

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**“ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE
EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO QUANDO
PROJETADOS PELA NBR-6118:2003 E NBR-6118:1978”**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNICAP
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

CARLOS WAGNE FERREIRA DE SOUZA MAGALHÃES

Orientador: Prof. Dr. Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte

RECIFE, 2006

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**“ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE
EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO QUANDO
PROJETADOS PELA NBR-6118:2003 E NBR-6118:1978”**

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora da Universidade Católica de Pernambuco composta por: Prof. Dr. Antonio Oscar Cavalcante da Fonte, Prof. Dr. Luis Alberto de Melo Carvalho, Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira como exigência à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte

RECIFE, 2006

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DE TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS WAGNE FERREIRA DE SOUZA MAGALHÃES

**“ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE
EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO QUANDO
PROJETADOS PELA NBR-6118:2003 E NBR-6118:1978”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DAS CONSTRUÇÕES

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Oscar Cavalcante da Fonte

Prof. Dr. Luis Alberto de Melo Carvalho

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Dedico aos meus pais, pelo apoio no início da minha grande jornada até aqui e a minha esposa, pelo carinho, dedicação e compreensão nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado sabedoria, oportunidade e força de vontade, sem as quais eu não poderia realizar este trabalho.

A Universidade Católica de Pernambuco, por ter dado a oportunidade de ampliar os meus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Antonio Oscar, pela paciência, orientação, compreensão, respeito e amizade.

Aos Professores do curso de mestrado da Universidade Católica de Pernambuco, pelos conhecimentos transmitidos.

A minha esposa, pela compreensão, carinho, dedicação e ajuda na digitação de todas as tabelas e gráficos desta dissertação.

Ao colega do curso de mestrado Leonardo Cavalcanti, ao colega Jorge Melo e a colega de trabalho Glaucione Feitosa pela ajuda primorosa na solução de dúvidas relativas a utilização dos programas de computador que me auxiliaram na confecção deste trabalho.

RESUMO

Em Março de 2004 entrou em vigor a nova versão da norma brasileira para projeto de estruturas de concreto, a NBR 6118(2003), substituindo sua antecessora que estava em vigor desde 1978. Dentre os novos conceitos apresentados, os de maior impacto no meio técnico estão relacionados à questão da durabilidade das estruturas de concreto. Assim o presente trabalho pretende avaliar a magnitude destas alterações, com ênfase à análise de custos, que ocorrem devido à aplicação dos novos conceitos normativos no Projeto estrutural de três edifícios de concreto armado de alturas variadas. Desta forma, será avaliado o impacto econômico sobre o Projeto dos edifícios, para valores de cobrimentos de concreto relativos as classes de agressividade ambiental CAA=II e CAA=III, a influência nos custos das estruturas, do valor da resistência à compressão do concreto f_{ck} , as vantagens da utilização dos modelos I e II para o cálculo das armaduras de cisalhamento de vigas. Também serão abordados o Projeto dos pilares com os novos critérios do momento mínimo de 1ª ordem e imperfeições geométricas locais, a ordem de grandeza dos esforços devidos ao desaprumo frente aos esforços devidos ao vento, e finalmente o impacto no custo global das estruturas dos edifícios, quando dimensionados segundo os critérios presentes na NBR-6118(1978) e NBR-6118(2003).

Os resultados mostraram que, apesar do maior volume de concreto nos projetos de acordo com a NBR 6118(2003), a quantidade de aço foi reduzida, principalmente nos pilares, em relação a NBR 6118(1978). A diferença entre os custos finais das estruturas foi a favor da NBR 6118(2003).

ABSTRACT

In March of 2004 the new version of the Brazilian Code for design of concrete structures, the NBR 6118(2003), has replaced its predecessor the NBR 6118(1978). Amongst the new presented concepts, the greatest impact is related to the question of the durability of the concrete structures. The present work evaluates the influence of the new normative criteria, with emphasis to the analysis of costs, in the structural design of three buildings of reinforced concrete of varied heights. The influence in the costs of the structures is analyzed, when designed in the different exposure classes related environmental conditions II and III, of the value adopted for the compressive resistance f_{ck} , of the use of models I and II for the calculation of the reinforcement of shear of beams, of the influence of the design of them columns with the new criteria of the minimum moment of first local order and geometric imperfections. Finally, it has been compared the global costs of the structures of the three buildings when designed according to criteria of NBR-6118(1978) and NBR-6118(2003). The results had mainly shown that, despite the increase in concrete volume in accordance with the NBR 6118(2003), the amount of steel was reduced, in them columns, in relation the NBR 6118(1978). The difference in final costs of the structures was favorable to the NBR 6118(1978), but it can be considered relatively low, in comparison with the increasing quality and durability proportioned by the adoption the NBR 6118(2003).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	IMPORTÂNCIA DO ESTUDO.....	20
1.2	INFLUÊNCIA NOS CUSTOS.....	22
1.3	OBJETIVOS.....	23
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2.2.1	QUALIDADE E DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS.....	30
2.2.2	REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE.....	30
2.2.3	VIDA ÚTIL.....	31
2.2.4	TIPOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL.....	34
2.2.5	ESTABILIDADE GLOBAL.....	38
2.2.6	IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS.....	40
2.2.7	PROJETO DE VIGAS AO CISALHAMENTO.....	44
2.2.8	FLECHAS.....	46
2.2.9	DESLOCAMENTOS.....	48
2.2.10	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS ENTRE PAVIMENTOS ADJACENTES.....	49
3	DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS, METODOLOGIA E COMPARATIVOS REALIZADOS.....	50
3.1	DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	50
3.1.1	EDIFÍCIO 1.....	50
3.1.2	EDIFÍCIO 2.....	53

3.1.3	EDIFÍCIO 3	56
3.2	METODOLOGIA.....	59
3.2.1	PROGRAMA DE CÁLCULO UTILIZADO.....	59
3.2.2	COBRIMENTOS ADOTADOS	61
3.2.3	MÓDULO DE ELASTICIDADE	61
3.2.4	COEFICIENTE DE POISSON	62
3.2.5	RIGIDEZ A TORÇÃO DAS VIGAS.....	62
3.2.6	CONFIGURAÇÕES DA AÇÃO DO VENTO	62
3.2.7	COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS.....	66
3.2.8	COMPARATIVOS REALIZADOS	66
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
4.1	ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA, NO CONSUMO DE AÇO, DOS MODELOS DE CÁLCULO AO CISALHAMENTO DE VIGAS.....	68
4.1.1	EDIFÍCIO 1	68
4.1.2	EDIFÍCIO 2	70
4.1.3	EDIFÍCIO 3	73
4.2	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA, NOS CUSTOS E NO CONSUMO DE AÇO, DO VALOR DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO f_{ck}	76
4.2.1	EDIFÍCIO 1	76
4.2.2	EDIFÍCIO 2	82
4.2.3	EDIFÍCIO 3	87
4.3	ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA, NO CONSUMO DE AÇO, DO PROJETO DOS PILARES SEGUNDO O CRITÉRIO DAS IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS LOCAIS E O CRITÉRIO DO MOMENTO MÍNIMO.	96
4.3.1	EDIFÍCIO 1	97
4.3.2	EDIFÍCIO 2	99

4.3.3	EDIFÍCIO 3	101
4.4	ANÁLISE COMPARATIVA DOS MOMENTOS DEVIDOS AO VENTO E DEVIDOS AO DESAPRUMO.....	104
4.4.1	EDIFÍCIO 1	104
4.4.2	EDIFÍCIO 2	106
4.4.3	EDIFÍCIO 3	108
4.5	INFLUÊNCIA DO COBRIMENTO DO CONCRETO NO CUSTO DA ESTRUTURA.....	110
4.5.1	EDIFÍCIO 1	111
4.5.2	EDIFÍCIO 2	115
4.5.3	EDIFÍCIO 3	119
4.6	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS NORMAS NBR-6118(2003) E NBR-6118(1978)	127
4.6.1	EDIFÍCIO 1	128
4.6.2	EDIFÍCIO 2	136
4.6.3	EDIFÍCIO 3	144
5	CONCLUSÃO.....	159
	BIBLIOGRAFIA.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Vida Útil de Projeto (Fonte Prática Recomendada IBRACON(2003)).....	32
Figura 2-2 Custos de Intervenção Segundo SITTER (Fonte Prática Recomendada IBRACON(2003))	33
Figura 2-3 Imperfeições Geométricas Globais (Fonte NBR-6118(2003)).....	41
Figura 2-4 imperfeições geométricas locais (Fonte NBR-6118(2003))	42
Figura 2-5 Excentricidade Acidental entre Normas (Fonte Coelho et al(2005))	43
Figura 2-6 Modelo de funcionamento de vigas ao cisalhamento	44
Figura 2-7 Modelos de cálculos I e II de acordo com a NBR-6118(2003)	44
Figura 2-8 Comparação entre modelos de cálculo de cisalhamento e entre normas (Fonte	46
Figura 3-1 Perspectiva do Edifício 1	51
Figura 3-2 Planta Baixa Edifício 1	52
Figura 3-3 Planta Baixa Edifício 2	54
Figura 3-4 Perspectiva do Edifício 2	55
Figura 3-5 Planta Baixa Edifício 3	57
Figura 3-6 Perspectiva do Edifício 3	58
Figura 3-7 Mapa das Isopletas.....	63
Figura 4-1 Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 1 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	69
Figura 4-2 - Comparativo do consumo total de aço para as vigas do edifício 1 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	69
Figura 4-3 Gráfico comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 2 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	71
Figura 4-4 – Comparativo do consumo total de aço para as vigas do edifício 2 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	71

Figura 4-5 Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 3 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	74
Figura 4-6 - Comparativo do consumo total de aço para as vigas do edifício 3 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	74
Figura 4-7 - Comparativo da armadura de viga V10 do edifício 2 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento.....	75
Figura 4-8 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 1 em função do f_{ck} ...	77
Figura 4-9 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 1 em função do f_{ck} .	78
Figura 4-10- Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 1 em função do valor do f_{ck}	79
Figura 4-11 - Comparativo do consumo total de aço do edifício 1 em função do f_{ck}	80
Figura 4-12 - Comparativo do custo total da estrutura do edifício 1 em função do f_{ck}	81
Figura 4-13 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 2 em função do f_{ck} .	82
Figura 4-14 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 2 em função do f_{ck}	83
Figura 4-15 - Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 2 em função do f_{ck} ..	84
Figura 4-16 -Comparativo do consumo total de aço do edifício 2 em função do f_{ck}	85
Figura 4-17- Comparativo do custo total da estrutura do edifício 2 em função do f_{ck}	86
Figura 4-18 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 3 em função do f_{ck} .	88
Figura 4-19 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 3 em função do valor do f_{ck}	90
Figura 4-20 - Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 3 em função do f_{ck} ..	92
Figura 4-21 - Comparativo do consumo total de aço do edifício 3 em função do f_{ck}	94
Figura 4-22 - Comparativo do custo total da estrutura do edifício 3 em função do f_{ck}	94
Figura 4-24 - Gráfico comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 1 em função do critério de Projeto	97

Figura 4-25- Comparativo do consumo total de aço para os pilares do edifício 1 em função do critério de projeto.....	98
Figura 4-26 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 2 em função do critério de projeto.....	99
Figura 4-27 - Comparativo do consumo total de aço para os pilares do edifício 2 em função do critério de projeto.....	100
Figura 4-28- Gráfico comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 3 em função do critério de projeto.....	102
Figura 4-29 - Comparativo do consumo total de aço para os pilares do edifício 3 em função do critério de projeto.....	102
Figura 4-31 - Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P8 do edifício 1.	105
Figura 4-32 - Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P1 do edifício 2.	107
Figura 4-33 Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P15 do edifício 3.	109
Figura 4-34 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 1 em função da CAA. .	111
Figura 4-35 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 1 em função da CAA.	112
Figura 4-36 - Comparativo da área total de forma em função da CAA	113
Figura 4-37 - Comparativo do custo total para o edifício 1 em função da CAA.....	114
Figura 4-38 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 2 em função da CAA. .	115
Figura 4-39 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 2 em função da CAA.	116
Figura 4-40 - Comparativo da área total de forma para o edifício 2 em função da CAA.	117
Figura 4-41 - Comparativo do custo total para o edifício 2 em função da CAA.....	118
Figura 4-42 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 3 em função da CAA. .	120
Figura 4-43 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 3 em função da CAA.	122

Figura 4-44- Comparativo da área total de forma para o edifício 3 em função da CAA.	124
Figura 4-45 - Comparativo do custo total para o edifício 3 em função da CAA.....	124
Figura 4-46 - Comparativo da armadura da viga V10 do edifício 2 em função do cobrimento	126
Figura 4-47 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.....	128
Figura 4-48- Comparativo do consumo de aço para os pilares.	129
Figura 4-49- Comparativo do consumo de aço para as lajes.....	130
Figura 4-50 - Comparativo do consumo total de aço.	131
Figura 4-51- Comparativo do volume total de concreto.....	132
Figura 4-52 - Comparativo da área total de forma	133
Figura 4-53 - Comparativo de custo total da estrutura entre as normas NBR-6118(1978) e NBR-6118(2003).....	134
Figura 4-54 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.....	136
Figura 4-55 - Comparativo do consumo de aço para os pilares.	137
Figura 4-56 - Comparativo do consumo de aço para as lajes.....	138
Figura 4-57 - Comparativo do consumo total de aço.	139
Figura 4-58 - Comparativo do volume total de concreto.	140
Figura 4-59 - Comparativo da área total de forma.	141
Figura 4-60 - Comparativo de custo total.....	142
Figura 4-61 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.....	145
Figura 4-62 - Comparativo do consumo de aço para os pilares.	147
Figura 4-63 - Comparativo do consumo de aço para as lajes.....	149
Figura 4-64 - Comparativo do consumo total de aço entre.	151
Figura 4-65 - Comparativo do volume total de concreto.	153
Figura 4-66 - Comparativo da área total de forma	155
Figura 4-67 - Comparativo de custo total.....	156

Figura 4-68 - Comparativo do detalhamento do pilar P11 do edifício 3, entre as normas NBR-6118(1978) e NBR-6118(2003).....	157
Figura 4-69 - Comparativo do detalhamento da viga V14 do edifício 3, entre as normas NBR-6118(1978) e NBR-6118(2003).....	158

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 Características das lajes do edifício 1	51
Tabela 3-2 Características das lajes do edifício 2	53
Tabela 3-3 Características das lajes do edifício 3	56
Tabela 3-4 Combinações últimas utilizadas pelo programa.....	60
Tabela 3-5 - Valores dos módulos de elasticidade utilizados.....	62
Tabela 3-6 Carga horizontal do vento para o edifício 1	64
Tabela 3-7 Carga horizontal do vento para o edifício 2	64
Tabela 3-8 Carga horizontal do vento para o edifício 3	65
Tabela 3-9 Composição de custo dos materiais	66
Tabela 4-1 Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 1 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	68
Tabela 4-2 Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 2 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	70
Tabela 4-3 Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 3 em função do modelo de cálculo ao cisalhamento	73
Tabela 4-4 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 1 em função do f_{ck} ..	76
Tabela 4-5 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 1 em função do f_{ck} .	78
Tabela 4-6 - Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 1 em função do f_{ck}	79
Tabela 4-7 - Comparativo do consumo total de aço do edifício 1 em função do f_{ck}	80
Tabela 4-8 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 2 em função do f_{ck} . .	82
Tabela 4-9 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 2 em função do f_{ck}	83
Tabela 4-10 - Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 2 em função do f_{ck} ..	84
Tabela 4-11 - Comparativo do consumo total de aço do edifício 2 em função do f_{ck}	85
Tabela 4-12 - Comparativo do consumo de aço para as vigas do edifício 3 em função do f_{ck}	87

Tabela 4-13 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 3 em função do valor do f_{ck}	89
Tabela 4-14 - Comparativo do consumo de aço para as lajes do edifício 3 em função do f_{ck} ..	91
Tabela 4-15 - Comparativo do consumo total de aço do edifício 3 em função do f_{ck}	93
Tabela 4-16 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 1 em função do critério de Projeto	97
Tabela 4-17 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 2 em função do critério de projeto.....	99
Tabela 4-18 - Comparativo do consumo de aço para os pilares do edifício 3 em função do critério de projeto.....	101
Tabela 4-19 - Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P8 do edifício 1	104
Tabela 4-20 - Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P1 do edifício 2	106
Tabela 4-21- Comparativo dos momentos devidos ao vento e devidos ao desaprumo para o pilar P15 do edifício 3	108
Tabela 4-22 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 1 em função da CAA..	111
Tabela 4-23 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 1 em função da CAA.	112
Tabela 4-24 - Comparativo da área total de forma para o edifício 1 em função da CAA.....	113
Tabela 4-25 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 2 em função da CAA..	115
Tabela 4-26 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 2 em função da CAA.	116
Tabela 4-27 - Comparativo da área total de forma para o edifício 2 em função da CAA.....	117
Tabela 4-28 - Comparativo do consumo total de aço para o edifício 3 em função da CAA..	119
Tabela 4-29 - Comparativo do volume total de concreto para o edifício 3 em função da CAA.	121
Tabela 4-30 - Comparativo da área total de forma para o edifício 3 em função da CAA.....	123
Tabela 4-31 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.	128

Tabela 4-32 - Comparativo do consumo de aço para os pilares.....	129
Tabela 4-33 - Comparativo do consumo de aço para as lajes.	130
Tabela 4-34 - Comparativo do consumo total de aço.....	131
Tabela 4-35 - Comparativo do volume total de concreto.....	132
Tabela 4-36 - Comparativo da área total de forma	133
Tabela 4-37 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.....	136
Tabela 4-38 - Comparativo do consumo de aço para os pilares.....	137
Tabela 4-39 - Comparativo do consumo de aço para as lajes.	138
Tabela 4-40- Comparativo do consumo total de aço.....	139
Tabela 4-41 - Comparativo do volume total de concreto.....	140
Tabela 4-42 - Comparativo da área total de forma.....	141
Tabela 4-43 - Comparativo do consumo de aço para as vigas.....	144
Tabela 4-44 - Comparativo do consumo de aço para os pilares.....	146
Tabela 4-45 - Comparativo do consumo de aço para as lajes.	148
Tabela 4-46 - Comparativo do consumo total de aço.....	150
Tabela 4-47 - Comparativo do volume total de concreto.....	152
Tabela 4-48 - Comparativo da área total de forma.....	154