,00
20°	3,99	6,35	0,00
21°	3,80	6,50	0,00
22°	3,58	6,63	0,00
23°	3,33	6,74	0,00
24°	3,04	6,85	0,00
25°	2,73	6,93	0,00
26°	2,38	7,01	0,00
27°	2,01	7,07	0,00
28°	1,61	7,11	0,00
29°	1,17	7,15	0,00
30°	0,71	7,17	0,00

Com os dados da TAB.5.9 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.14.

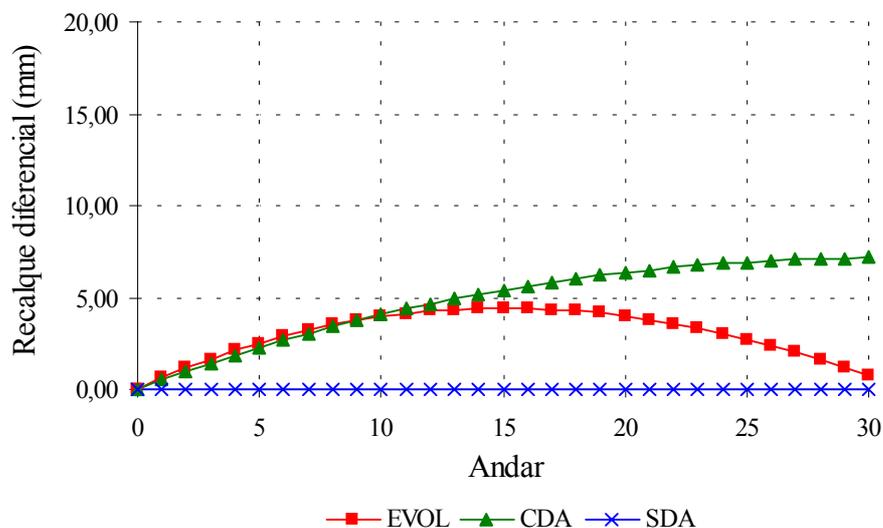


FIGURA 5.14 - Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.14 verifica-se que:

- no modelo SDA, os recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 são nulos ao longo da altura;
- no modelo EVOL, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 15º andar, onde atingem seu valor máximo; a partir deste ponto os recalques diferenciais diminuem, aproximando-se do valor inicial;
- no modelo CDA, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 30º andar, onde atingem seu valor máximo.

Objetivando mostrar a variação percentual dos recalques diferenciais entre os pilares em cada um dos modelos analisados, utiliza-se uma equação análoga à Eq.(5.1), adaptada para recalques diferenciais. Neste cálculo consideram-se os valores do 1º ao 30º andar.

Obtêm-se as seguintes variações percentuais dos recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 (TAB.5.9): 650,8 % no modelo EVOL, 1334,0 % no modelo CDA e 0 % no modelo SDA.

Percebe-se que os recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 têm comportamento semelhante aos momentos fletores nas vigas V1, V2 e nas lajes para os três modelos.

5.9.2 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.10.

TABELA 5.10 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2
para os modelos EVOL, CDA e SDA

Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 (mm)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
0°	0,00	0,00	0,00
1°	0,92	0,68	0,00
2°	1,75	1,33	0,00
3°	2,49	1,93	0,00
4°	3,15	2,49	0,00
5°	3,74	3,02	0,00
6°	4,26	3,52	0,00
7°	4,70	3,99	0,00
8°	5,08	4,42	0,00
9°	5,39	4,83	0,00
10°	5,65	5,22	0,00
11°	5,86	5,58	0,00
12°	6,01	5,91	0,00
13°	6,11	6,23	0,00
14°	6,16	6,52	0,00
15°	6,17	6,80	0,00
16°	6,14	7,05	0,00
17°	6,06	7,29	0,00
18°	5,95	7,51	0,00
19°	5,79	7,72	0,00
20°	5,60	7,91	0,00
21°	5,37	8,09	0,00
22°	5,11	8,26	0,00
23°	4,80	8,41	0,00
24°	4,46	8,55	0,00
25°	4,08	8,68	0,00
26°	3,67	8,79	0,00
27°	3,21	8,90	0,00
28°	2,72	9,00	0,00
29°	2,18	9,08	0,00
30°	1,60	9,16	0,00

Com os dados da TAB.5.10 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.15.

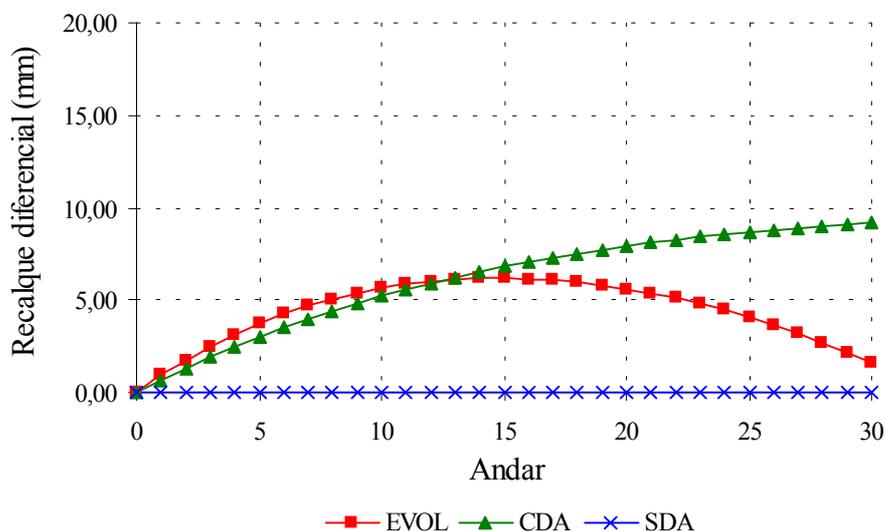


FIGURA 5.15 - Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.15 verifica-se que:

- no modelo SDA, os recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 são nulos ao longo da altura;
- no modelo EVOL, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 15º andar, onde atingem seu valor máximo; a partir deste ponto os recalques diferenciais diminuem, aproximando-se do valor inicial;
- no modelo CDA, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 30º andar, onde atingem seu valor máximo.

Obtêm-se as seguintes variações percentuais dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 (TAB.5.10): 570,7 % no modelo EVOL, 1247,1 % no modelo CDA e 0 % no modelo SDA.

Percebe-se que os recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 têm comportamento semelhante aos momentos fletores nas vigas V1, V2 e nas lajes para os três modelos.

5.9.3 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA. Os valores obtidos são mostrados na TAB.5.11.

TABELA 5.11 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1
para os modelos EVOL, CDA e SDA

Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 (mm)			
Andar	Modelo EVOL	Modelo CDA	Modelo SDA
0°	0,00	0,00	0,00
1°	1,51	1,18	0,00
2°	2,89	2,30	0,00
3°	4,14	3,36	0,00
4°	5,26	4,36	0,00
5°	6,26	5,31	0,00
6°	7,15	6,20	0,00
7°	7,92	7,04	0,00
8°	8,59	7,84	0,00
9°	9,15	8,58	0,00
10°	9,62	9,29	0,00
11°	9,99	9,95	0,00
12°	10,27	10,57	0,00
13°	10,46	11,15	0,00
14°	10,57	11,70	0,00
15°	10,60	12,21	0,00
16°	10,54	12,68	0,00
17°	10,41	13,13	0,00
18°	10,21	13,54	0,00
19°	9,93	13,92	0,00
20°	9,59	14,27	0,00
21°	9,17	14,59	0,00
22°	8,68	14,88	0,00
23°	8,13	15,15	0,00
24°	7,50	15,39	0,00
25°	6,81	15,61	0,00
26°	6,05	15,80	0,00
27°	5,22	15,97	0,00
28°	4,32	16,11	0,00
29°	3,35	16,23	0,00
30°	2,31	16,32	0,00

Com os dados da TAB.5.11 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.5.16.

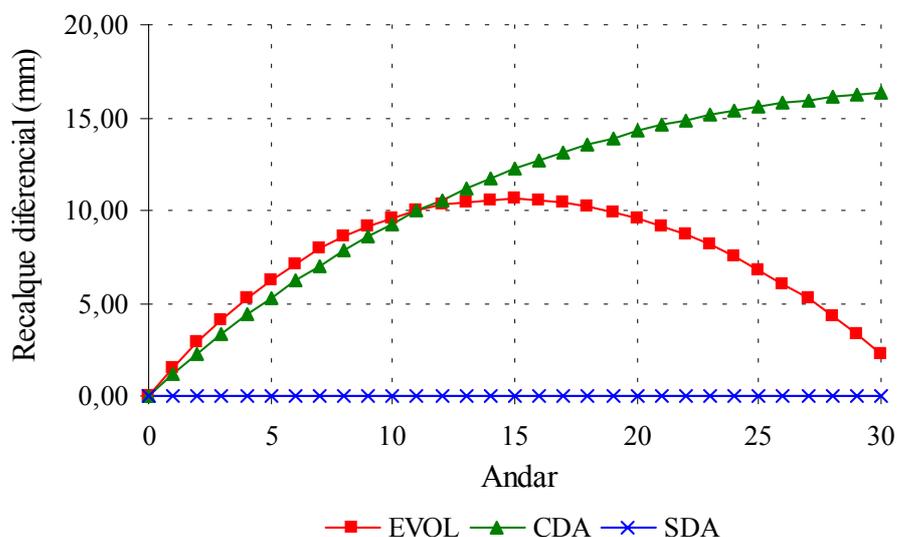


FIGURA 5.16 - Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL, CDA e SDA

Analisando o gráfico mostrado na FIG.5.16 verifica-se que:

- no modelo SDA, os recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 são nulos ao longo da altura;
- no modelo EVOL, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 15º andar, onde atingem seu valor máximo; a partir deste ponto os recalques diferenciais diminuem, aproximando-se do valor inicial;
- no modelo CDA, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 30º andar, onde atingem seu valor máximo.

Obtêm-se as seguintes variações percentuais dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 (TAB.5.11): 602,0 % no modelo EVOL, 1283,1 % no modelo CDA e 0 % no modelo SDA.

Percebe-se que os recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 têm comportamento semelhante aos momentos fletores nas vigas V1, V2 e nas lajes para os três modelos.

6

COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS EVOL E EVOL+R

Neste capítulo comparam-se os resultados obtidos através dos modelos EVOL e EVOL+R. Analisam-se as seguintes grandezas (referir-se à FIG.3.1):

- a) momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central;
- b) momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central;
- c) momentos fletores positivos máximos das vigas V1;
- d) momentos fletores positivos máximos das vigas V2;
- e) momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes;
- f) momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes;
- g) forças axiais no pilar P5;
- h) reações de apoio verticais na fundação;
- i) recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5.

A convenção de sinais para os momentos fletores das vigas e lajes é a mesma adotada no capítulo 5.

6.1 – Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central

Obtêm-se os valores dos momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.1.

TABELA 6.1 – Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores das vigas V1 junto ao pilar central (kN.m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	-119,40	-119,22
2°	-110,12	-109,96
3°	-101,03	-100,87
4°	-92,70	-92,41
5°	-85,16	-84,73
6°	-78,39	-77,77
7°	-72,40	-71,51
8°	-67,15	-65,95
9°	-62,66	-61,08
10°	-58,89	-56,88
11°	-55,85	-53,35
12°	-53,51	-50,46
13°	-51,86	-48,21
14°	-50,89	-46,59
15°	-50,59	-45,57
16°	-50,94	-45,15
17°	-51,93	-45,32
18°	-53,55	-46,07
19°	-55,78	-47,37
20°	-58,62	-49,23
21°	-62,04	-51,63
22°	-66,05	-54,56
23°	-70,63	-58,02
24°	-75,78	-62,00
25°	-81,49	-66,49
26°	-87,75	-71,48
27°	-94,54	-76,95
28°	-101,89	-82,89
29°	-110,08	-89,70
30°	-120,00	-99,19

Com os dados da TAB.6.1 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.1.

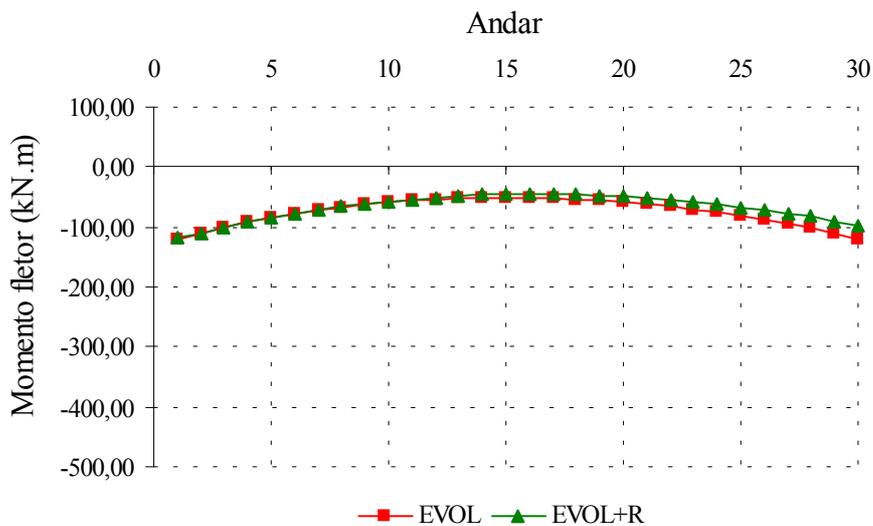


FIGURA 6.1 - Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.6.1 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.6.2.

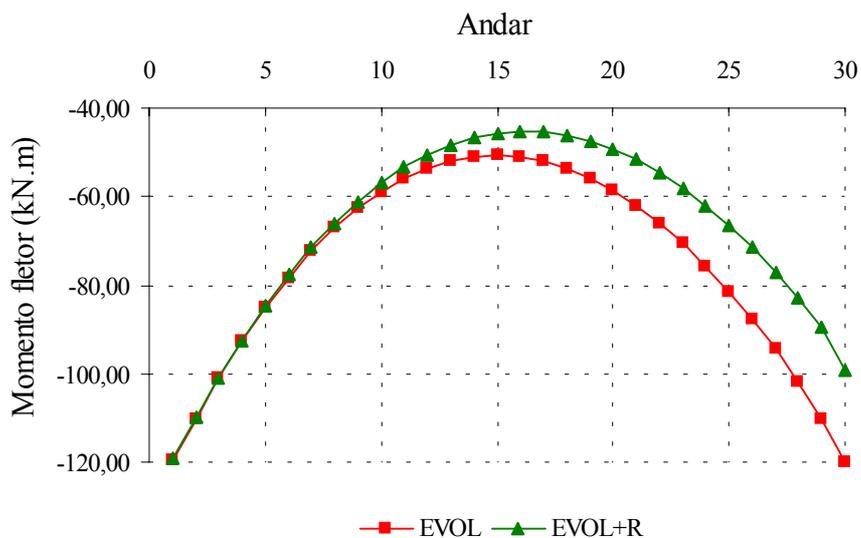


FIGURA 6.2 - Momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.6.1 e FIG.6.2, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores das vigas V1 junto a seu pilar central. Porém, os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são diferentes.

6.2 – Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central

Obtêm-se os valores dos momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.2.

TABELA 6.2 – Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores das vigas V2 junto ao pilar central (kN.m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	-264,50	-264,67
2°	-242,77	-243,54
3°	-221,87	-223,34
4°	-203,19	-204,73
5°	-186,68	-188,23
6°	-172,23	-173,61
7°	-159,73	-160,77
8°	-149,07	-149,63
9°	-140,16	-140,09
10°	-132,90	-132,05
11°	-127,19	-125,44
12°	-122,95	-120,17
13°	-120,11	-116,17
14°	-118,60	-113,38
15°	-118,35	-111,74
16°	-119,32	-111,20
17°	-121,44	-111,71
18°	-124,70	-113,24
19°	-129,05	-115,75
20°	-134,46	-119,21
21°	-140,94	-123,62
22°	-148,46	-128,95
23°	-157,02	-135,21
24°	-166,63	-142,39
25°	-177,30	-150,49
26°	-189,05	-159,54
27°	-201,88	-169,51
28°	-215,67	-180,20
29°	-231,15	-192,46
30°	-446,09	-406,35

Com os dados da TAB.6.2 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.3.

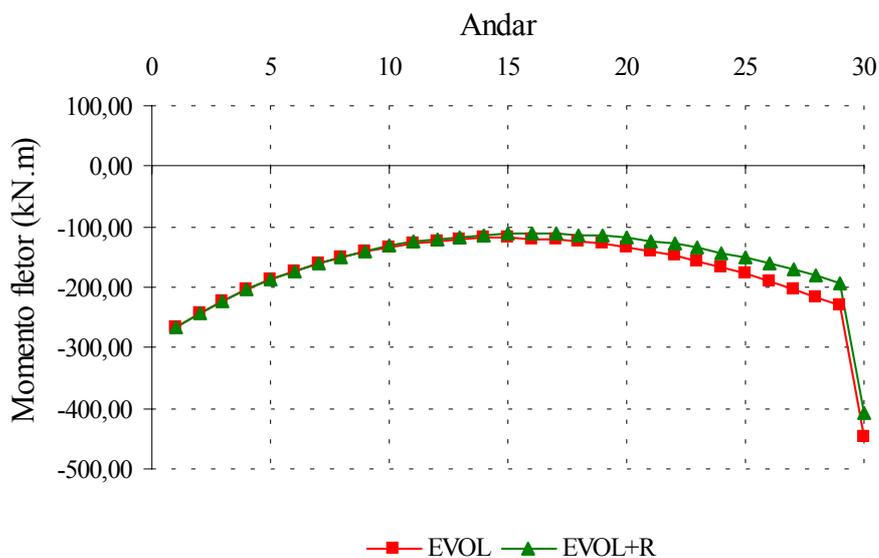


FIGURA 6.3 - Momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.3, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores das vigas V2 junto a seu pilar central. Porém, os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são diferentes.

6.3 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V1

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V1 ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.3.

TABELA 6.3 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V1
para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 (kN.m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	78,41	78,14
2°	78,89	78,50
3°	79,07	78,63
4°	79,24	78,77
5°	79,39	78,92
6°	79,52	79,06
7°	79,64	79,18
8°	79,74	79,32
9°	80,42	80,35
10°	81,21	81,23
11°	81,85	81,98
12°	82,35	82,59
13°	82,69	83,06
14°	82,90	83,40
15°	82,96	83,62
16°	82,89	83,71
17°	82,68	83,67
18°	82,35	83,52
19°	81,88	83,25
20°	81,28	82,86
21°	80,57	82,35
22°	79,80	81,74
23°	79,71	81,02
24°	79,62	80,18
25°	79,52	79,32
26°	79,40	79,23
27°	79,27	79,12
28°	79,13	78,98
29°	79,16	79,03
30°	79,73	80,09

Com os dados da TAB.6.3 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.4.

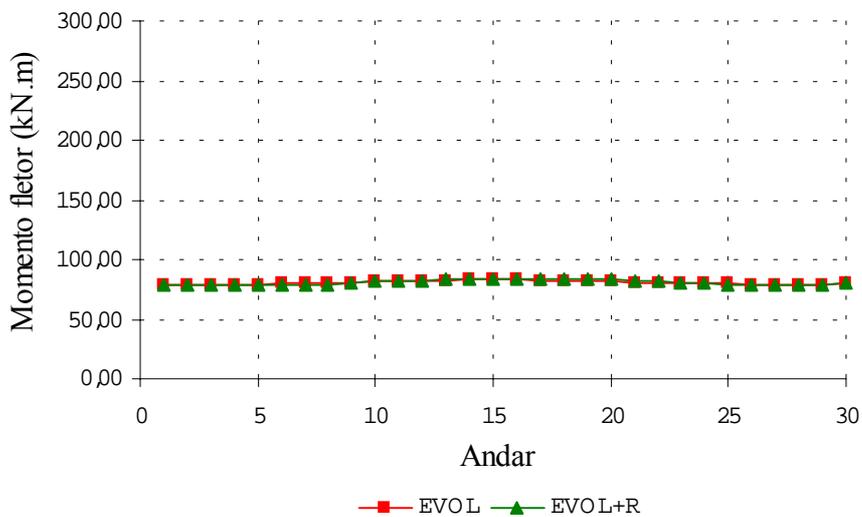


FIGURA 6.4 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL e EVOL+R

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.6.4 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.6.5.

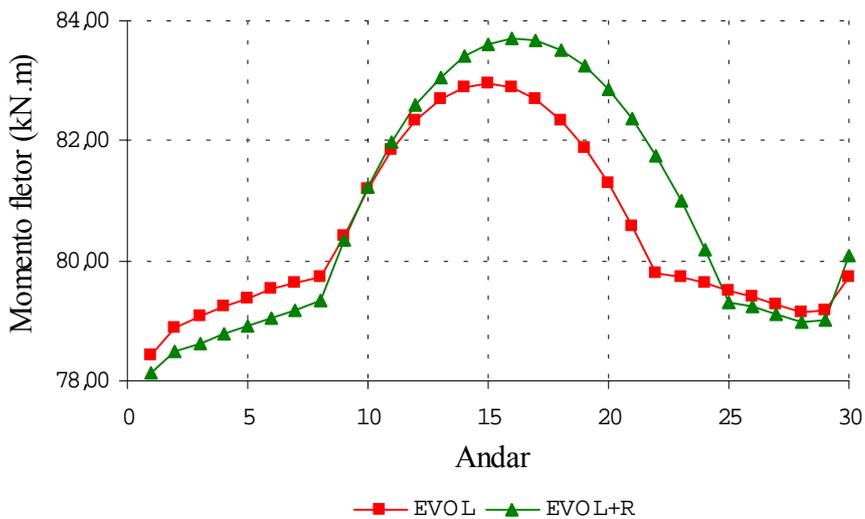


FIGURA 6.5 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V1 para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.6.4 e FIG.6.5, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores positivos máximos das vigas V1. Porém, os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são diferentes.

6.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.4.

TABELA 6.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2
para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 (kN.m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	168,78	168,13
2°	169,51	168,60
3°	169,50	168,54
4°	169,54	168,52
5°	169,57	168,56
6°	169,60	168,59
7°	169,63	168,61
8°	169,65	168,63
9°	170,63	169,82
10°	171,97	171,31
11°	173,03	172,53
12°	173,82	173,51
13°	174,34	174,25
14°	174,63	174,76
15°	174,68	175,07
16°	174,50	175,17
17°	174,12	175,08
18°	173,52	174,80
19°	172,72	174,34
20°	171,73	173,71
21°	170,54	172,90
22°	169,73	171,92
23°	169,72	170,77
24°	169,72	169,45
25°	169,71	168,71
26°	169,71	168,71
27°	169,69	168,70
28°	169,59	168,56
29°	169,77	168,70
30°	238,34	245,73

Com os dados da TAB.6.4 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.6.

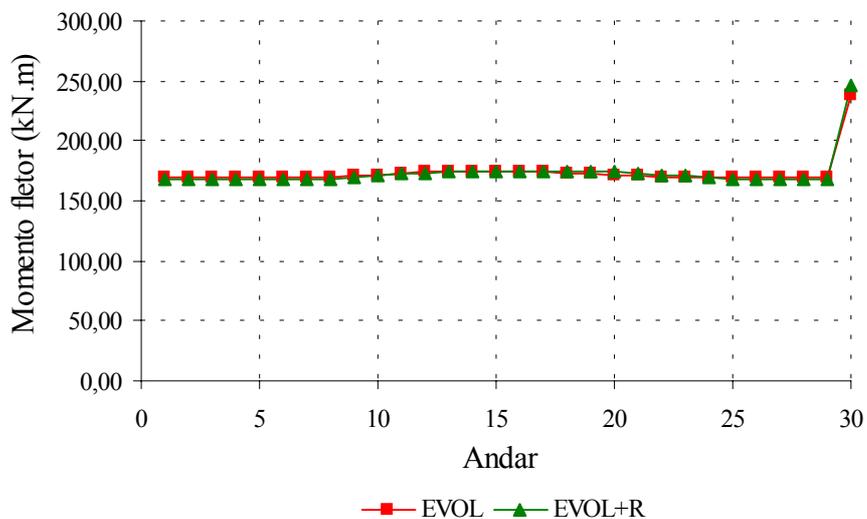


FIGURA 6.6 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL e EVOL+R

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.6.6 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.6.7.

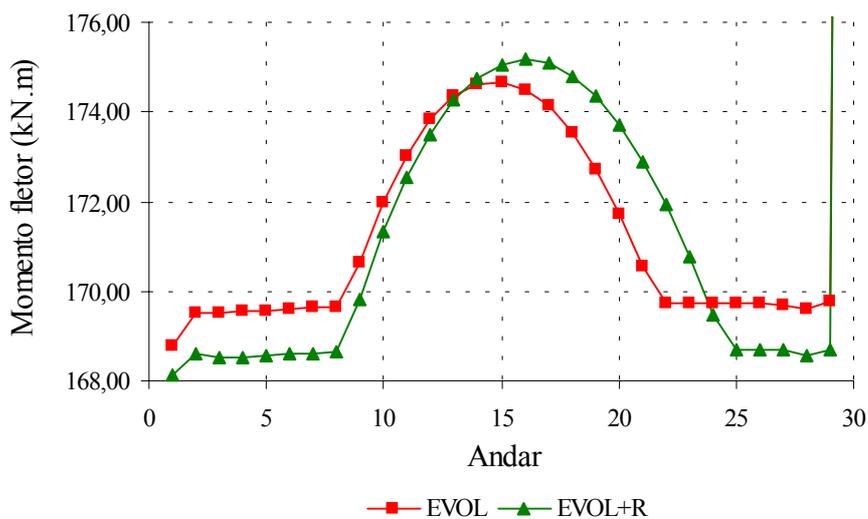


FIGURA 6.7 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.6.6 e FIG.6.7, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores positivos máximos das vigas V2. Porém, os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são diferentes.

6.5 – Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes, em módulo, ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.5.

TABELA 6.5 – Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos nas lajes (kN.m/m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	-21,00	-21,02
2°	-20,73	-20,75
3°	-20,48	-20,51
4°	-20,26	-20,29
5°	-20,06	-20,08
6°	-19,88	-19,90
7°	-19,73	-19,74
8°	-19,59	-19,60
9°	-19,48	-19,48
10°	-19,38	-19,37
11°	-19,31	-19,28
12°	-19,25	-19,21
13°	-19,21	-19,16
14°	-19,19	-19,12
15°	-19,18	-19,10
16°	-19,19	-19,09
17°	-19,22	-19,09
18°	-19,26	-19,11
19°	-19,32	-19,14
20°	-19,39	-19,19
21°	-19,47	-19,25
22°	-19,57	-19,32
23°	-19,68	-19,40
24°	-19,81	-19,50
25°	-19,95	-19,61
26°	-20,11	-19,73
27°	-20,28	-19,87
28°	-20,46	-20,01
29°	-20,66	-20,18
30°	-20,11	-19,59

Com os dados da TAB.6.5 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.8.

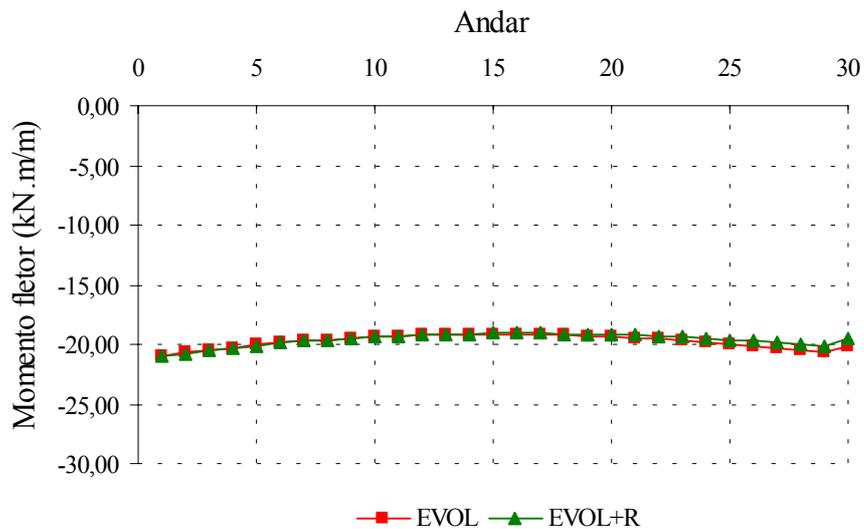


FIGURA 6.8 - Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.6.8 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.6.9.

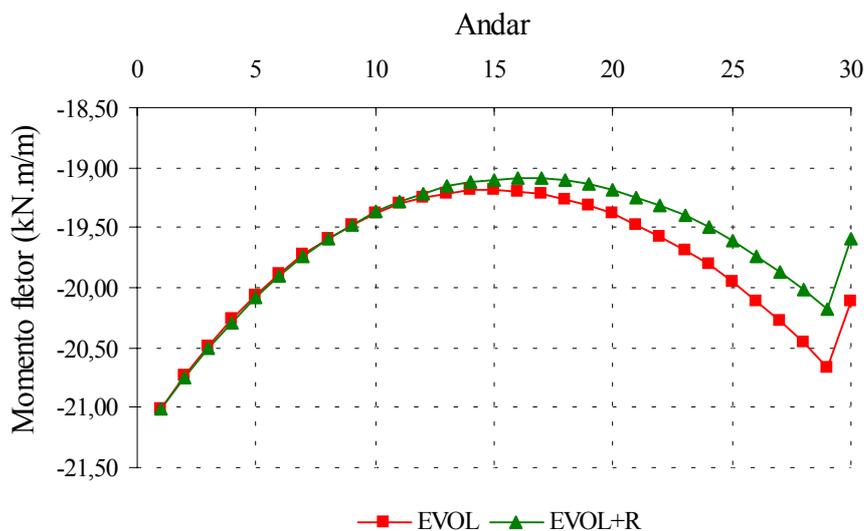


FIGURA 6.9 - Momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.6.8 e FIG.6.9, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores negativos M_x máximos nas lajes. Porém, os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são diferentes.

6.6 – Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.6.

TABELA 6.6 – Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R

Momentos fletores positivos Mx máximos nas lajes (kN.m/m)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	15,27	15,26
2°	15,31	15,29
3°	15,32	15,30
4°	15,34	15,32
5°	15,35	15,33
6°	15,36	15,34
7°	15,37	15,35
8°	15,38	15,36
9°	15,38	15,36
10°	15,39	15,37
11°	15,39	15,38
12°	15,40	15,38
13°	15,40	15,38
14°	15,40	15,39
15°	15,40	15,39
16°	15,40	15,39
17°	15,40	15,39
18°	15,40	15,39
19°	15,39	15,39
20°	15,39	15,38
21°	15,38	15,38
22°	15,38	15,37
23°	15,37	15,37
24°	15,36	15,36
25°	15,36	15,36
26°	15,35	15,35
27°	15,34	15,34
28°	15,33	15,33
29°	15,32	15,33
30°	15,51	15,55

Com os dados da TAB.6.6 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.10.

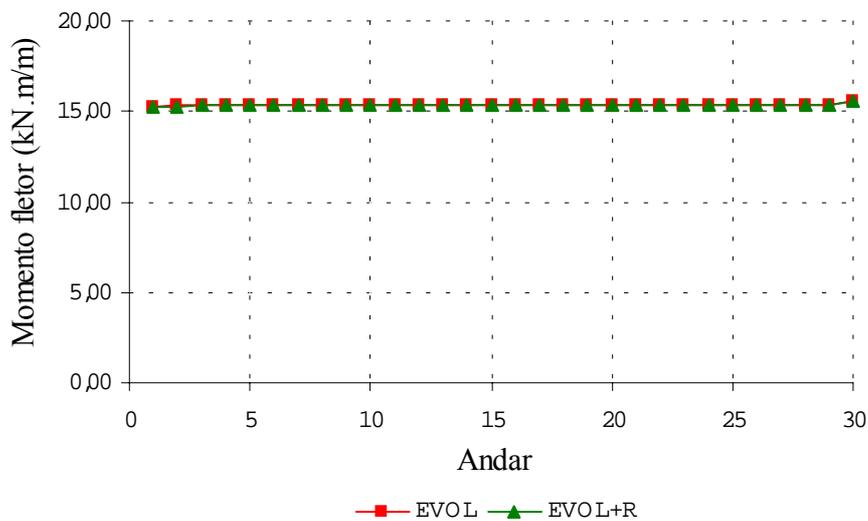


FIGURA 6.10 - Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R

Alterando a escala do gráfico mostrado na FIG.6.10 obtém-se o gráfico mostrado na FIG.6.11.

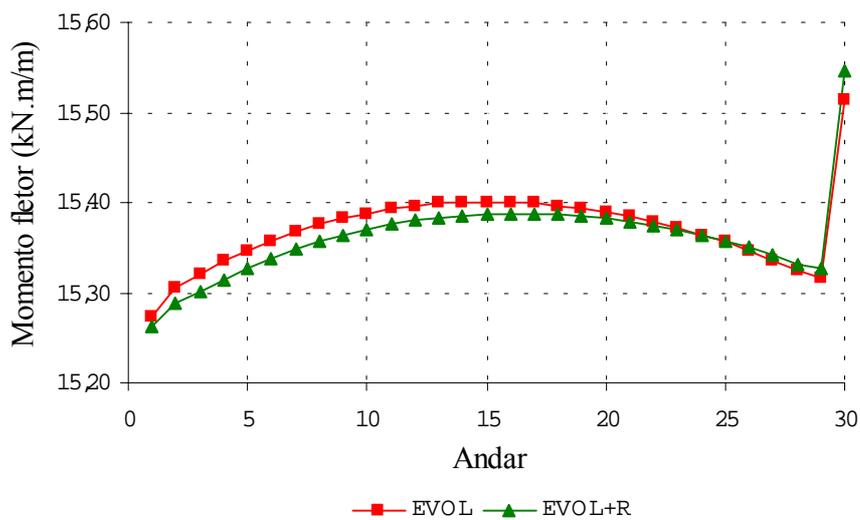


FIGURA 6.11 - Momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes para os modelos EVOL e EVOL+R (escala alterada)

Analisando os gráficos mostrados nas FIG.6.10 e FIG.6.11, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos momentos fletores positivos M_x máximos nas lajes. Observa-se que os valores numéricos obtidos para os momentos fletores através dos dois modelos são muito próximos.

6.7 – Forças axiais no pilar P5

Obtêm-se os valores das forças axiais no pilar P5 (pilar central) ao longo dos 30 andares para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.7.

TABELA 6.7 – Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL e EVOL+R

Forças axiais no pilar P5 (kN)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
1°	22094	21642
2°	21221	20770
3°	20414	19963
4°	19632	19181
5°	18873	18420
6°	18132	17679
7°	17409	16955
8°	16700	16246
9°	16003	15550
10°	15318	14866
11°	14640	14190
12°	13970	13523
13°	13304	12862
14°	12642	12206
15°	11981	11552
16°	11321	10901
17°	10660	10250
18°	9996	9599
19°	9328	8946
20°	8656	8290
21°	7976	7630
22°	7290	6965
23°	6594	6293
24°	5888	5614
25°	5171	4927
26°	4442	4230
27°	3698	3522
28°	2940	2803
29°	2165	2072
30°	1372	1325

Com os dados da TAB.6.7 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.12.

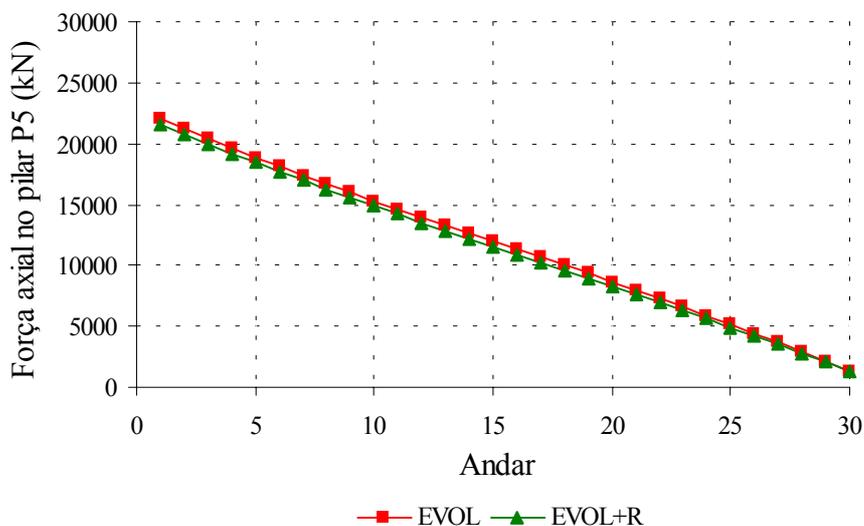


FIGURA 6.12 - Forças axiais no pilar P5 para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.12, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação às forças axiais no pilar P5. Porém, os valores numéricos obtidos para as forças axiais através dos dois modelos são diferentes.

6.8 – Reações de apoio verticais na fundação

Obtêm-se os valores das reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.8.

TABELA 6.8 – Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL e EVOL+R

Reações de apoio verticais na fundação (kN)			
Modelo	Pilar P1	Pilar P2	Pilar P5
EVOL	9292	14319	22094
EVOL+R	9429	14295	21642

Com os dados da TAB.6.8 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.13.

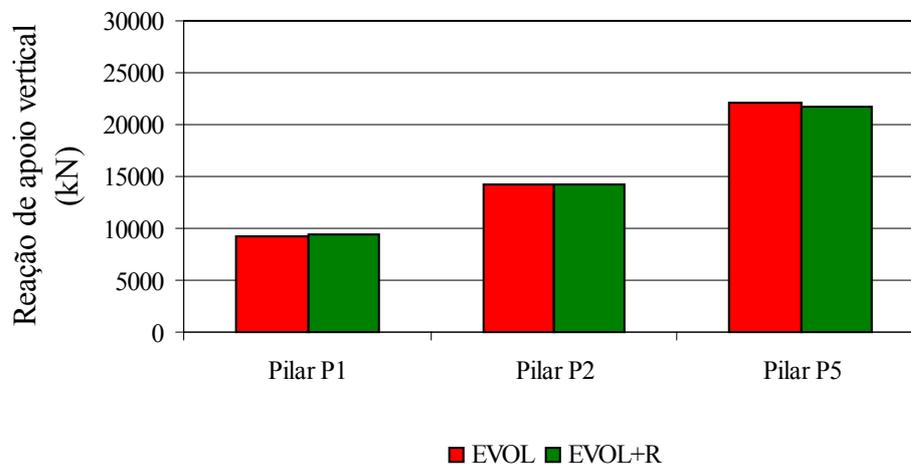


FIGURA 6.13 - Reações de apoio verticais na fundação dos pilares P1, P2 e P5 para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.13 e tomando como referência o modelo SDA (ver item 5.8), verifica-se que a transferência de carga entre o pilar P5 (pilar central) e o pilar P1 (pilar de canto) é mais acentuada no modelo EVOL+R do que no modelo EVOL. Percebe-se, neste exemplo, que o pilar P2 é pouco afetado por esta transferência de carga.

6.9 – Recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5

6.9.1 – Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.9.

TABELA 6.9 – Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1
para os modelos EVOL e EVOL+R

Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 (mm)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
0°	0,00	0,00
1°	0,59	0,57
2°	1,14	1,11
3°	1,65	1,61
4°	2,10	2,07
5°	2,52	2,49
6°	2,89	2,88
7°	3,22	3,22
8°	3,51	3,53
9°	3,76	3,80
10°	3,97	4,03
11°	4,14	4,22
12°	4,26	4,38
13°	4,35	4,51
14°	4,41	4,59
15°	4,43	4,65
16°	4,41	4,67
17°	4,35	4,67
18°	4,26	4,62
19°	4,14	4,55
20°	3,99	4,45
21°	3,80	4,32
22°	3,58	4,16
23°	3,33	3,97
24°	3,04	3,75
25°	2,73	3,50
26°	2,38	3,23
27°	2,01	2,93
28°	1,61	2,60
29°	1,17	2,24
30°	0,71	1,86

Com os dados da TAB.6.9 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.14.

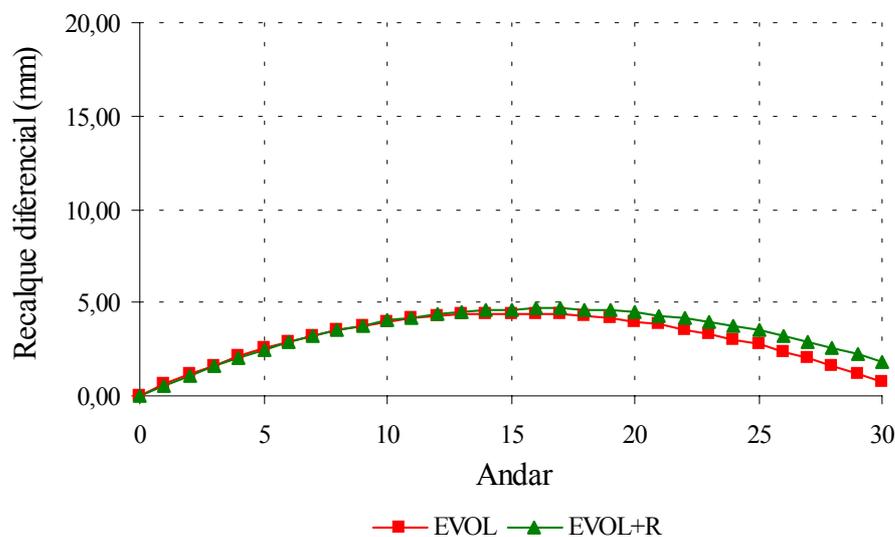


FIGURA 6.14 - Recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.14, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos recalques diferenciais entre os pilares P2 e P1. Porém, os valores numéricos obtidos para os recalques diferenciais através dos dois modelos são diferentes.

6.9.2 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.10.

TABELA 6.10 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2
para os modelos EVOL e EVOL+R

Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 (mm)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
0°	0,00	0,00
1°	0,92	0,87
2°	1,75	1,66
3°	2,49	2,37
4°	3,15	3,03
5°	3,74	3,62
6°	4,26	4,14
7°	4,70	4,59
8°	5,08	4,99
9°	5,39	5,33
10°	5,65	5,61
11°	5,86	5,85
12°	6,01	6,03
13°	6,11	6,18
14°	6,16	6,28
15°	6,17	6,33
16°	6,14	6,35
17°	6,06	6,34
18°	5,95	6,28
19°	5,79	6,19
20°	5,60	6,07
21°	5,37	5,92
22°	5,11	5,73
23°	4,80	5,50
24°	4,46	5,25
25°	4,08	4,96
26°	3,67	4,64
27°	3,21	4,29
28°	2,72	3,90
29°	2,18	3,48
30°	1,60	3,01

Com os dados da TAB.6.10 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.15.

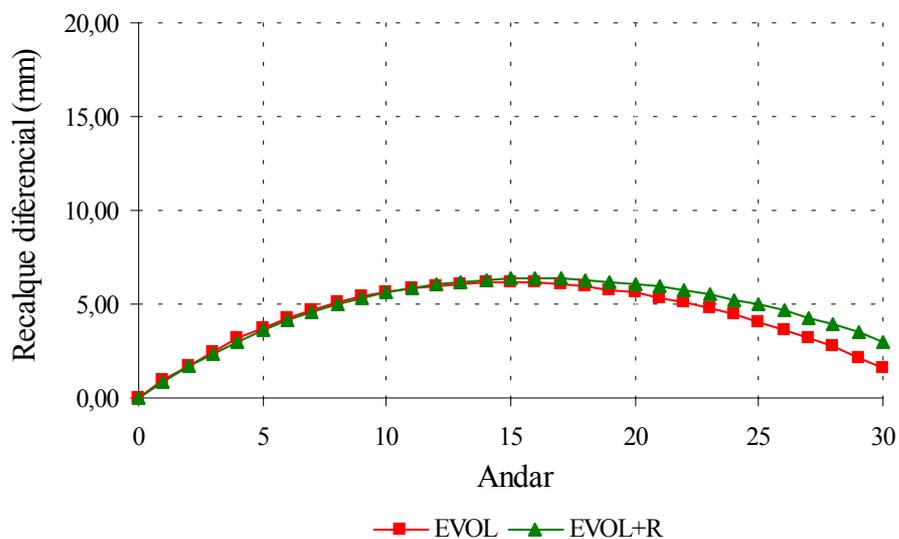


FIGURA 6.15 - Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2 para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.15, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P2. Porém, os valores numéricos obtidos para os recalques diferenciais através dos dois modelos são diferentes.

6.9.3 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1

Obtêm-se os valores dos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R. Os valores obtidos são mostrados na TAB.6.11.

TABELA 6.11 – Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1
para os modelos EVOL e EVOL+R

Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 (mm)		
Andar	Modelo EVOL	Modelo EVOL+R
0°	0,00	0,00
1°	1,51	1,44
2°	2,89	2,77
3°	4,14	3,98
4°	5,26	5,10
5°	6,26	6,11
6°	7,15	7,01
7°	7,92	7,81
8°	8,59	8,52
9°	9,15	9,12
10°	9,62	9,64
11°	9,99	10,07
12°	10,27	10,42
13°	10,46	10,68
14°	10,57	10,87
15°	10,60	10,98
16°	10,54	11,03
17°	10,41	11,00
18°	10,21	10,91
19°	9,93	10,75
20°	9,59	10,52
21°	9,17	10,23
22°	8,68	9,88
23°	8,13	9,47
24°	7,50	9,00
25°	6,81	8,47
26°	6,05	7,87
27°	5,22	7,21
28°	4,32	6,50
29°	3,35	5,72
30°	2,31	4,87

Com os dados da TAB.6.11 faz-se o gráfico comparativo mostrado na FIG.6.16.

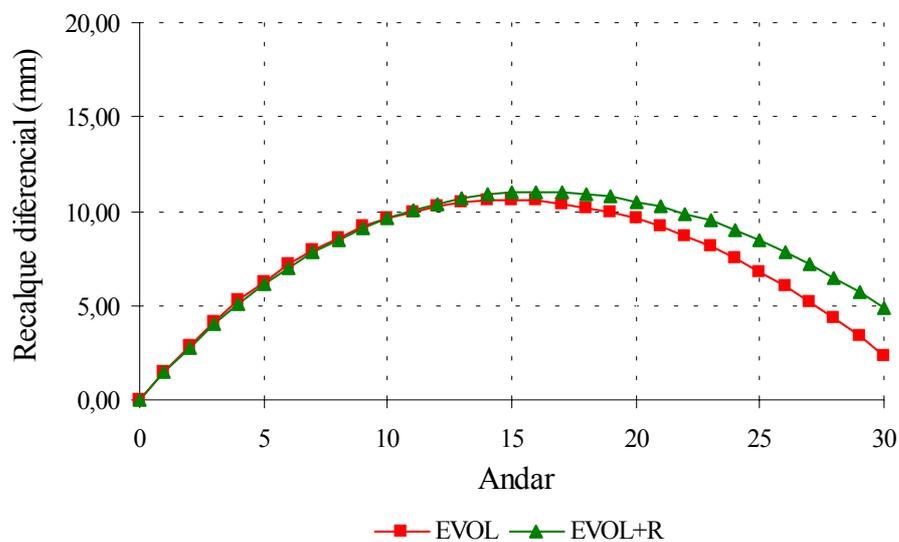


FIGURA 6.16 - Recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1 para os modelos EVOL e EVOL+R

Analisando o gráfico mostrado na FIG.6.16, verifica-se que os modelos EVOL e EVOL+R apresentam comportamento semelhante em relação aos recalques diferenciais entre os pilares P5 e P1. Porém, os valores numéricos obtidos para os recalques diferenciais através dos dois modelos são diferentes.

7

HISTÓRICO DE ESFORÇOS NO MODELO EVOL+R

O modelo de cálculo evolutivo, conforme já dito anteriormente, permite que se tenha um histórico de esforços a partir do momento que o elemento é colocado na estrutura e carregado pela primeira vez. Este histórico permite verificar em que etapa de construção e carregamento o elemento é mais solicitado e quais os valores dos esforços que atuam sobre o elemento naquele instante.

Neste capítulo apresentam-se históricos de esforços obtidos usando-se o modelo EVOL+R. Analisam-se as seguintes grandezas:

- a) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar;
- b) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar;
- c) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar;
- d) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar;
- e) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar;
- f) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar;
- g) momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar;
- h) momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 1º andar;
- i) momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar;

- j) momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar;
- k) momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar;
- l) momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar.

Adota-se a seguinte convenção de sinais para os momentos fletores das vigas e lajes: positivos quando tracionam as fibras inferiores e negativos quando tracionam as fibras superiores.

Os valores das grandezas são obtidos para cada um dos 33 carregamentos, juntamente com os elementos finitos onde estes valores ocorrem. Objetivando a visualização destes elementos, faz-se a FIG.7.1 mostrando a numeração dos elementos finitos de referência para as vigas V2 e lajes. Devido à dupla simetria, consideram-se apenas um vão das vigas V2 e um quadrante das lajes.

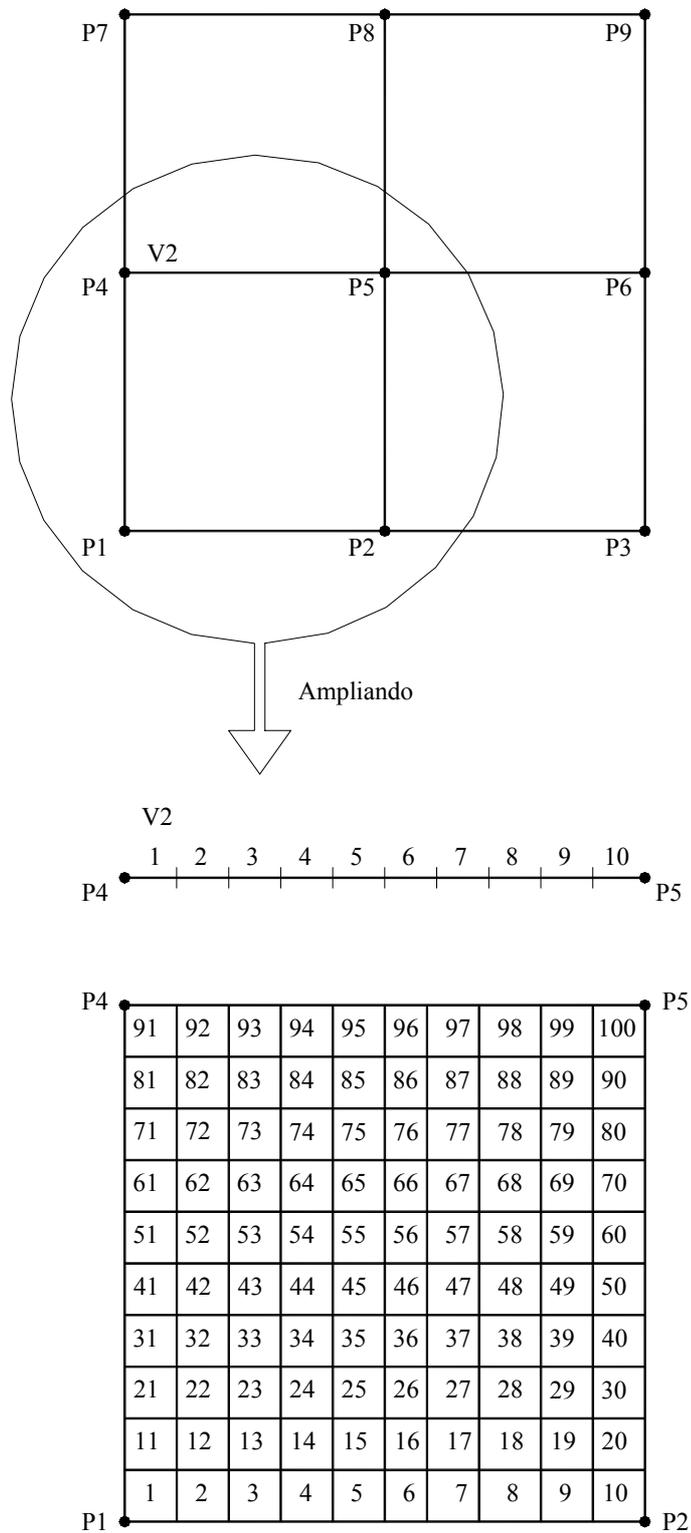


FIGURA 7.1 – Numeração dos elementos finitos de referência para as vigas V2 e lajes

7.1 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.1.

TABELA 7.1 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	-217,82	1
2	-211,11	1
3	-358,97	1
4	-360,81	1
5	-362,07	1
6	-363,06	1
7	-364,03	1
8	-364,98	1
9	-365,90	1
10	-366,78	1
11	-367,64	1
12	-368,45	1
13	-369,24	1
14	-369,99	1
15	-370,70	1
16	-371,38	1
17	-372,03	1
18	-372,65	1
19	-373,24	1
20	-373,79	1
21	-374,32	1
22	-374,82	1
23	-375,30	1
24	-375,75	1
25	-376,18	1
26	-376,58	1
27	-376,96	1
28	-377,33	1
29	-377,67	1
30	-378,31	1
31	-378,48	1
32	-378,66	1
33	-322,18	1

Com os dados da TAB.7.1 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.2.

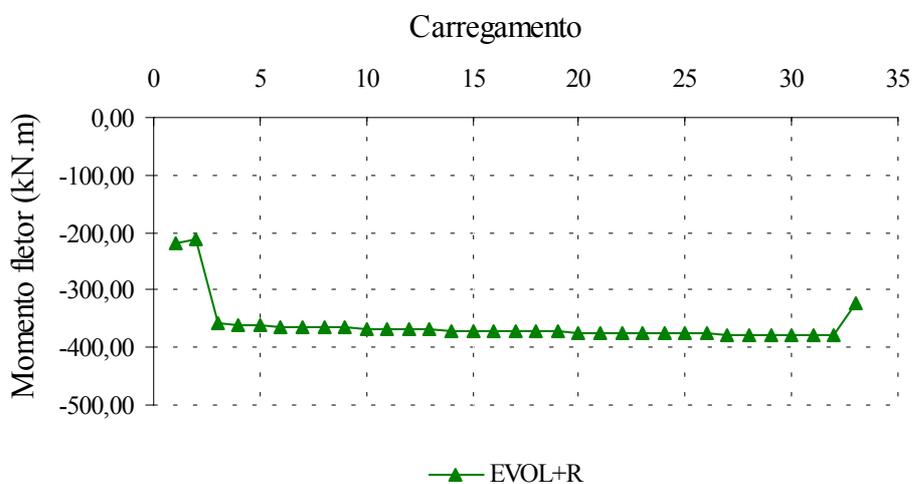


FIGURA 7.2 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.2 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor negativo máximo das vigas V2 no 1º andar para o carregamento final é menor, em módulo, do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar ocorrem junto a seu pilar externo ao longo dos 33 carregamentos.

7.2 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.2.

TABELA 7.2 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	126,02	5
2	121,09	5
3	201,71	5
4	201,51	5
5	201,45	5
6	201,45	5
7	201,44	5
8	201,44	5
9	201,43	5
10	201,43	5
11	201,42	5
12	201,42	5
13	201,41	5
14	201,41	5
15	201,40	5
16	201,40	5
17	201,39	5
18	201,39	5
19	201,39	5
20	201,38	5
21	201,38	5
22	201,37	5
23	201,37	5
24	201,37	5
25	201,36	5
26	201,36	5
27	201,36	5
28	201,35	5
29	201,35	5
30	201,35	5
31	201,35	5
32	201,34	5
33	168,13	5

Com os dados da TAB.7.2 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.3.

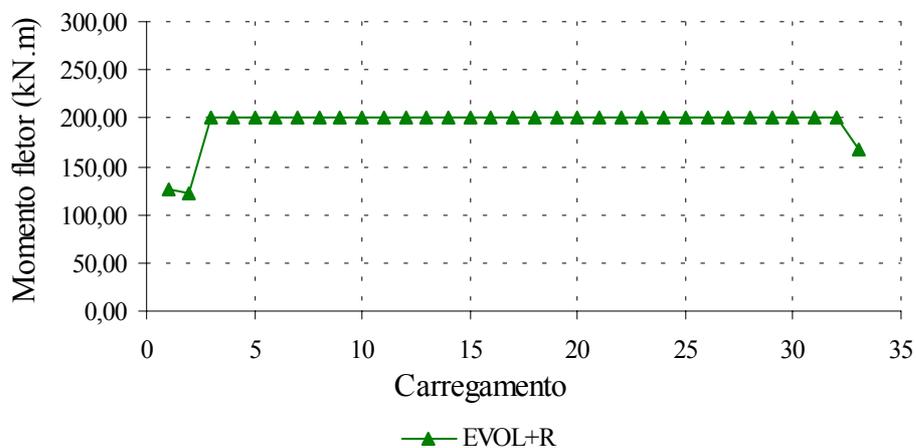


FIGURA 7.3 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.3 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor positivo máximo das vigas V2 no 1º andar para o carregamento final é menor do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar ocorrem no elemento de referência 5 ao longo dos 33 carregamentos.

7.3 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.3.

TABELA 7.3 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	-225,22	1
16	-127,22	1
17	-284,76	1
18	-296,17	1
19	-306,55	1
20	-316,15	1
21	-325,26	1
22	-333,89	1
23	-342,07	1
24	-349,81	1
25	-357,14	1
26	-364,07	1
27	-370,62	1
28	-376,81	1
29	-382,67	1
30	-393,82	1
31	-396,77	1
32	-399,81	1
33	-469,79	1

Com os dados da TAB.7.3 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.4.

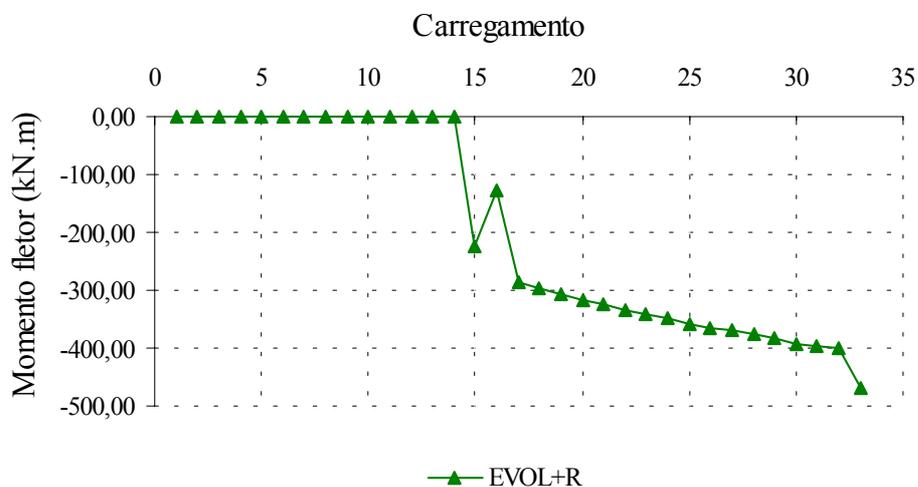


FIGURA 7.4 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.4 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar ocorrem junto a seu pilar externo ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.4.

TABELA 7.4 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	126,78	5
16	63,92	5
17	144,60	5
18	144,37	5
19	144,29	6
20	144,31	6
21	144,32	6
22	144,33	6
23	144,34	6
24	144,35	6
25	144,36	6
26	144,36	6
27	144,37	6
28	145,33	6
29	146,44	6
30	148,54	6
31	149,10	6
32	149,68	6
33	175,07	6

Com os dados da TAB.7.4 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.5.

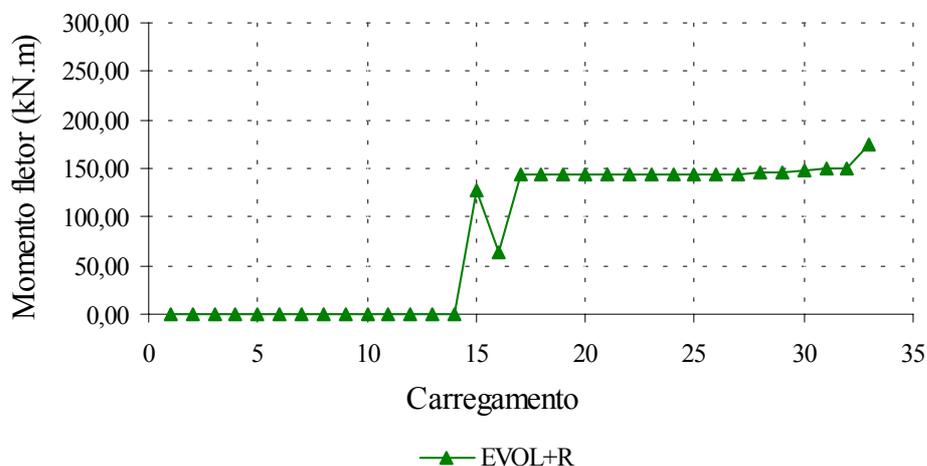


FIGURA 7.5 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.5 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar ocorrem no elemento de referência 5 para os carregamentos 15 a 18 e no elemento de referência 6 para os carregamentos 19 a 33.

7.5 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.5.

TABELA 7.5 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	-272,98	10
31	-264,29	10
32	-397,84	10
33	-447,41	1

Com os dados da TAB.7.5 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.6.

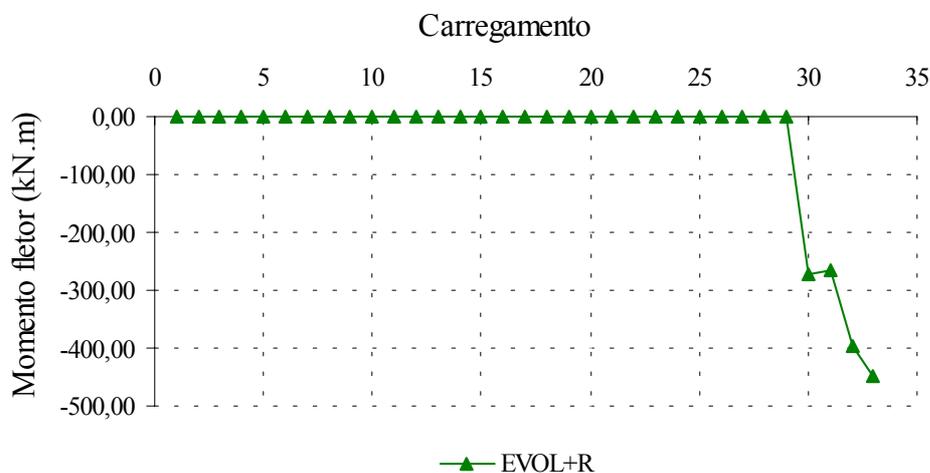


FIGURA 7.6 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.6 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar ocorrem junto a seu pilar central ao longo dos carregamentos 30 a 32 e junto a seu pilar externo no carregamento 33.

7.6 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.6.

TABELA 7.6 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	158,66	7
31	161,81	7
32	218,62	6
33	245,73	6

Com os dados da TAB.7.6 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.7.

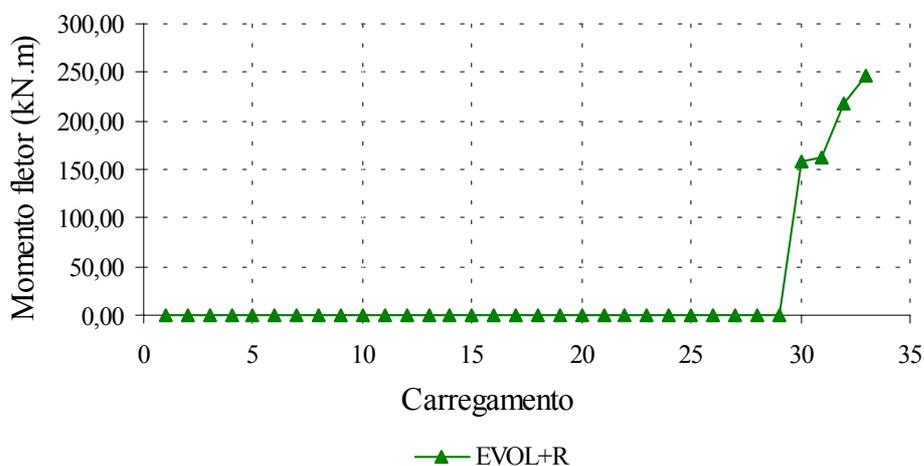


FIGURA 7.7 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.7 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar ocorrem no elemento de referência 7 para os carregamentos 30 e 31 e no elemento de referência 6 para os carregamentos 32 e 33.

7.7 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.7.

TABELA 7.7 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	-15,26	50
2	-16,16	50
3	-26,19	50
4	-26,17	50
5	-26,16	50
6	-26,15	50
7	-26,14	50
8	-26,13	50
9	-26,12	50
10	-26,11	50
11	-26,10	50
12	-26,09	50
13	-26,08	50
14	-26,07	50
15	-26,07	50
16	-26,06	50
17	-26,05	50
18	-26,04	50
19	-26,03	50
20	-26,03	50
21	-26,02	50
22	-26,01	50
23	-26,01	50
24	-26,00	50
25	-25,99	50
26	-25,99	50
27	-25,98	50
28	-25,98	50
29	-25,97	50
30	-25,96	50
31	-25,96	50
32	-25,96	50
33	-21,02	50

Com os dados da TAB.7.7 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.8.

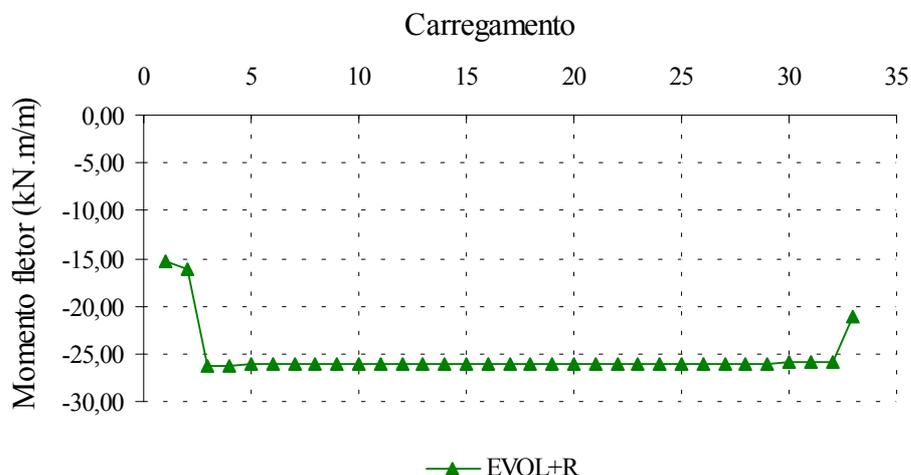


FIGURA 7.8 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.8 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor negativo M_x máximo da laje no 1º andar para o carregamento final é menor, em módulo, do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que a laje no 1º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar ocorrem no elemento de referência 50 ao longo dos 33 carregamentos.

7.8 – Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.8.

TABELA 7.8 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos M_x máximos na laje - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	11,01	45
2	11,55	45
3	18,72	45
4	18,72	45
5	18,72	45
6	18,72	45
7	18,72	45
8	18,72	45
9	18,72	45
10	18,72	45
11	18,72	45
12	18,72	45
13	18,73	45
14	18,73	45
15	18,73	45
16	18,73	45
17	18,73	45
18	18,73	45
19	18,73	45
20	18,73	45
21	18,73	45
22	18,73	45
23	18,73	45
24	18,73	45
25	18,73	45
26	18,73	45
27	18,73	45
28	18,73	45
29	18,73	45
30	18,73	45
31	18,73	45
32	18,73	45
33	15,26	45

Com os dados da TAB.7.8 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.9.

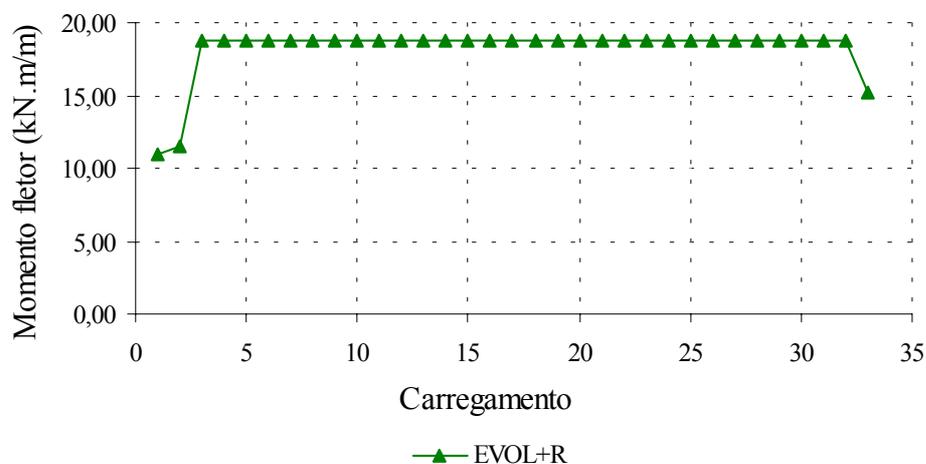


FIGURA 7.9 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.9 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor positivo M_x máximo da laje no 1º andar para o carregamento final é menor do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que a laje no 1º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos 33 carregamentos.

7.9 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.9.

TABELA 7.9 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	-15,13	50
16	-7,37	50
17	-17,27	50
18	-17,14	50
19	-17,02	50
20	-16,90	50
21	-16,78	50
22	-16,67	50
23	-16,56	50
24	-16,46	50
25	-16,36	50
26	-16,27	50
27	-16,18	50
28	-16,09	50
29	-16,01	50
30	-15,89	50
31	-15,84	50
32	-15,80	50
33	-19,10	50

Com os dados da TAB.7.9 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.10.

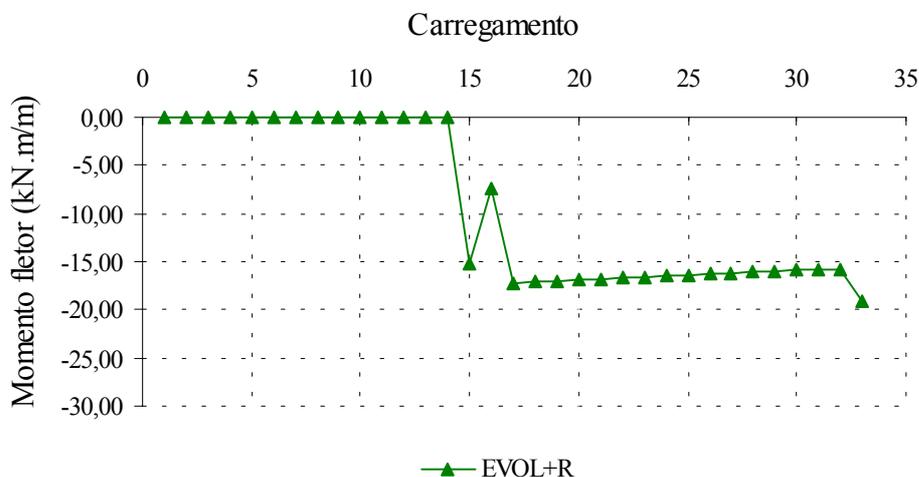


FIGURA 7.10 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.10 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar somente é solicitada a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar ocorrem no elemento de referência 50 ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.10 – Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15° andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15° andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.10.

TABELA 7.10 - Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15° andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos Mx máximos na laje - 15° andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	11,03	45
16	5,54	45
17	12,72	45
18	12,73	45
19	12,73	45
20	12,74	45
21	12,75	45
22	12,75	45
23	12,76	45
24	12,76	45
25	12,77	45
26	12,78	45
27	12,78	45
28	12,79	45
29	12,79	45
30	12,80	45
31	12,80	45
32	12,80	45
33	15,39	45

Com os dados da TAB.7.10 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.11.

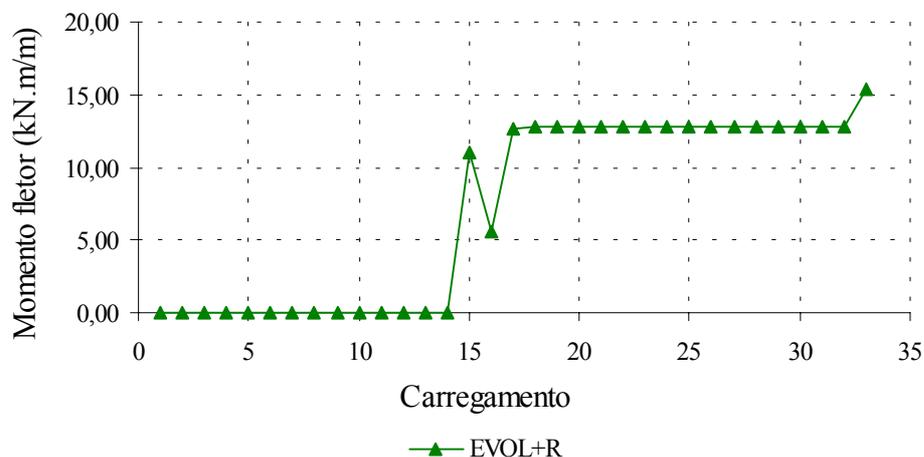


FIGURA 7.11 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.11 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar somente é solicitada a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.11 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.11.

TABELA 7.11 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	-6,79	40
31	-6,71	40
32	-16,39	50
33	-19,59	50

Com os dados da TAB.7.11 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.12.

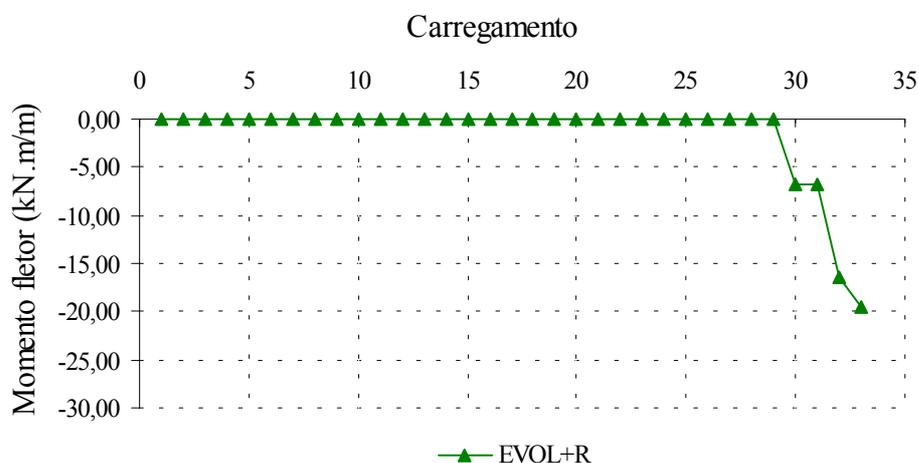


FIGURA 7.12 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.12 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar somente é solicitada a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar ocorrem no elemento de referência 40 para os carregamentos 30 e 31 e no elemento de referência 50 para os carregamentos 32 e 33.

7.12 – Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.12.

TABELA 7.12 - Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos Mx máximos na laje - 30° andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	5,73	45
31	5,73	45
32	12,94	45
33	15,55	45

Com os dados da TAB.7.12 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.13.

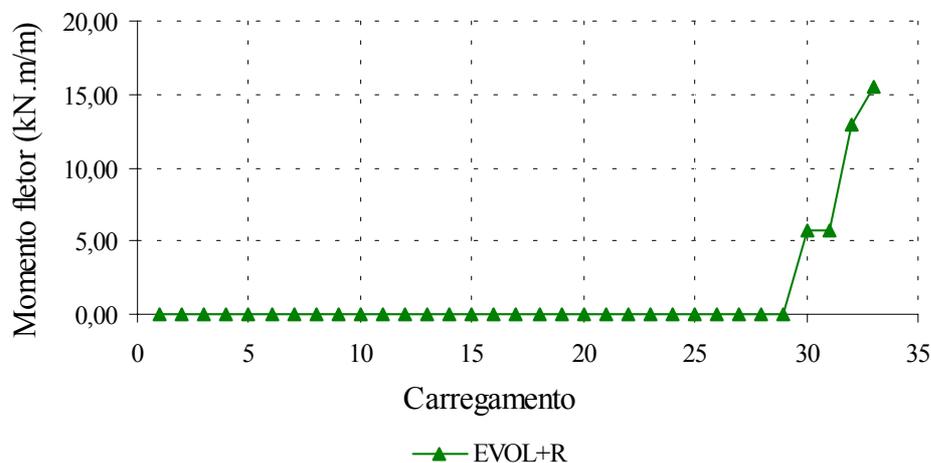


FIGURA 7.13 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.13 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar somente é solicitada a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos carregamentos 30 a 33.

7

HISTÓRICO DE ESFORÇOS NO MODELO EVOL+R

O modelo de cálculo evolutivo, conforme já dito anteriormente, permite que se tenha um histórico de esforços a partir do momento que o elemento é colocado na estrutura e carregado pela primeira vez. Este histórico permite verificar em que etapa de construção e carregamento o elemento é mais solicitado e quais os valores dos esforços que atuam sobre o elemento naquele instante.

Neste capítulo apresentam-se históricos de esforços obtidos usando-se o modelo EVOL+R. Analisam-se as seguintes grandezas:

- a) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar;
- b) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar;
- c) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar;
- d) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar;
- e) momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar;
- f) momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar;
- g) momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar;
- h) momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 1º andar;
- i) momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar;

- j) momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar;
- k) momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar;
- l) momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar.

Adota-se a seguinte convenção de sinais para os momentos fletores das vigas e lajes: positivos quando tracionam as fibras inferiores e negativos quando tracionam as fibras superiores.

Os valores das grandezas são obtidos para cada um dos 33 carregamentos, juntamente com os elementos finitos onde estes valores ocorrem. Objetivando a visualização destes elementos, faz-se a FIG.7.1 mostrando a numeração dos elementos finitos de referência para as vigas V2 e lajes. Devido à dupla simetria, consideram-se apenas um vão das vigas V2 e um quadrante das lajes.

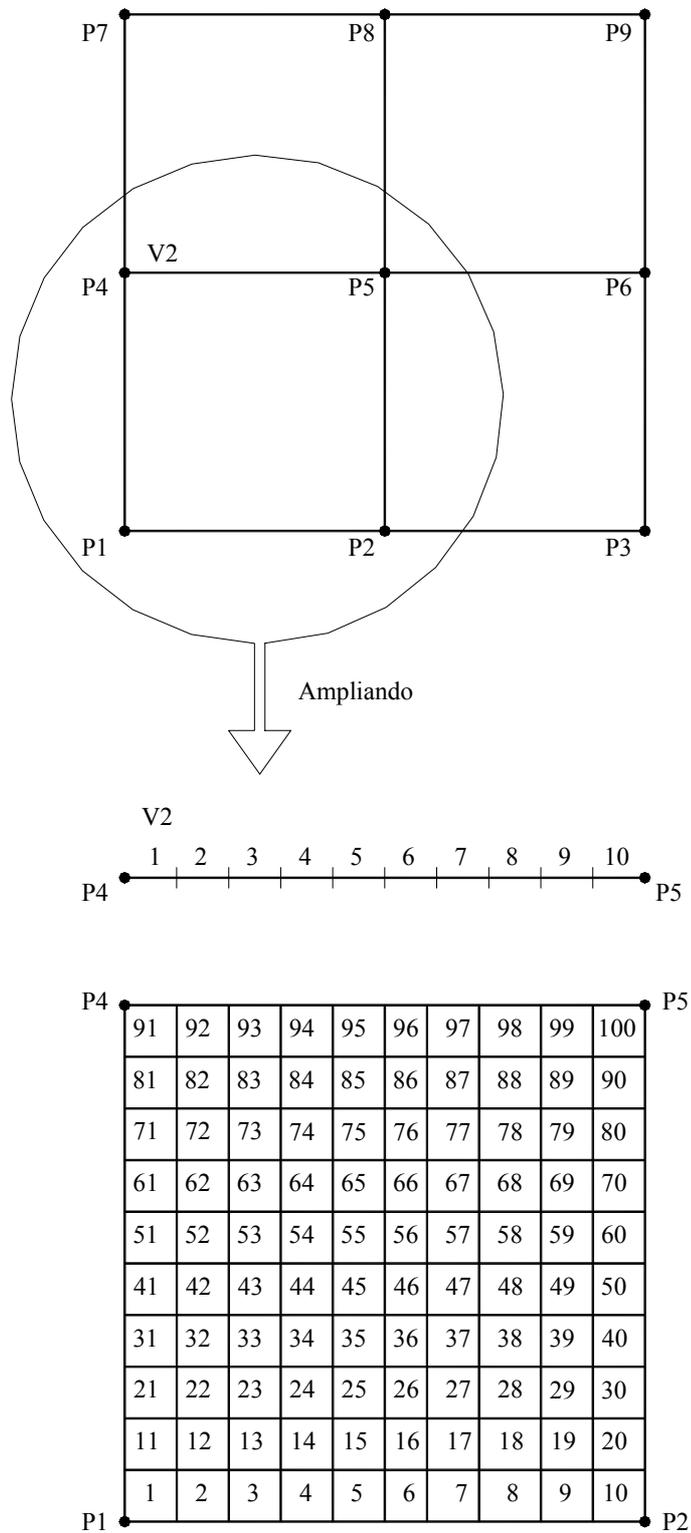


FIGURA 7.1 – Numeração dos elementos finitos de referência para as vigas V2 e lajes

7.1 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.1.

TABELA 7.1 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	-217,82	1
2	-211,11	1
3	-358,97	1
4	-360,81	1
5	-362,07	1
6	-363,06	1
7	-364,03	1
8	-364,98	1
9	-365,90	1
10	-366,78	1
11	-367,64	1
12	-368,45	1
13	-369,24	1
14	-369,99	1
15	-370,70	1
16	-371,38	1
17	-372,03	1
18	-372,65	1
19	-373,24	1
20	-373,79	1
21	-374,32	1
22	-374,82	1
23	-375,30	1
24	-375,75	1
25	-376,18	1
26	-376,58	1
27	-376,96	1
28	-377,33	1
29	-377,67	1
30	-378,31	1
31	-378,48	1
32	-378,66	1
33	-322,18	1

Com os dados da TAB.7.1 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.2.

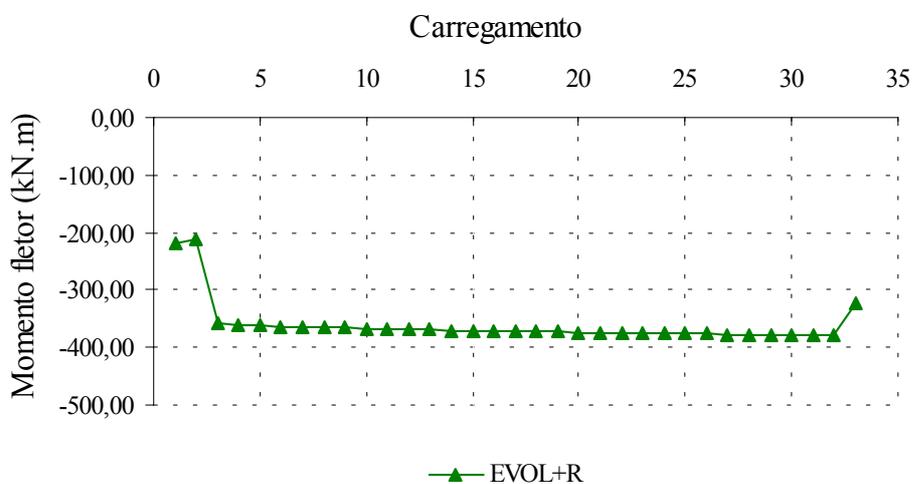


FIGURA 7.2 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.2 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor negativo máximo das vigas V2 no 1º andar para o carregamento final é menor, em módulo, do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 1º andar ocorrem junto a seu pilar externo ao longo dos 33 carregamentos.

7.2 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.2.

TABELA 7.2 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	126,02	5
2	121,09	5
3	201,71	5
4	201,51	5
5	201,45	5
6	201,45	5
7	201,44	5
8	201,44	5
9	201,43	5
10	201,43	5
11	201,42	5
12	201,42	5
13	201,41	5
14	201,41	5
15	201,40	5
16	201,40	5
17	201,39	5
18	201,39	5
19	201,39	5
20	201,38	5
21	201,38	5
22	201,37	5
23	201,37	5
24	201,37	5
25	201,36	5
26	201,36	5
27	201,36	5
28	201,35	5
29	201,35	5
30	201,35	5
31	201,35	5
32	201,34	5
33	168,13	5

Com os dados da TAB.7.2 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.3.

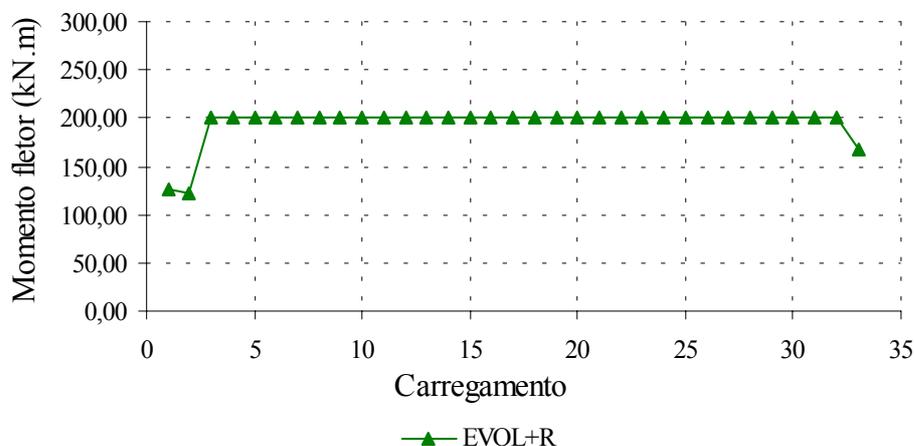


FIGURA 7.3 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.3 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor positivo máximo das vigas V2 no 1º andar para o carregamento final é menor do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 1º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 1º andar ocorrem no elemento de referência 5 ao longo dos 33 carregamentos.

7.3 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.3.

TABELA 7.3 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	-225,22	1
16	-127,22	1
17	-284,76	1
18	-296,17	1
19	-306,55	1
20	-316,15	1
21	-325,26	1
22	-333,89	1
23	-342,07	1
24	-349,81	1
25	-357,14	1
26	-364,07	1
27	-370,62	1
28	-376,81	1
29	-382,67	1
30	-393,82	1
31	-396,77	1
32	-399,81	1
33	-469,79	1

Com os dados da TAB.7.3 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.4.

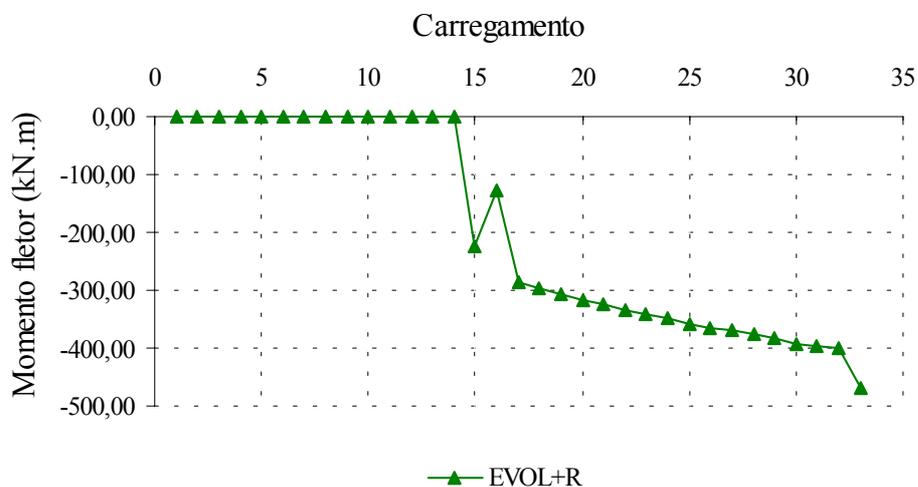


FIGURA 7.4 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.4 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 15º andar ocorrem junto a seu pilar externo ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.4 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.4.

TABELA 7.4 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	126,78	5
16	63,92	5
17	144,60	5
18	144,37	5
19	144,29	6
20	144,31	6
21	144,32	6
22	144,33	6
23	144,34	6
24	144,35	6
25	144,36	6
26	144,36	6
27	144,37	6
28	145,33	6
29	146,44	6
30	148,54	6
31	149,10	6
32	149,68	6
33	175,07	6

Com os dados da TAB.7.4 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.5.

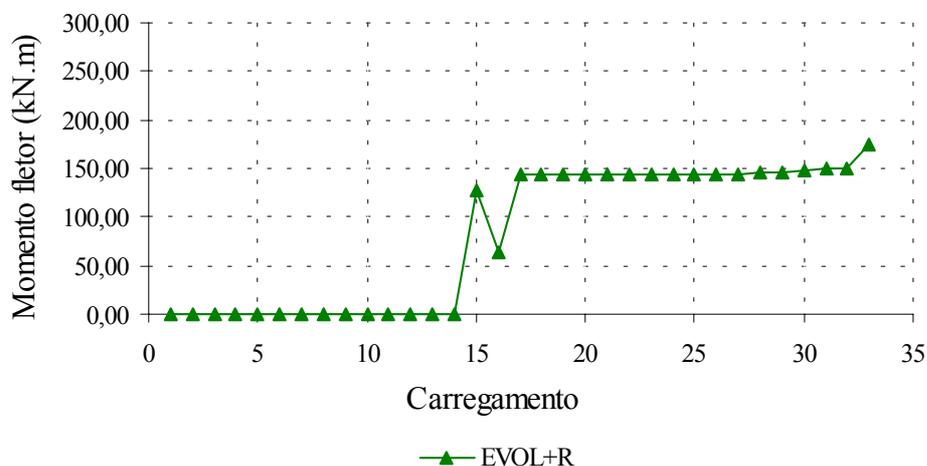


FIGURA 7.5 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.5 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 15º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 15º andar ocorrem no elemento de referência 5 para os carregamentos 15 a 18 e no elemento de referência 6 para os carregamentos 19 a 33.

7.5 – Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.5.

TABELA 7.5 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	-272,98	10
31	-264,29	10
32	-397,84	10
33	-447,41	1

Com os dados da TAB.7.5 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.6.

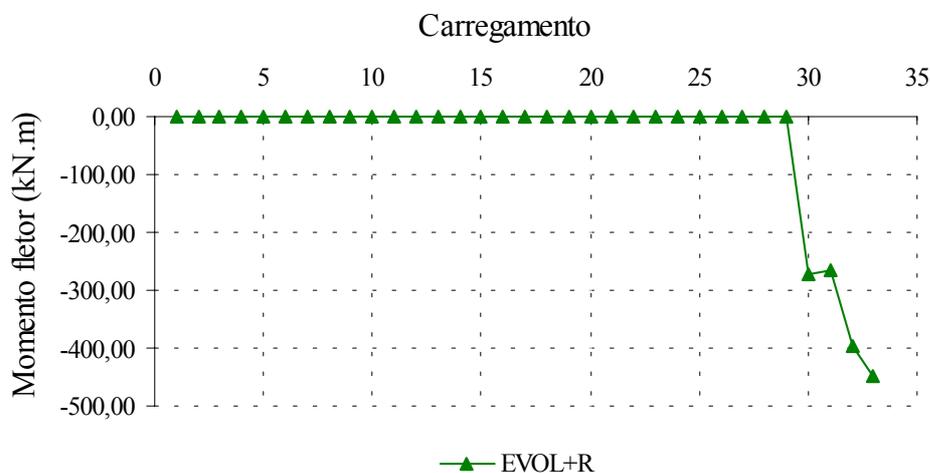


FIGURA 7.6 - Momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.6 representa o histórico dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores negativos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos máximos das vigas V2 no 30º andar ocorrem junto a seu pilar central ao longo dos carregamentos 30 a 32 e junto a seu pilar externo no carregamento 33.

7.6 – Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.6.

TABELA 7.6 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	158,66	7
31	161,81	7
32	218,62	6
33	245,73	6

Com os dados da TAB.7.6 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.7.

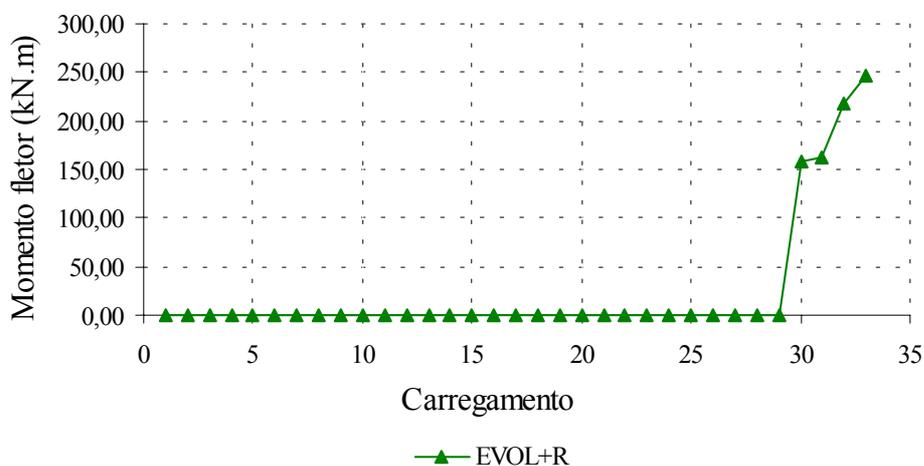


FIGURA 7.7 - Momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.7 representa o histórico dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar para o modelo EVOL+R são mais solicitadas pelos momentos fletores positivos que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que as vigas V2 no 30º andar somente são solicitadas a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos máximos das vigas V2 no 30º andar ocorrem no elemento de referência 7 para os carregamentos 30 e 31 e no elemento de referência 6 para os carregamentos 32 e 33.

7.7 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.7.

TABELA 7.7 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	-15,26	50
2	-16,16	50
3	-26,19	50
4	-26,17	50
5	-26,16	50
6	-26,15	50
7	-26,14	50
8	-26,13	50
9	-26,12	50
10	-26,11	50
11	-26,10	50
12	-26,09	50
13	-26,08	50
14	-26,07	50
15	-26,07	50
16	-26,06	50
17	-26,05	50
18	-26,04	50
19	-26,03	50
20	-26,03	50
21	-26,02	50
22	-26,01	50
23	-26,01	50
24	-26,00	50
25	-25,99	50
26	-25,99	50
27	-25,98	50
28	-25,98	50
29	-25,97	50
30	-25,96	50
31	-25,96	50
32	-25,96	50
33	-21,02	50

Com os dados da TAB.7.7 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.8.

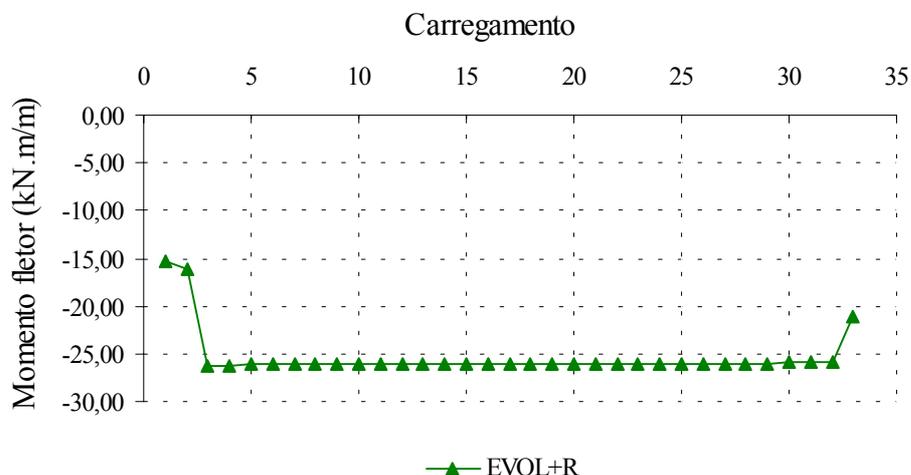


FIGURA 7.8 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.8 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor negativo M_x máximo da laje no 1º andar para o carregamento final é menor, em módulo, do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que a laje no 1º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 1º andar ocorrem no elemento de referência 50 ao longo dos 33 carregamentos.

7.8 – Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.8.

TABELA 7.8 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos M_x máximos na laje - 1º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	11,01	45
2	11,55	45
3	18,72	45
4	18,72	45
5	18,72	45
6	18,72	45
7	18,72	45
8	18,72	45
9	18,72	45
10	18,72	45
11	18,72	45
12	18,72	45
13	18,73	45
14	18,73	45
15	18,73	45
16	18,73	45
17	18,73	45
18	18,73	45
19	18,73	45
20	18,73	45
21	18,73	45
22	18,73	45
23	18,73	45
24	18,73	45
25	18,73	45
26	18,73	45
27	18,73	45
28	18,73	45
29	18,73	45
30	18,73	45
31	18,73	45
32	18,73	45
33	15,26	45

Com os dados da TAB.7.8 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.9.

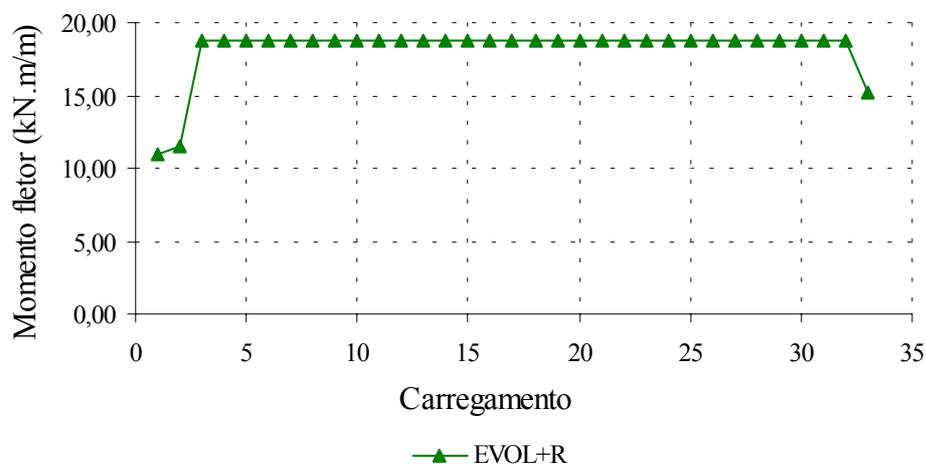


FIGURA 7.9 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.9 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Percebe-se, neste exemplo, que o valor do momento fletor positivo M_x máximo da laje no 1º andar para o carregamento final é menor do que os valores dos momentos fletores para os carregamentos 3 a 32. Isto ocorre devido à sobrecarga temporária que atua sobre a laje do 1º andar, utilizada durante a construção como uma área de armazenamento de materiais.

Portanto, verifica-se, neste exemplo, que a laje no 1º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem durante a construção.

Percebe-se, neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 1º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos 33 carregamentos.

7.9 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.9.

TABELA 7.9 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	-15,13	50
16	-7,37	50
17	-17,27	50
18	-17,14	50
19	-17,02	50
20	-16,90	50
21	-16,78	50
22	-16,67	50
23	-16,56	50
24	-16,46	50
25	-16,36	50
26	-16,27	50
27	-16,18	50
28	-16,09	50
29	-16,01	50
30	-15,89	50
31	-15,84	50
32	-15,80	50
33	-19,10	50

Com os dados da TAB.7.9 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.10.

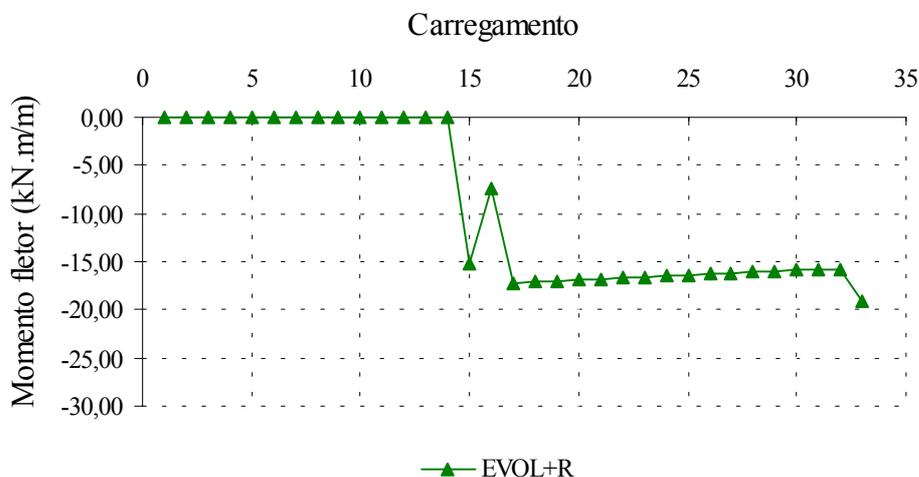


FIGURA 7.10 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.10 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar somente é solicitada a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 15º andar ocorrem no elemento de referência 50 ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.10 – Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15º andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.10.

TABELA 7.10 - Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos Mx máximos na laje - 15º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	11,03	45
16	5,54	45
17	12,72	45
18	12,73	45
19	12,73	45
20	12,74	45
21	12,75	45
22	12,75	45
23	12,76	45
24	12,76	45
25	12,77	45
26	12,78	45
27	12,78	45
28	12,79	45
29	12,79	45
30	12,80	45
31	12,80	45
32	12,80	45
33	15,39	45

Com os dados da TAB.7.10 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.11.

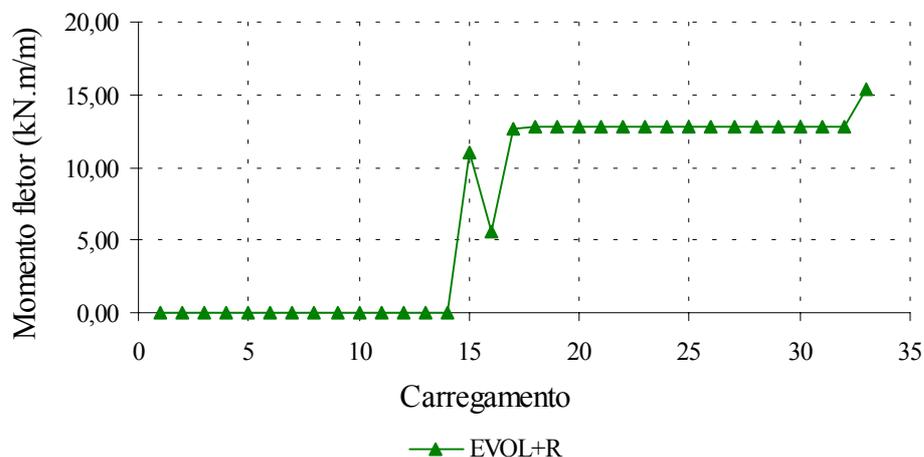


FIGURA 7.11 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.11 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 15º andar somente é solicitada a partir do carregamento 15. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 15º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos carregamentos 15 a 33.

7.11 – Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar, em módulo, ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.11.

TABELA 7.11 - Momentos fletores negativos Mx máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores negativos Mx máximos na laje - 30º andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	-6,79	40
31	-6,71	40
32	-16,39	50
33	-19,59	50

Com os dados da TAB.7.11 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.12.

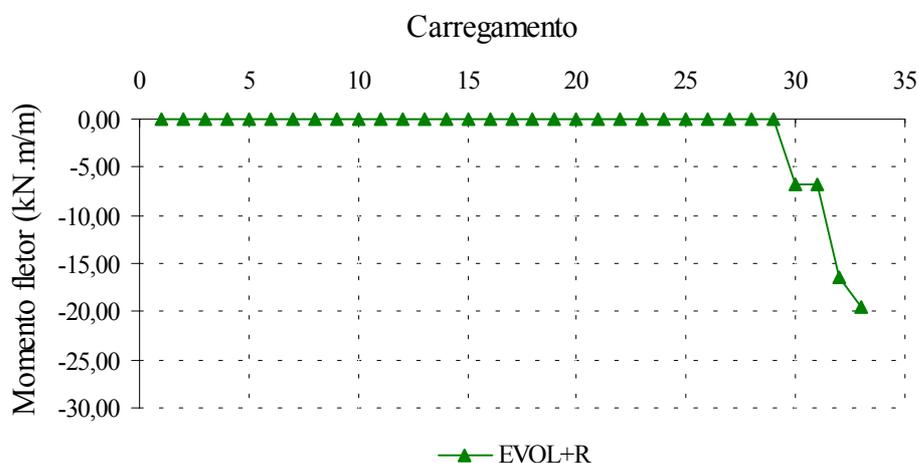


FIGURA 7.12 - Momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.12 representa o histórico dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores negativos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar somente é solicitada a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores negativos M_x máximos da laje no 30º andar ocorrem no elemento de referência 40 para os carregamentos 30 e 31 e no elemento de referência 50 para os carregamentos 32 e 33.

7.12 – Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar

Obtêm-se os valores dos momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar ao longo dos 33 carregamentos para o modelo EVOL+R. Os valores obtidos assim como os elementos de referência onde estes valores ocorrem são mostrados na TAB.7.12.

TABELA 7.12 - Momentos fletores positivos Mx máximos da laje no 30° andar para o modelo EVOL+R

Momentos fletores positivos Mx máximos na laje - 30° andar		
Carregamento	Momento (kN.m/m)	Elemento referência
1	0,00	x
2	0,00	x
3	0,00	x
4	0,00	x
5	0,00	x
6	0,00	x
7	0,00	x
8	0,00	x
9	0,00	x
10	0,00	x
11	0,00	x
12	0,00	x
13	0,00	x
14	0,00	x
15	0,00	x
16	0,00	x
17	0,00	x
18	0,00	x
19	0,00	x
20	0,00	x
21	0,00	x
22	0,00	x
23	0,00	x
24	0,00	x
25	0,00	x
26	0,00	x
27	0,00	x
28	0,00	x
29	0,00	x
30	5,73	45
31	5,73	45
32	12,94	45
33	15,55	45

Com os dados da TAB.7.12 faz-se o gráfico mostrado na FIG.7.13.

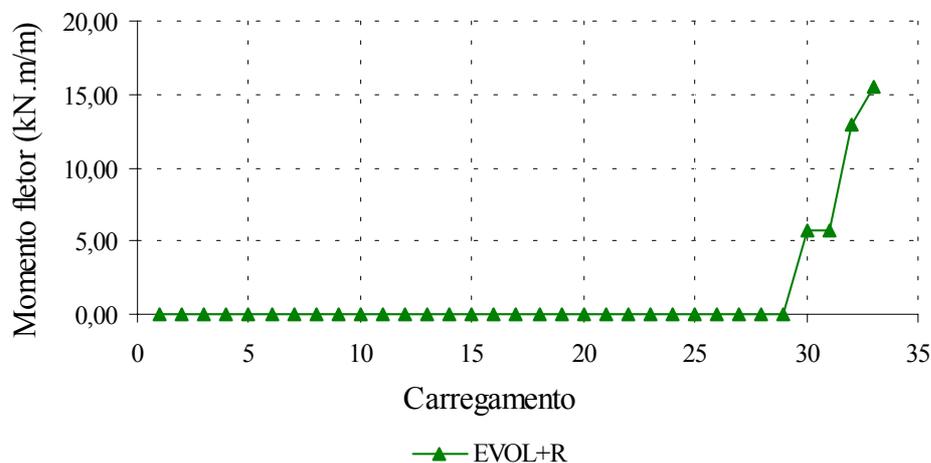


FIGURA 7.13 - Momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R

O gráfico mostrado na FIG.7.13 representa o histórico dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar para o modelo EVOL+R. Nele podem-se ver as variações sofridas pelos momentos fletores ao longo dos carregamentos.

Verifica-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar para o modelo EVOL+R é mais solicitada pelos momentos fletores positivos M_x que ocorrem quando a estrutura está pronta com o carregamento final atuando.

Observa-se, neste exemplo, que a laje no 30º andar somente é solicitada a partir do carregamento 30. Percebe-se, também neste exemplo, que os valores dos momentos fletores positivos M_x máximos da laje no 30º andar ocorrem no elemento de referência 45 ao longo dos carregamentos 30 a 33.

8

CONCLUSÕES

A análise da estrutura em questão através de diferentes modelos estruturais permite que se façam algumas considerações a respeito dos resultados obtidos.

Para a estrutura analisada, as comparações entre os modelos EVOL, CDA e SDA mostram que:

- a) diversos valores dos momentos fletores nas vigas V1 e V2 obtidos através dos três modelos são bastante discrepantes entre si;
- b) de modo geral, os valores dos momentos fletores nas lajes obtidos através dos três modelos, apesar de comportamento semelhante ao das vigas, não variam significativamente;
- c) tomando como referência o modelo SDA, há uma transferência de carga entre o pilar P5 (pilar central) e o pilar P1 (pilar de canto) nos modelos EVOL e CDA. Esta transferência de carga é mais acentuada no modelo CDA. A carga no pilar P2, todavia, permanece praticamente a mesma nos três modelos;

d) os recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5 têm comportamento semelhante aos momentos fletores nas vigas V1, V2 e nas lajes. Estes recalques diferenciais entre os pilares influenciam os esforços que solicitam a estrutura;

e) os recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5 no modelo CDA crescem do 1º andar até o topo do edifício, onde atingem seus valores máximos. Isto ocorre porque, como no modelo CDA a estrutura é carregada somente após concluída, recalques diferenciais ocorridos nos andares inferiores afetam os andares superiores. A realidade, todavia, é outra, pois além do carregamento permanente ser introduzido gradativamente ao longo da construção, vigas e pilares antes de serem rigidamente unidos entre si são, respectivamente, niveladas e verticalizados. Assim sendo, no modelo CDA recalques diferenciais inexistentes acumulam-se ao longo dos andares, levando a valores incorretos dos esforços nos elementos estruturais;

f) os recalques diferenciais entre os pilares P1, P2 e P5 no modelo CDA são maiores do que no modelo EVOL. Além disto, a variação percentual destes recalques no modelo CDA também é maior do que no modelo EVOL.

As discrepâncias entre os valores dos momentos fletores nas vigas V1 e V2 obtidos através dos modelos EVOL, CDA e SDA para a estrutura analisada são resultantes dos recalques diferenciais entre os pilares. Segundo COELHO (2003), estas diferenças podem ser minimizadas através da uniformização das tensões normais médias em todos os pilares de cada andar, fazendo com que os recalques diferenciais entre eles tendam para zero.

Na estrutura em questão, os valores dos momentos fletores nas lajes obtidos através dos três modelos, de um modo geral, não variam significativamente. Este comportamento é diferente do encontrado para as estruturas constituídas de lajes lisas e pilares, sem vigamento, analisadas por CARVALHO e VASCONCELLOS FILHO (2003) e por MATEUS (2003). Nestas estruturas verifica-se que as variações dos momentos fletores nas lajes ao longo da altura do edifício são significativas. Os recalques diferenciais entre os pilares de um mesmo andar afetam os momentos fletores das lajes, sendo elas

responsáveis pela transferência de carga entre os pilares. Já na estrutura analisada neste trabalho, constituída de lajes, vigas e pilares, os valores dos momentos fletores obtidos através dos três modelos variam mais nas vigas do que nas lajes. Nesta estrutura os recalques diferenciais entre os pilares afetam mais os momentos fletores das vigas, sendo elas as principais responsáveis pela transferência de carga entre os pilares, tendo as lajes pequena participação nesta transferência.

Para a estrutura em questão, as comparações entre os modelos EVOL e EVOL+R mostram que os dois modelos apresentam comportamento semelhante em relação às grandezas analisadas. Porém, os valores numéricos obtidos para as grandezas através dos dois modelos são diferentes.

Ainda para a estrutura em questão, a princípio, considerando apenas os resultados finais obtidos através dos modelos EVOL e EVOL+R, pode-se questionar até que ponto justifica-se o uso do modelo EVOL+R em detrimento do modelo EVOL, visto que os resultados obtidos através dos dois modelos são próximos e o modelo EVOL+R é muito mais trabalhoso. Porém, o uso do modelo EVOL+R se justifica quando se analisam os valores dos esforços que ocorrem em etapas intermediárias de construção. O modelo EVOL+R, considerando as etapas de construção e carregamento mais próximas da realidade, consegue detectar variações de esforços ao longo da construção que o modelo EVOL não é capaz de captar. Naturalmente, quanto maior o número de informações incorporadas ao modelo que retratem a realidade, mais realista será o modelo e melhores serão os resultados obtidos. Em função disto, recomenda-se o uso do modelo EVOL+R.

Para a estrutura analisada, os históricos de esforços obtidos ao longo dos carregamentos usando o modelo EVOL+R mostram que:

- a) nem sempre a situação mais desfavorável para um determinado elemento estrutural ocorre quando a estrutura está concluída com o carregamento final atuando;
- b) um determinado elemento estrutural pode ser mais solicitado durante a construção;

c) os valores máximos dos esforços podem mudar de posição no elemento estrutural considerado.

As análises da estrutura em questão evidenciam de maneira muito clara a possibilidade de modelos estruturais diferentes apresentarem resultados significativamente distintos.

Conclui-se, baseado nas análises feitas, que o modelo de cálculo evolutivo, representado neste trabalho pelos modelos EVOL e EVOL+R, é superior aos modelos clássicos SDA (sem deformação axial) e CDA (com deformação axial).

Assim sendo, deve-se considerar o modelo de cálculo evolutivo como um modelo paradigma, procurando utilizá-lo na análise estrutural de edifícios altos.

O programa ANSYS versão 6.1, utilizado neste trabalho, possibilita o cálculo evolutivo tridimensional de estruturas através do método dos elementos finitos. Todavia, ele não detalha os elementos estruturais, diferentemente do que ocorre com outros programas que não realizam o cálculo evolutivo e são amplamente usados em escritórios de cálculo, limitando, desta forma, seu uso.

Faz-se necessário, devido ao grande aumento de trabalho envolvido, o desenvolvimento de programas que tornem viável o uso corrente do modelo de cálculo evolutivo em escritórios de cálculo estrutural.

Conforme já dito anteriormente, este trabalho faz parte da linha de pesquisa Análise e Modelagem de Estruturas de Edifícios Altos existente no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG. Este trabalho não esgota os assuntos desta linha de pesquisa, ficando esta aberta para futuros estudos.

BIBLIOGRAFIA

AÇOMINAS, SIDERBRÁS, *Edifícios de Andares Múltiplos*, 1979, Belo Horizonte, Aço Minas Gerais S.A.

ANSYS, Inc. *ANSYS 6.1 Documentation*, 2002, manual of program ANSYS.

CAMPOS, M.R.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Plenor – Um Software Didático e Amigável para Análise de Placas com Enrijecedores*, 1997, XVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Volume IV, p. 1467-1476.

CARVALHO, B.A.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Modelo para Análise Estrutural Evolutiva de Edifícios de Andares Múltiplos com Lajes Lisas*, 2003, XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto-MG.

CHOI, C.K.; KIM, E.D. *Multistory Frames Under Sequential Gravity Loads*, 1985, Journal of Structural Engineering, ASCE, v. 111, nº 11, Nov., p. 2373–2384.

COELHO, A.O.L. *Influência das Etapas de Construção e Carregamento na Análise de Pórticos Planos em Edifícios Altos*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

COELHO, A.O.L.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Análise Comparativa de Modelos Clássicos e Evolutivo para o Cálculo de Pórticos Planos de Edifícios Altos*, 2003, XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto-MG.

FINTEL, M. *Handbook of Concrete Engineering*, livro, 1974, Van Nostrand Reinhold Company.

FONTE, A.O.C.; SORIANO, H.L. *Influência do Efeito Construtivo Incremental em Edifícios Altos*, 1989, II Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, Escola Politécnica da USP.

GRUNDY, P.; KABAILA, A. *Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings*, 1963, ACI Structural Journal, v. 60, nº 12, Dec., p. 1729-1738.

KRIPKA, M. *Análise Incremental Construtiva de Edificações*, dissertação de mestrado, 1990, COPPE-UFRJ.

MATEUS, F.M. *Influência das Deformações Axiais dos Pilares e das Etapas de Construção e Carregamento na Análise Estrutural de Edifícios Altos com Lajes Lisas*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

OÑATE, E. *Calculo de Estructuras por el Metodo de Elementos Finitos – Análisis Estático Lineal*, livro, 1995, CIMNE.

PEREZ, G.B.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Comparação de Modelos Clássicos para Cálculo da Estrutura de um Edifício de Andares Múltiplos*, 2000, IV Simpósio Mineiro de Mecânica Computacional, Uberlândia - MG, p. 259-266.

PITANGUEIRA, R.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Uso do Programa PLENOR para Análise de Estruturas Reticuladas*, apostila, 1999, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Construction Load Analysis of Concrete Structures Using Computer 3D Models*, 1998a, Computational Mechanics – CIMNE, Barcelona.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Panorama sobre Ações Construtivas em Estruturas de Edifícios em Concreto Armado*, 1998b, Revista IBRACON, nº 21, Abr.–Jul., p. 21–31.

SELVARAJ, S.; SHARMA, S.P. *Influence of Construction Sequence on the Stresses in Tall Building Frames*, 1974, Regional Conference on Tall Buildings, Bangkok, Jan., p. 197–211.

SMITH, B.S.; COULL, A. *Tall Building Structures: Analysis and Design*, livro, 1991, John Wiley and Sons, Inc.

UGURAL, A.C. *Stresses in Plates and Shells*, livro, 1981, McGraw-Hill Book Company.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Análise Estrutural de Edifícios Altos – Cópias de Transparências*, apostila, 2002, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Edifícios de Andares Múltiplos*, tese apresentada em concurso de professor titular, 1981, Edições Engenharia, Escola de Engenharia da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Teoria das Estruturas: Método dos Deslocamentos, Processo de Cross, Tabelas*, livro, 1986, Escola de Engenharia da UFMG, Imprensa Universitária.

VASCONCELLOS FILHO, A.; CAMPOS, M.R. *Programa PLENOR – Exemplos de Aplicação*, apostila, 1996, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A.; MAIA, E.V.; SILVA, R.P. *Programas para Cálculo de Estruturas de Barras*, apostila, 1995, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

WEAVER Jr., W.; GERE, J.M. *Matrix Analysis of Framed Structures*, livro, 1990, Van Nostrand Reinhold.

WEAVER Jr., W.; JOHNSTON, P.R. *Finite Elements for Structural Analysis*, livro, 1984, Prentice-Hall.