

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ARLEY FILGUEIRAS DA SILVA

**ÁBACOS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE γ_z A PARTIR
DO f_{ck} , DO $F_{Req.}$ E DO PARÂMETRO α**

JOÃO PESSOA

2020

ARLEY FILGUEIRAS DA SILVA

**ÁBACOS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE γ_z A PARTIR
DO f_{ck} , DO F_{Req} . E DO PARÂMETRO α**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
como parte das exigências para a obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Marcilio Filgueiras
Cruz

JOÃO PESSOA

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586á Silva, Arley Filgueiras da.

ÂBACOS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A PARTIR DO
fck, DO FREQ. E DO PARÂMETRO ALFA / Arley Filgueiras da
Silva. - João Pessoa, 2020.

59 f. : il.

Orientação: José Marcílio Filgueiras Cruz.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estabilidade global. 2. Gama-Z. 3. Alfa. I. Cruz,
José Marcílio Filgueiras. II. Título.

UFPB/BS/CT

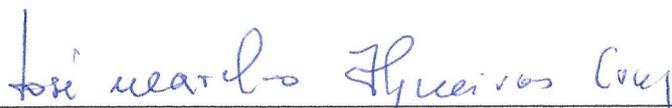
CDU 69(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ARLEY FILGUEIRAS DA SILVA

ÁBACOS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE γ_z A PARTIR DO f_{ck} , DO
 F_{Req} . E DO PARÂMETRO α

Trabalho de Conclusão de Curso em 02/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:



José Marcílio Filgueiras Cruz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Carlos Antônio Taurino de Lucena
UFPB

APROVADO



Enildo Tales Ferreira
UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

À minha esposa Andreia, cuja ajuda possibilitou a realização deste trabalho.

Ao meu filho Ruan e minha mãe Vânia.

Ao professor Marcilio Cruz pela orientação e suporte durante a elaboração deste trabalho.

A todos os professores, colegas e funcionários que contribuíram com minha formação.

RESUMO

SILVA, Arley Filgueiras. **ÁBACOS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE γ_z A PARTIR DO f_{ck} , DO F_{Req} . E DO PARÂMETRO α .** 2020, 59 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.

Com o aumento, ao longo dos anos, das construções altas e esbeltas, a análise dos efeitos de segunda ordem tornou-se um processo cada vez mais presente durante o projeto de estruturas. Por se tratar de um processo complexo e com grande quantidade de cálculos, os parâmetros de instabilidade surgem como ferramentas para o conhecimento prévio da magnitude destes efeitos indesejáveis, bem como tratam da possibilidade da dispensa de consideração destes efeitos, simplificando o processo de análise estrutural. Destes parâmetros, o Gama-Z mostra-se mais abrangente ao fornecer mais informações sobre a estrutura em relação ao Alfa, sendo ambos relacionados através de equações de segundo e terceiro grau. A partir destas equações foi possível a elaboração de ábacos para a obtenção, de forma mais simples, do Gama-Z em função do Alfa, considerando-se também as variações do f_{ck} , resistência característica do concreto à compressão, e do F_{Req} , coeficiente de redução equivalente para a simulação da não-linearidade física do material constituinte da estrutura.

Palavras-chave: Estabilidade global; Gama-Z; Alfa

ABSTRACT

SILVA, Arley Filgueiras. **ABACUSES TO CALCULATE THE γ_z COEFFICIENT FROM f_{ck} , F_{Req} , AND α PARAMETER.** 2020, 59 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.

With the increase of tall and slim buildings, the second order effects analysis has become an increasingly present process during the structural design. Is it a complex process with a large number of calculations, the instability parameters appear as tools for prior knowledge of the magnitude of these undesirable effects, as well as addressing the possibility of dismissing these effects, simplifying the process of structural analysis. Of these parameters, the Gamma-Z is more comprehensive in providing more information about the structure in relation to Alpha, where both are related through second- and third-degree equations. From these equations, it was possible to create abacuses to obtain, in a simpler way, the Gamma-Z coefficient as a function of Alpha parameter, also considering the variations of the f_{ck} , characteristic strength of concrete, and the F_{Req} , coefficient of equivalent reduction for the simulation of the physical nonlinearity of the structure constituting material.

Keywords: Global stability; Gama-Z; Alfa

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Efeito da NLG provocando momento fletor de 2ª ordem	21
Figura 6.1 – Planta de forma do pavimento tipo	45
Figura 6.2 – Definição do Sistema Estrutural de Contraventamento da direção Y	45
Figura 6.3 – Definição do Sistema Estrutural de Contraventamento da direção X	46
Figura 6.4 – Fachada frontal	46
Figura 6.5 – Fachada lateral	47
Figura 6.6 – Pórtico do SECy	48
Figura 6.7 – Pórtico do SECx	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Classificação de concretos estruturais	17
Tabela 5.1 – Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $f_{ck} = 20$ MPa	29
Tabela 5.2 – Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $f_{ck} = 25$ MPa	29
Tabela 5.3 – Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $f_{ck} = 30$ MPa	30
Tabela 5.4 – Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $f_{ck} = 35$ MPa	30
Tabela 5.5 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=20$ MPa (Quadrática) ..	32
Tabela 5.6 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=25$ MPa (Quadrática) ..	33
Tabela 5.7 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=30$ MPa (Quadrática) ..	33
Tabela 5.8 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=35$ MPa (Quadrática) ..	34
Tabela 5.9 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=20$ MPa (Cubica).....	35
Tabela 5.10 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=25$ MPa (Cubica).....	36
Tabela 5.11 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=30$ MPa (Cubica).....	36
Tabela 5.12 – Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=20$ MPa (Cubica).....	37
Tabela 6.1 – Efeito do vento na direção Y (vento incidente na fachada maior)	52
Tabela 6.2 – Efeito do vento na direção X (vento incidente na fachada menor).....	53
Tabela 6.3 – Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,y}$	53
Tabela 6.4 – Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,y}$	54
Tabela 6.5 – Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,x}$	54
Tabela 6.6 – Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,x}$	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Correlação quadrática para $F_{ck} = 20$ MPa	39
Gráfico 5.2 – Correlação quadrática para $F_{ck} = 25$ MPa	39
Gráfico 5.3 – Correlação quadrática para $F_{ck} = 30$ MPa	40
Gráfico 5.4 – Correlação quadrática para $F_{ck} = 35$ MPa	40
Gráfico 5.5 – Correlação cubica para $F_{ck} = 20$ MPa.....	41
Gráfico 5.6 – Correlação cubica para $F_{ck} = 25$ MPa.....	42
Gráfico 5.7 – Correlação cubica para $F_{ck} = 30$ MPa.....	42
Gráfico 5.8 – Correlação cubica para $F_{ck} = 35$ MPa.....	43
Gráfico 5.9 – Correlação cubica para $F_{ck} = 25$ MPa com delimitadores das três regiões	44
Gráfico 5.3a – Obtenção do Gama-Zy.....	50
Gráfico 5.3b – Obtenção do Gama-Zx	51

LISTA DE SIMBOLOS

α – Parâmetro de instabilidade global alfa

γ_z – Coeficiente de Majoração dos Esforços Globais de 1ª ordem

A_s – área de aço submetida a tração nas vigas

A_s' – área de aço submetida a compressão nas vigas

CC1 – Caso de carregamento das ações verticais permanentes e variáveis

CC2 – Caso de carregamento devido ao vento

CC3 – Caso de carregamento devido ao desaprumo da estrutura

CC3* – Caso de carregamento devido ao desaprumo atuante no SEC

CC3** – Caso de carregamento devido ao desaprumo atuante no SC

E_{ci} – Módulo de deformação tangente inicial

E_{cs} – Módulo de elasticidade secante

EI – Rigidez a flexão

f_{ck} – Resistência característica à compressão do concreto

F_{req} – Fator de redução equivalente

MPa – Mega Pascal

NLF – Não linearidade física

NLG – Não linearidade geométrica

SC – Sistema estrutural contraventado

SEC – Sistema estrutural de contraventamento

SECx – Sistema estrutural de contraventamento na direção x

SECy – Sistema estrutural de contraventamento na direção y

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral	16
3. METODOLOGIA DO TRABALHO	16
4.1. Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck})	17
4.2. Não Linearidades	18
4.2.1. Não Linearidade Física.....	19
4.2.2. Não Linearidade Geométrica.....	20
4.3. Ações e combinações	21
4.3.1. Cargas de vento	23
4.3.2. Cargas devido ao desaprumo.....	23
4.4. O parâmetro de instabilidade global “ α ”.....	24
4.5. O Coeficiente “ γ_z ”.....	26
5. RELAÇÕES ENTRE O PARÂMETRO α E O COEFICIENTE γ_z	28
6. APLICAÇÕES	44
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
8. REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e dos métodos construtivos proporcionou os meios indispensáveis para que edificações cada vez mais altas e mais esbeltas pudessem ser construídas. Parte dessa evolução surgiu a partir dos softwares de cálculo, dimensionamento e detalhamentos de estruturas, que possibilitaram aos engenheiros calculistas, além de poderem realizar os dimensionamentos de estruturas cada vez mais complexas, também permitem a modelagem numérica que leva a estruturas cada vez mais eficientes e econômicas.

Sabendo-se que, quanto mais alta e esbelta a estrutura, mais susceptível estará a ações horizontais, que são provocadas majoritariamente pelo efeito do vento, que por sua vez pode causar esforços adicionais a estrutura, condição esta que começou a ser discutida com o aumento na altura e esbeltez das edificações, que passou a ocasionar o surgimento de efeitos de 2ª ordem na estrutura, onde as ações horizontais passam a atuar em conjunto com as demais ações operantes na estrutura, como o carregamento vertical e o seu peso próprio, contribuindo para a ocorrência desses efeitos globais de 2ª ordem na estrutura, podendo ocasionar, em casos extremos, a perda da estabilidade da estrutura.

Com a necessidade de se projetar estruturas resistentes aos efeitos globais provocados pelo carregamento horizontal que nestas atuam, os calculistas (ou projetistas de estruturas) passaram a utilizar procedimentos para a verificação ao Estado Limite Ultimo. Estes procedimentos visam classificar as estruturas em estruturas de nós fixos ou de nós móveis.

De acordo com o item 15.4.2 da ABNT NBR 6118:2014, são consideradas do primeiro grupo todas as estruturas nas quais os deslocamentos horizontais verificados possam ser considerados desprezíveis, o que significa que os efeitos de segunda ordem globais por eles provocados são iguais ou menores a 10% dos efeitos de 1ª ordem. Caso contrário, as estruturas são classificadas como de nós deslocáveis. Nestas, os efeitos do carregamento vertical atuante nos deslocamentos horizontais são significativos, necessitando serem considerados na análise de estabilidade global destas estruturas.

Na literatura técnica encontram-se vários parâmetros capazes de auxiliar ao calculista a verificar se a estrutura pode ser considerada de nós fixos ou de nós móveis,

porém a ABNT NBR 6118:2014 recomenda apenas dois deles para este fim: o Parâmetro de Instabilidade Global (Parâmetro α), referido no item 15.5.2, e o Coeficiente de Majoração dos Esforços Globais de 1ª Ordem (Coeficiente γ_z), no item 15.5.3. A possibilidade de se proceder a esta verificação, de maneira rápida e segura, assumiu grande importância no estudo das estruturas que de outra forma deveriam ser todas submetidas à análise na configuração deformada resultando em cálculos que demandam boa parcela de tempo sob uma formulação específica e trabalhosa.

É importante observar que o Parâmetro Alfa, cujo cálculo requer pouco esforço quando comparado com outros parâmetros, possibilita aos engenheiros calculistas de estruturas decidirem sobre a deslocabilidade ou indeslocabilidade das estruturas. Já o Coeficiente Gama-Z que também auxilia ao engenheiro nesta tomada de decisão, informa sobre a magnitude dos efeitos de 2ª ordem permitindo uma avaliação da importância destes efeitos face aos efeitos de primeira ordem.

Portanto o Coeficiente γ_z é utilizado para avaliar a magnitude dos efeitos de 2ª ordem sobre os efeitos de 1ª ordem, cujo conhecimento é utilizado de maneira prática na majoração dos esforços globais de 1ª ordem para o cálculo simplificado dos esforços finais globais.

Dessa forma, o conhecimento do coeficiente γ_z é mais importante para o calculista que o conhecimento do valor do Parâmetro Alfa em cada caso estudado. Sendo que a obtenção do valor do Gama-Z requer cálculos mais demorados e trabalhosos. Em decorrência deste fato alguns estudiosos do assunto têm procurado, ao longo do tempo, estabelecer correlações entre estes dois parâmetros de tal modo que se possa chegar ao Coeficiente Gama-Z partindo do Parâmetro Alfa (de cálculo mais simples) de maneira mais rápida e fácil.

A intuição sugeria e alguns estudos confirmaram a existência de uma correlação entre o parâmetro α e o coeficiente γ_z devido a formulação de ambos ser baseados na consideração do equilíbrio na configuração deformada da estrutura. Inicialmente, uma relação entre ambos foi estabelecida por Carmo (1995, p.83) através de uma equação de 3º grau, obtida na avaliação da estabilidade global de 30 edificações. Posteriormente, outras correlações foram obtidas como Campoó et al. (2005, p.39) que relacionaram α e γ_z estendendo a análise da estabilidade global para edifícios de alvenaria estrutural. O

estudo da relação entre esses parâmetros é discutido em vários outros trabalhos acadêmicos.

Recentemente foram divulgados dois trabalhos de conclusão de curso (TCC) que apresentam correlações entre estes parâmetros Alfa e Gama-Z. Um deles, (MARACAJÁ, 2020) traz um conjunto de quatorze equações obtidas para estruturas de concreto armado com concretos com resistência a compressão de valor característico (f_{ck}) igual a 20MPa e outras tantas para estruturas com $f_{ck} = 30$ MPa.

São sete correlações do terceiro grau e igual quantidade do segundo grau para cada valor do f_{ck} . Isto, por que, estas correlações são também função do valor do coeficiente de redução equivalente (F_{Req}) da rigidez EI decorrente da redução para 80%, 40% e 30%, respectivamente, da rigidez dos pilares, das vigas com $A_s' \neq A_s$, e das lajes para a simulação dos efeitos da não linearidade física no comportamento destes elementos estruturais. Lembra-se aqui que A_s e A_s' representam, respectivamente a área de aço submetida a tração e a área de aço submetida a compressão nas vigas.

O outro TCC, recentemente divulgado (PAIVA, 2020), também procedeu à atualização dos valores dos pares Alfa-Gama-Z obtidos por Carmo (1995), utilizando as mesmas equações desenvolvidas por Maracajá (2020) para a obtenção das correlações cúbicas e quadráticas correspondentes aos valores do $f_{ck} = 25$ MPa, 35MPa, 40MPa, 45MPa e 50MPa e apresentou um conjunto de tabelas para a obtenção do Coeficiente Gama-Z em função do Parâmetro Alfa para valores do F_{Req} . iguais a: 0,80; 0,75; 0,70; 0,65; 0,60; 0,55 e 0,50.

Tendo constatado, a partir de estudo em considerável conjunto de trabalhos relativos ao tema aqui tratado, a falta de uma ferramenta gráfica, para auxiliar na obtenção do valor do Coeficiente γ_z a partir do Parâmetro α , é que se resolveu apresentar neste trabalho um conjunto de gráficos que correlacionem estes dois parâmetros, com o propósito de fornecer principalmente aos estudantes de Engenharia Civil uma ferramenta que lhes permita melhor entender o significado destes parâmetros, ao tempo em que sejam minorados os trabalhos na procura da estrutura mais econômica em relação ao problema da estabilidade global.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as metodologias de cálculo do Parâmetro de Instabilidade Global α e do Coeficiente de Majoração dos Esforços Globais de 1ª Ordem, γ_z , conforme ABNT NBR 6118:2014 itens 15.5.2 e 15.5.3, respectivamente. Este objetivo visa facilitar a compreensão e a utilização dos gráficos que serão apresentados como resultado deste estudo.

2.2. Objetivo específico

Elaborar gráficos para a obtenção do coeficiente γ_z em função do parâmetro α , do f_{ck} do concreto e do fator de redução equivalente F_{Req} , da rigidez flexional que simula a perda de resistência dos elementos estruturais devido ao comportamento com não linearidade física.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, sendo consultados vários trabalhos que tratam do assunto da estabilidade global, isto é, dos parâmetros de instabilidade, dos efeitos de 2ª ordem nas estruturas, como também das correlações entre o Parâmetro α e o Coeficiente γ_z .

Na sequência, partindo das funções estabelecidas por Maracajá (2020) e Paiva (2020) foi possível a obtenção, para cada caso estudado, de um conjunto de pares Alfa-Gama-Z, e estes deram origem aos gráficos que correlacionam os parâmetros Alfa e Gama-Z para cada valor do f_{ck} e para cada valor do F_{Req} considerados na pesquisa.

Uma vez que para cada valor do f_{ck} foram considerados sete valores do F_{Req} , então foram associadas sete curvas para cada f_{ck} .

É importante registrar que para a obtenção dos valores do Gama-Z associados ao conjunto de valores especificados do Alfa se deu através da utilização da Planilha Microsoft Excel 2010. Ferramenta esta que também foi utilizada na elaboração dos gráficos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck})

A resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) tem fundamental importância no dimensionamento das estruturas em concreto armado, pois seu valor se reveste de grande influência não só quanto às condições de resistência e de bom desempenho, mas também quanto ao custo final da estrutura e da obra.

De acordo com Bernardo e Vargas (2012, p.2), devem ser considerados alguns aspectos na especificação do f_{ck} do projeto, como as condições de agressividade do ambiente, a confiabilidade dos fornecedores de concreto da região, o tempo de execução da obra, e a adequada realização dos procedimentos no canteiro de obra.

Os concretos para fins estruturais são aqueles com f_{ck} a partir de 20 MPa. A partir da revisão de 2014 da ABNT NBR 6118, passou a ser admitida a utilização de concretos com $f_{ck} > 50$ MPa, classificando-os como Grupo II, com classes C55 a C90, com resistência correspondente a 55 MPa até 90 MPa, e Grupo I, com classes C20 a C50, com resistências correspondentes de 20 MPa a 50 MPa. Na Tabela 4.1 tem-se a classificação do concreto nos grupos I e II.

Tabela 4.1 – Classificação de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão (f_{ck}) MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão (f_{ck}) MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953:2015, p. 2

A influência do f_{ck} na estabilidade global de uma estrutura está presente na determinação do Modulo de Elasticidade (E_{cs}) Secante do Concreto no cálculo do Parâmetro α , enquanto na obtenção do Coeficiente Gama-Z esta influência surge no cálculo do Modulo de Elasticidade (E_{ci}) Inicial ou tangente na origem e na intensidade dos deslocamentos horizontais decorrentes das ações laterais atuantes na estrutura. Para o cálculo do E_{ci} , a ABNT NBR 6118:2014 estabelece duas equações a Eq. 4.1 para os concretos do grupo I e a Eq. 4.2, para os concretos do grupo II. O E_{cs} é obtido através da Eq. 4.3.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 56000 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (4.1)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad (4.2)$$

$$E_{cs} = \alpha_i * E_{ci} \quad (4.3)$$

Com: $\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$ e, sendo E_{ci} , E_{cs} e f_{ck} dados em MPa.

α_E é o parâmetro do agregado que influencia o módulo de elasticidade do concreto:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

4.2. Não Linearidades

A busca por soluções que facilitem a realização da análise não linear de estruturas de concreto armado, com a finalidade de garantir a sua estabilidade global estimulou os estudos sobre os parâmetros para estimativa dos efeitos de segunda ordem.

A NLG surge na análise de estruturas em equilíbrio na configuração deformada e deslocada. Seus efeitos decorrem da ação das cargas verticais atuando nos deslocamentos horizontais, provocando os chamados efeitos de segunda ordem. O estudo da não

linearidade física (NLF) decorre da perda de resistência do material, em função das suas características. Por exemplo, a fluência.

4.2.1. Não Linearidade Física

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, a NLF, presente nas estruturas de concreto armado, deve ser obrigatoriamente considerada, por ser o concreto armado um material heterogêneo, cujo comportamento não obedece à lei linear de Hooke, onde efeitos como a fissuração, a fluência e o escoamento da armadura conferem um comportamento não linear ao material, ao qual se convencionou referir como Não Linearidade Física.

Nesse caso, em se tratando de estudos de estabilidade global, se faz necessário considerar uma redução na rigidez dos elementos estruturais para simular os efeitos da NLF na estrutura em análise.

A ABNT NBR 6118:2014, subitem 15.5.3, preconiza que para estruturas reticuladas de no mínimo 4 pavimentos, a NLF pode ser considerada de forma aproximada, através da redução da rigidez flexional de cada elemento estrutural, tão somente nas análises de estabilidade global, conforme explicitado a seguir nas Eqs. (4-4, 5, 6, 7):

- Em lajes: $(EI)_{sec} = 0,3 E_c I_c$
- Em vigas: $(EI)_{sec} = 0,4 E_c I_c$ para $A_s' \neq A_s$

$$(EI)_{sec} = 0,5 E_c I_c \text{ para } A_s' = A_s$$

- Em pilares: $(EI)_{sec} = 0,8 E_c I_c$ (4-4, 5, 6, 7)

Sendo:

I_c = Momento de inércia da seção bruta de concreto

E_c = Módulo de deformação do concreto

A_s' e A_s = Armadura de compressão e tração, respectivamente

Moncayo (2011, p.27) justifica que o uso dos fatores de redução (F_R) para obtenção da rigidez flexional da estrutura $(EI)_{sec}$ seja utilizado apenas na análise da estabilidade global de estruturas reticuladas de, no mínimo, quatro pavimentos, por não haver comprovações da eficiência deste método em estruturas de menor porte.

É interessante assinalar que em NBR 6118 anteriores era recomendado, também, um fator de redução único equivalente, (F_{Req}), a ser aplicado em todos os elementos da estrutura submetida à análise de estabilidade global. Seu valor era 0,70.

4.2.2. Não Linearidade Geométrica

A NLG provoca efeitos na estrutura em decorrência da sua mudança de posição no espaço, tais efeitos são determinados através da análise da estrutura em equilíbrio na sua configuração deformada final.

Pinto (1997, p.2), observa que a análise de estruturas sob a consideração da NLG pode ser realizada de forma muito mais simples que sob a condição da NLF, não sendo necessária, em muitos casos, a utilização de procedimentos mais refinados de análise.

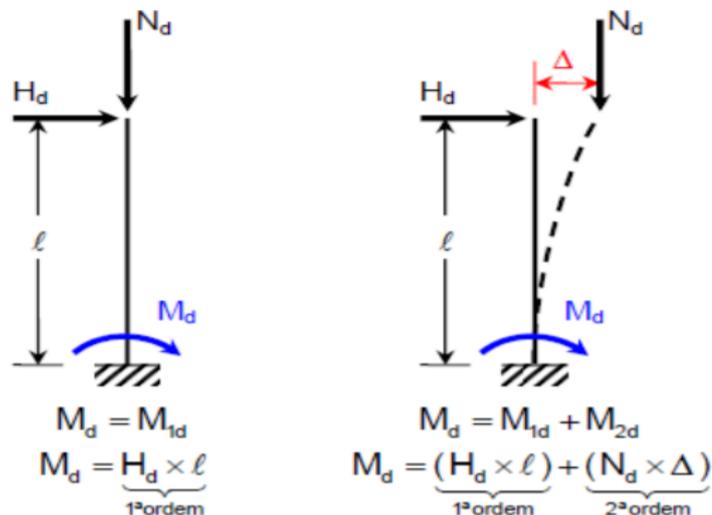
Com a utilização do Coeficiente γ_z para a avaliação da necessidade de se considerar ou não os efeitos da NLG na análise da estrutura e da amplificação das ações horizontais nas combinações analisadas, podemos obter também a estimativa do acréscimo de esforços decorrentes da NLG, como também realizar a estimativa dos esforços finais da estrutura, caso o valor do Coeficiente γ_z não ultrapasse 1,2, através da multiplicação do valor do coeficiente pelos esforços de primeira ordem calculados, sendo este um método com grande simplificação para consideração da NLG.

Com o auxílio da Figura 4.1 pode-se explicar como ocorre a NLG: A estrutura na configuração indeformada sob o carregamento vertical N_d e horizontal H_d está submetida ao momento fletor de 1ª ordem, M_{1d} , decorrente do carregamento horizontal. Este, por sua vez, provocará o deslocamento Δ no topo da estrutura. Com a estrutura na posição deformada, surgirá o momento de 2ª ordem, M_{2d} , gerado pelo carregamento vertical N_d atuando no deslocamento Δ propiciando o surgimento da NLG.

É importante observar que os efeitos da NLG ocorrem com maior intensidade em estruturas altas e flexíveis, sendo, por isto mesmo, importante a verificação da necessidade da consideração destes efeitos devido à possibilidade de se verificarem deslocamentos horizontais excessivos que podem comprometer a estabilidade global

destas estruturas. Em estruturas rígidas e de pouca altura, a NLG pode ser desprezada por provocar pequenos efeitos, de acordo com Pinto e Ramalho (2002, p.183).

Figura 4.1 – Efeito da NLG provocando momento fletor de 2ª ordem



Fonte: Silva (2018, p.5)

Para Oliveira (1998, p.25), a ocorrência de excessivos deslocamentos nas edificações altas provocam danos em elementos estruturais e não estruturais, além de comprometer a estabilidade global da estrutura, sendo necessária a adoção de estudos para que o sistema estrutural de contraventamento seja dotado de rigidez suficiente para garantir a sua segurança e por consequência a segurança de toda a edificação.

Cruz, Ferreira e Lucena (2019, p.187) comentam que, caso a estrutura seja classificada como de nós deslocáveis, de acordo com o valor do parâmetro α , sua análise deve ser realizada considerando o comportamento não linear físico e geométrico da estrutura, pois nesta situação não é possível considerar a indeslocabilidade do sistema estrutural de contraventamento, de toda a estrutura da edificação e da própria edificação.

4.3. Ações e combinações

A análise dos esforços de uma estrutura depende do conhecimento prévio das ações e combinações atuantes, na forma de casos de carregamento, considerando-se para o dimensionamento da estrutura a mais desfavorável entre as combinações que possam

atuar nos elementos estruturais, denominada envoltória de esforços, cujas ações atuantes nas estruturas são divididas em permanentes e variáveis, verticais e horizontais.

No dimensionamento de estruturas, são consideradas as cargas devido ao peso próprio dos elementos estruturais e das instalações presentes na estrutura, as cargas acidentais que dependem de como será a utilização da edificação, e as cargas devido ao vento, chuva e variação de temperatura, sendo a última, desprezável.

Sendo a maioria das cargas com atuação vertical, temos a carga devido às ações do vento como a maior carga de atuação horizontal, podendo atuar em conjunto com cargas oriundas do desaprumo da estrutura.

No cálculo do coeficiente γ_z , Cruz, Ferreira e Lucena (2019, p.151) utilizam-se da combinação de carregamentos CB 1, embora este Coeficiente deve ser calculado para cada uma das combinações de ELU a serem verificadas no projeto estrutural em andamento.

Nessas combinações são considerados coeficientes ponderadores de ações como o coeficiente de ponderação $\gamma_f = 1,4$ para ações permanentes desfavoráveis e variáveis gerais, e o coeficiente de combinação das ações $\Psi_0 = 0,6$ considerando a ação do vento como variável secundária.

$$CB\ 1 = 1,4 * 0,6 * CC2 \quad (4.8)$$

Dessas combinações de carregamentos participam ações horizontais que provocam deslocamentos nodais horizontais por vezes consideráveis nas estruturas que devem ser levados em conta na análise estrutural com a consideração dos efeitos da NLF.

Neste trabalho será utilizado o coeficiente de redução equivalente (F_{Req}) para redução da rigidez flexional devido a NLF do concreto armado. Este fator foi utilizado em Maracajá (2020, p.54), que propôs sua utilização na obtenção das funções de correlação entre o Coeficiente Gama-Z e o Parâmetro Alfa. Trata-se de um fator de redução único que avalia o efeito da aplicação das diferentes reduções na rigidez para pilares e vigas.

4.3.1. Cargas de vento

Sendo, em geral, o carregamento de maior influência na ocorrência dos deslocamentos horizontais ou laterais das estruturas, as forças estáticas devidas ao vento são determinadas a partir do procedimento estabelecido pela ABNT NBR 6123:1988, que recomenda uma sequência de procedimentos iniciando com a definição da velocidade básica do vento (V_0), definida de acordo com o local onde a estrutura será construída.

Definido o V_0 , obtemos a velocidade característica do vento (V_k) através da multiplicação dos fatores S_1 , S_2 e S_3 pelo V_0 . S_1 é o fator topográfico que leva em consideração as variações do relevo, S_2 considera a rugosidade, altura e dimensões da edificação sobre o terreno, e S_3 é o fator estatístico que considera o grau de segurança requerido pela estrutura, de acordo com o tipo de uso.

Para cada faixa de altura da edificação, ou altura do pavimento, calcula-se o efeito do vento, onde sua força pode ser considerada uniformemente distribuída (em N/m^2), conforme visto em Cruz, Ferreira e Lucena (2019, p.168).

O carregamento devido as ações do vento (que será aqui referido como CC2, como na referência acima citada) possui grande importância no surgimento dos efeitos globais na estrutura, visto que este é o carregamento responsável pela perturbação da estabilidade da estrutura, por vezes em conjunto com as cargas devido ao desaprumo, podendo provocar grandes deslocabilidades horizontais, tornando a estrutura susceptível à perda da estabilidade global.

4.3.2. Cargas devido ao desaprumo

O carregamento devido ao desaprumo da estrutura (que será aqui referido como CC3, como na referência acima citada) é calculado a partir da consideração de uma inclinação, ou desaprumo, inicial dos elementos verticais da estrutura. (Cruz, Ferreira e Lucena, 2019, p.52).

A consideração da ação do desaprumo conjuntamente com a do vento deve ocorrer quando, conforme NBR 6118:2014, 30% da ação do vento ou desaprumo for menor que a totalidade da ação do outro. Neste caso as ações CC2 e CC3 podem ser combinadas

considerando ambas atuando na mesma direção e sentido, onde ambos os carregamentos se distribuem nos elementos do SEC proporcionalmente à sua rigidez.

Assim como o carregamento do vento, o desaprumo tem, por vezes, participação relevante no surgimento dos efeitos de segunda ordem a serem analisados quando da preparação do projeto estrutural de uma edificação, principalmente muito alta e muito esbelta.

4.4.O parâmetro de instabilidade global “ α ”

Utilizado para a avaliação da estabilidade global, indicando ao calculista de estruturas a possibilidade de desprezar os esforços globais de 2ª ordem. Em outras palavras, este parâmetro α tem por finalidade classificar a estrutura como de nós fixos, que pode ser submetida apenas à análise linear, pois os esforços de 2ª ordem serão desprezíveis, ou de nós móveis, fazendo-se necessária uma avaliação mais rigorosa da estrutura quanto aos esforços atuantes.

Esse parâmetro foi desenvolvido por Beck e König, em 1967, que fundamentados na teoria da flambagem de Euler e considerando elástico linear o comportamento da estrutura, representou-a por um pilar submetido a ação de um carregamento vertical e horizontal uniformemente distribuídos ao longo da sua altura.

Sendo os efeitos das não linearidades denominadas efeitos de segunda ordem, a consideração da NLF no Parâmetro α ocorre em sua formulação, onde a rigidez característica sofre uma redução de 30%. A consideração da NLG depende da faixa onde os valores do parâmetro α se encontram.

A ABNT NBR 6118:2014, subitem 15.5.2, esclarece que uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade global “ α ” for menor que o valor calculado de α_1 , que deve ser obtido através das equações abaixo:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} I_c}} \quad (4.9)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \text{ para } n \leq 3 \quad (4.10)$$

$$\alpha_1 = 0,6 \text{ para } n \geq 4 \quad (4.11)$$

Onde:

n é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

N_k é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$E_{cs}I_c$ é o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada (sistema de contraventamento), onde I_c deve ser calculado considerando a seção bruta dos pilares.

A partir das equações anteriormente citadas e com os carregamentos vertical (que será aqui referido como CC1, como Cruz, Ferreira e Lucena, 2019, p.52), CC2 e CC3, se necessário, será possível calcular o parâmetro α através da Equação (4.9).

O valor de $\alpha_1 = 0,6$ para $n \geq 4$ é aplicado usualmente às estruturas dos edifícios. Para sistemas de contraventamento constituídos apenas de pilares-parede, utilizar $\alpha_1 = 0,7$, e em caso de sistemas estruturais de contraventamento constituídos apenas de pórticos, é utilizado $\alpha_1 = 0,5$, conforme a ABNT NBR 6118:2014, subitem 15.5.2.

Por fim, sendo o valor de α menor ou igual ao valor α_1 permite-se desconsiderar os efeitos de 2ª ordem na estrutura. Por não ser possível avaliar a magnitude desses efeitos o Parâmetro Alfa é menos atraente em relação ao coeficiente γ_z , embora sua utilização possa proporcionar a redução de etapas de cálculo em estimativa do valor do o coeficiente γ_z .

A obtenção do coeficiente γ_z a partir do parâmetro α , ajuda ao calculista reduzindo o trabalho matemático e, por conseguinte o tempo a ser consumido quando do cálculo deste coeficiente a partir da formulação específica, a Eq. 4.13, embora simples, tem em sua utilização a necessidade de do uso de um software de cálculo para obtenção dos valores de deslocamentos nodais necessários à equação citada, enquanto o uso de ábacos retorna valores com ótima aproximação e com maior facilidade e rapidez em relação ao uso de equações de correlação.

4.5. O Coeficiente “ γ_z ”

A partir de pesquisas de Franco e Vasconcelos (1991), surge o coeficiente γ_z , como um avanço em relação ao parâmetro α . O coeficiente γ_z permite avaliar a magnitude dos efeitos de segunda ordem na estrutura, de forma aproximada, possibilitando a desconsideração destes efeitos para fins de cálculo, sendo utilizado com êxito em projetos estruturais de edifícios altos e esbeltos, embora tenha sua obtenção mais trabalhosa em relação ao Parâmetro Alfa, apesar de suas vantagens.

Com a restrição de ser válido para estruturas com 4 ou mais pavimentos, conforme a ABNT NBR 6118:2014, subitem 15.5.3, o coeficiente γ_z é uma boa alternativa ao parâmetro α para valores de $\gamma_z \leq 1,30$ onde γ_z apresenta boa aproximação, do ponto de vista prático, para estruturas que não apresentem deslocamento horizontal devido ao carregamento vertical, efeitos de torção e variação de inércia entre seus pavimentos, como também deve ter sua utilização evitada em casos de recalques diferenciais de fundações.

Apesar de ambos possuírem sua formulação baseados na consideração do equilíbrio na configuração deformada da estrutura, com o coeficiente γ_z é possível, além de estimar a magnitude dos efeitos de 2ª ordem atuantes na estrutura, também realizar a análise de 2ª ordem da estrutura a partir da correção dos resultados obtidos em uma análise de 1ª ordem, acrescentando os efeitos decorrentes do comportamento não linear físico e geométrico estrutural, como descrito por Moncayo (2011, p.64) onde a utilização do valor integral de γ_z praticamente coincide com os esforços obtidos através do processo de determinação dos esforços de 2ª ordem, P-Delta.

Os valores obtidos a partir da majoração dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada em $0,95\gamma_z$ se afastam dos obtidos com o P-Delta, embora assim seja recomendado pela NBR 6118:2014, como uma solução aproximada para a determinação de esforços globais de 2ª ordem, sendo válido apenas para $\gamma_z \leq 1,30$, embora Pinto (1997, p.77) em conformidade com Franco e Vasconcelos (1991) analisou a eficiência do coeficiente γ_z indicando segurança no seu uso até o limite de $\gamma_z \leq 1,20$.

O procedimento de cálculo do coeficiente γ_z , de acordo com a NBR 6118:2014 é assim realizado, onde inicialmente é necessária a realização de uma análise de 1ª ordem da estrutura levando-se em consideração os carregamentos vertical e horizontal,

reduzindo a rigidez da estrutura, como visto no t3pico 4.2.1 deste trabalho, para que, de forma aproximada, possa ser considerada a NLF.

Em seguida, calcula-se o acr3scimo de momentos de 2^a ordem, pela express3o:

$$\Delta M_d = R_d \cdot e_d \quad (4.12)$$

Onde:

ΔM_d 3 o acr3scimo de momentos em decorr3ncia dos efeitos de 1^a ordem;

R_d 3 o valor de projeto da resultante de todas as cargas verticais;

e_d corresponde ao deslocamento de 1^a ordem do ponto de aplica3o da resultante R_d .

O coeficiente de majora3o dos esfor3os γ_z a partir da NBR 6118:2014 passou a ter a seguinte notaa3o:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (4.13)$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$ 3 a soma dos produtos de todas as for3as verticais atuantes na estrutura, na combina3o considerada, com seus valores de c3culo, pelo respectivos deslocamentos horizontais de seus pontos de aplica3o, obtidos na an3lise de 1^a ordem;

$M_{1,tot,d}$ 3 a soma dos momentos ocasionados pelas for3as horizontais, na combina3o considerada, com seus valores de c3culo, em rela3o 3 base da estrutura.

A estrutura 3 considerada de n3s fixos se satisfeita a condi3o $\gamma_z \leq 1,10$. Se $1,10 \leq \gamma_z \leq 1,30$, podemos considerar os efeitos de 2^a ordem de forma aproximada.

Quando γ_z excede o valor de 1,30, é necessária a avaliação de forma mais precisa dos efeitos de segunda ordem, através de métodos para este tipo de análise como o método iterativo P-Delta.

5. RELAÇÕES ENTRE O PARÂMETRO α E O COEFICIENTE γ_z

Partindo dos sessenta pares Alfa-Gama-Z utilizados por Carmo (1995, p.78) na obtenção da correlação cubica entre estes parâmetros, através da Eq. 5.1, Maracajá (2020, p.56) obteve vinte e oito equações correlacionando estes mesmos parâmetros, Alfa e Gama-Z. Destas, metade está associada ao valor do $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e as outras, ao $f_{ck} = 30\text{MPa}$. Das quatorze correlações associadas ao $f_{ck} = 20\text{MPa}$, sete são correlações cubicas e as outras sete, quadráticas. Assim, também, com as equações associadas ao $f_{ck} = 30\text{MPa}$.

$$\gamma_z = 0,46\alpha^3 - 0,62\alpha^2 + 0,50\alpha + 0,90 \quad (5.1)$$

No trabalho de Paiva (2020), o autor, utilizando o equacionamento desenvolvido por Maracajá (2020), obteve mais quatorze equações de correlação dos parâmetros supracitados para $f_{ck} = 25\text{MPa}$ e para $f_{ck} = 35\text{MPa}$. Com as cinquenta e seis equações de correlação assim obtidas, Paiva (2020, p.38), utilizando um conjunto de valores de Alfa (variáveis independentes da função de correlação), obteve o conjunto imagem, isto é de valores do Gama-Z para cada uma das vinte e oito equações cubicas e para outras tantas quadráticas. Com estes conjuntos de pares Alfa-Gama-Z, foram organizadas oito tabelas que possibilitam a obtenção de valores do Gama-Z em função do Alfa para cada valor de f_{ck} e para cada valor do F_{Req} , estudados.

Com os valores constantes das tabelas apresentadas por Paiva (2020, p.40), organizaram-se oito gráficos com o objetivo de apresentar uma ferramenta gráfica capaz de ajudar na obtenção do Coeficiente Gama-Z em função do parâmetro Alfa com a consideração de valores de f_{ck} e F_{Req} , aos interessados em geral e em particular aos alunos das disciplinas Analise Estrutural II e Estrutura de Concreto II do Curso de Engenharia Civil.

5.1. As equações de correlação entre o Alfa e o Gama-Z

Nas Tabelas 5.1 e 5.3 estão as equações polinomiais cúbicas e quadráticas apresentadas por Maracajá (2020, p.63), e nas Tabelas 5.2 e 5.4, por Paiva (2020, p.40)

Tabela 5.1 Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $F_{ck} = 20$ MPa

$F_{Req.}$	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha = 0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,87\alpha^3 - 1,53\alpha^2 + 1,25\alpha + 0,72$	1,107	(5.1a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,83\alpha^2 - 0,77\alpha + 1,26$	1,097	(5.1b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 1,07\alpha^3 - 1,93\alpha^2 + 1,54\alpha + 0,65$	1,110	(5.2a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^2 - 0,93\alpha + 1,32$	1,111	(5.2b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,47\alpha^3 - 2,74\alpha^2 + 2,14\alpha + 0,51$	1,125	(5.3a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,22\alpha^2 - 1,25\alpha + 1,42$	1,109	(5.3b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,77\alpha^3 - 3,38\alpha^2 + 2,61\alpha + 0,40$	1,131	(5.4a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,41\alpha^2 - 1,48\alpha + 1,50$	1,120	(5.4b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 2,43\alpha^3 - 4,77\alpha^2 + 3,64\alpha + 1,15$	1,142	(5.5a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,78\alpha^2 - 1,96\alpha + 1,67$	1,135	(5.5b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 3,54\alpha^3 - 7,20\alpha^2 + 5,45\alpha - 0,27$	1,173	(5.6a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,36\alpha^2 - 2,73\alpha + 1,94$	1,152	(5.6b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 5,68\alpha^3 - 11,99\alpha^2 + 9,02\alpha - 1,13$	1,192	(5.7a)
	2º grau	$\gamma_z = 3,35\alpha^2 - 4,10\alpha + 2,41$	1,156	(5.7b)

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.40)

Tabela 5.2 Equações de correlação Alfa-Gama-Z para $F_{ck} = 25$ MPa

$F_{Req.}$	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha = 0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,76\alpha^3 - 1,19\alpha^2 + 0,95\alpha + 0,80$	1,106	(5.8a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,73\alpha^2 - 0,60\alpha + 1,19$	1,093	(5.8b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,92\alpha^3 - 1,48\alpha^2 + 1,15\alpha + 0,76$	1,116	(5.9a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,84\alpha^2 - 0,72\alpha + 1,23$	1,100	(5.9b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,22\alpha^3 - 2,03\alpha^2 + 1,54\alpha + 0,67$	1,126	(5.10a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,05\alpha^2 - 0,94\alpha + 1,30$	1,114	(5.10b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,44\alpha^3 - 2,46\alpha^2 + 1,84\alpha + 0,61$	1,131	(5.11a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,19\alpha^2 - 1,10\alpha + 1,35$	1,118	(5.11b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,91\alpha^3 - 3,37\alpha^2 + 2,46\alpha + 0,47$	1,145	(5.12a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,46\alpha^2 - 1,42\alpha + 1,45$	1,124	(5.12b)
	3º grau	$\gamma_z = 2,66\alpha^3 - 4,85\alpha^2 + 3,49\alpha + 0,24$	1,162	(5.13a)

0,55	2º grau	$\gamma_z = 1,88\alpha^2 - 1,92\alpha + 1,61$	1,135	(5.13b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 3,98\alpha^3 - 7,54\alpha^2 + 5,36\alpha - 0,18$	1,181	(5.14a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,53\alpha^2 - 2,73\alpha + 1,88$	1,153	(5.14b)

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.42)

Tabela 5.3 Equações de correlação Alfa-Gama-Z para Fck = 30 MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha = 0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,73\alpha^3 - 1,06\alpha^2 + 0,82\alpha + 0,83$	1,099	(5.15a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,70\alpha^2 - 0,52\alpha + 1,16$	1,100	(5.15b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 1,14\alpha^3 - 1,92\alpha^2 + 1,44\alpha + 0,70$	1,119	(5.16a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,81\alpha^2 - 0,62\alpha + 1,19$	1,110	(5.16b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,22\alpha^3 - 1,90\alpha^2 + 1,38\alpha + 0,72$	1,127	(5.17a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,04\alpha^2 - 0,86\alpha + 1,26$	1,118	(5.17b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,43\alpha^3 - 2,31\alpha^2 + 1,64\alpha + 0,67$	1,131	(5.18a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,14\alpha^2 - 0,98\alpha + 1,30$	1,122	(5.18b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,88\alpha^3 - 3,15\alpha^2 + 2,22\alpha + 0,54$	1,144	(5.19a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,37\alpha^2 - 1,23\alpha + 1,37$	1,125	(5.19b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 2,57\alpha^3 - 4,45\alpha^2 + 3,09\alpha + 0,35$	1,157	(5.20a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,72\alpha^2 - 1,61\alpha + 1,49$	1,143	(5.20b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 3,54\alpha^3 - 6,22\alpha^2 + 4,20\alpha + 0,14$	1,185	(5.21a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,30\alpha^2 - 2,29\alpha + 1,70$	1,154	(5.21b)

Fonte: Adaptada de Maracajá (2020, p.56)

Tabela 5.4 Equações de correlação Alfa-Gama-Z para Fck = 35 MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha = 0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,65\alpha^3 - 0,86\alpha^2 + 0,66\alpha + 0,87$	1,097	(5.22a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,63\alpha^2 - 0,42\alpha + 1,12$	1,095	(5.22b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,77\alpha^3 - 1,04\alpha^2 + 0,78\alpha + 0,85$	1,110	(5.23a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,72\alpha^2 - 0,50\alpha + 1,15$	1,109	(5.23b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 0,98\alpha^3 - 1,39\alpha^2 + 1,01\alpha + 0,81$	1,127	(5.24a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,87\alpha^2 - 0,64\alpha + 1,18$	1,109	(5.24b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,14\alpha^3 - 1,65\alpha^2 + 1,17\alpha + 0,77$	1,124	(5.25a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^2 - 0,74\alpha + 1,21$	1,115	(5.25b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,45\alpha^3 - 2,17\alpha^2 + 1,50\alpha + 0,71$	1,142	(5.26a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,17\alpha^2 - 0,93\alpha + 1,27$	1,133	(5.26b)
	3º grau	$\gamma_z = 1,93\alpha^3 - 2,99\alpha^2 + 2,02\alpha + 0,61$	1,162	(5.27a)

0,55	2º grau	$\gamma_z = 1,44\alpha^2 - 1,21\alpha + 1,35$	1,142	(5.27b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 2,70\alpha^3 - 4,34\alpha^2 + 2,87\alpha + 0,44$	1,183	(5.28a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,85\alpha^2 - 1,64\alpha + 1,47$	1,152	(5.28b)

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.46)

5.2. Tabelas para o cálculo do coeficiente Gama-Z em função do Alfa

Na elaboração de seu trabalho, Paiva (2020), analisou as equações desenvolvidas por Maracajá (2020) para atualizar os valores dos pares Alfa-Gama-Z, e ampliou o estudo já realizado das equações de correlação, adequando-as para valores de $f_{ck} = 20$ MPa até $f_{ck} = 50$ MPa excetuando-se os valores $f_{ck} = 30$ MPa e $f_{ck} = 40$ MPa já estudados por Maracajá (2020). Com as tabelas prontas observou-se em cada uma delas (isto é, para cada valor do f_{ck}) incompatibilidades entre valores do Alfa considerado e valores do Gama-Z esperados. Posto que, conceitualmente sabe-se que o valor deste aumenta à medida na qual o valor daquele aumenta. Tais incompatibilidades foram determinantes para a limitação da aplicabilidade de cada uma das correlações.

Assim, é que, em cada tabela, alguns valores do Gama-Z estão realçados com a cor cinza. Das outras duas cores utilizadas nas tabelas, a verde destaca os valores do Gama-Z menores ou iguais ao limite 1,10, valores estes que estão associados a valores do Alfa menores ou iguais a 0,6 (no caso geral, pois de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, podem ser considerados os valores 0,5, 0,6 ou 0,7 conforme o SEC). Por último a cor amarela chama a atenção do leitor para o fato de que os valores do Gama-Z se encontrarem entre os valores 1,10 e 1,30 (limites incluídos).

Nestas tabelas, observa-se, também, que os valores do γ_z mais se aproximam do valor 1,10 para os valores do $\alpha = 0,6$ quando F_{Req} varia entre 0,70 e 0,8.

Este fato está relacionado com o fator de redução igual à 0,7 da rigidez flexional para a consideração da NLF, aplicado na formulação através da qual se obtém o valor 0,6 tomado como limite máximo para a aplicação da formulação linear na análise da estrutura da edificação em estudo.

Outra observação possível é quanto ao aumento do valor do γ_z com a diminuição do valor do F_{Req} . Isto é facilmente explicado lembrando que quanto menor o valor do F_{Req} maior é a redução da rigidez flexional equivalente do Sistema Estrutural de

Contraventamento, quase sempre composto por pórticos planos ou igual ao pórtico espacial que inclui todos os pilares e vigas da estrutura da edificação. A redução equivalente da rigidez flexional da estrutura (que leva em conta a NLF) é diferente em cada caso, embora, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 o fator de redução no caso dos pilares seja $F_R = 0,80$ e para as vigas com armadura de tração diferente da de compressão, seja $F_R = 0,40$.

Tabela 5.5 Valores do γ_2 em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=20$ MPa (Quadrática)

fck = 20 MPa								fck = 20 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,085	1,103	1,115	1,134	1,171	1,226		0,71	1,132	1,149	1,148	1,160	1,176	1,191	1,188
0,41	1,084	1,102	1,113	1,130	1,166	1,217	1,292	0,72	1,136	1,153	1,152	1,165	1,182	1,198	1,195
0,42	1,083	1,101	1,110	1,127	1,161	1,210	1,279	0,73	1,140	1,158	1,158	1,171	1,188	1,205	1,202
0,43	1,082	1,099	1,108	1,124	1,156	1,202	1,266	0,74	1,145	1,163	1,163	1,177	1,194	1,212	1,210
0,44	1,082	1,099	1,106	1,122	1,152	1,196	1,255	0,75	1,149	1,168	1,169	1,183	1,201	1,220	1,219
0,45	1,082	1,098	1,105	1,120	1,148	1,189	1,243	0,76	1,154	1,173	1,175	1,190	1,209	1,228	1,229
0,46	1,081	1,097	1,103	1,118	1,145	1,184	1,233	0,77	1,159	1,179	1,181	1,196	1,216	1,237	1,239
0,47	1,081	1,097	1,102	1,116	1,142	1,178	1,223	0,78	1,164	1,185	1,187	1,203	1,224	1,246	1,250
0,48	1,082	1,097	1,101	1,114	1,139	1,173	1,214	0,79	1,170	1,191	1,194	1,211	1,232	1,256	1,262
0,49	1,082	1,097	1,100	1,113	1,137	1,169	1,205	0,80	1,175	1,197	1,201	1,218	1,241	1,266	1,274
0,50	1,083	1,098	1,100	1,113	1,135	1,165	1,198	0,81	1,181	1,203	1,208	1,226	1,250	1,277	1,287
0,51	1,083	1,098	1,100	1,112	1,133	1,162	1,190	0,82	1,187	1,210	1,215	1,234	1,260	1,288	1,301
0,52	1,084	1,099	1,100	1,112	1,132	1,159	1,184	0,83	1,193	1,216	1,223	1,243	1,269	1,300	
0,53	1,085	1,100	1,100	1,112	1,131	1,156	1,178	0,84	1,199	1,223	1,231	1,252	1,280		
0,54	1,086	1,101	1,101	1,112	1,131	1,154	1,173	0,85	1,205	1,230	1,239	1,261	1,290		
0,55	1,088	1,102	1,102	1,113	1,130	1,152	1,168	0,86	1,212	1,238	1,247	1,270			
0,56	1,089	1,103	1,103	1,113	1,131	1,151	1,165	0,87	1,218	1,245	1,256	1,280			
0,57	1,091	1,105	1,104	1,115	1,131	1,151	1,161	0,88	1,225	1,253	1,265	1,290			
0,58	1,093	1,107	1,105	1,116	1,132	1,151	1,159	0,89	1,232	1,261	1,274	1,300			
0,59	1,095	1,109	1,107	1,118	1,133	1,151	1,157	0,90	1,239	1,269	1,283				
0,60	1,097	1,111	1,109	1,120	1,135	1,152	1,156	0,91	1,247	1,277	1,293				
0,61	1,099	1,114	1,111	1,122	1,137	1,153	1,156	0,92	1,254	1,285					
0,62	1,102	1,116	1,114	1,124	1,139	1,155	1,156	0,93	1,262	1,294					
0,63	1,104	1,119	1,117	1,127	1,142	1,157	1,157	0,94	1,270						
0,64	1,107	1,122	1,120	1,130	1,145	1,159	1,158	0,95	1,278						
0,65	1,110	1,125	1,123	1,134	1,148	1,163	1,160	0,96	1,286						
0,66	1,113	1,129	1,126	1,137	1,152	1,166	1,163	0,97	1,294						
0,67	1,117	1,132	1,130	1,141	1,156	1,170	1,167	0,98							
0,68	1,120	1,136	1,134	1,146	1,160	1,175	1,171	0,99							
0,69	1,124	1,140	1,138	1,150	1,165	1,180	1,176	1,00							
0,70	1,128	1,144	1,143	1,155	1,170	1,185	1,182	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.53)

Tabela 5.6 Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=25$ MPa (Quadrática)

fck = 25 MPa								fck = 25 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,067	1,076	1,092	1,100	1,116	1,143	1,193	0,71	1,132	1,142	1,162	1,169	1,178	1,195	1,217
0,41	1,067	1,076	1,091	1,099	1,113	1,139	1,186	0,72	1,136	1,147	1,168	1,175	1,184	1,202	1,226
0,42	1,067	1,076	1,090	1,098	1,111	1,135	1,180	0,73	1,141	1,152	1,173	1,181	1,191	1,210	1,235
0,43	1,067	1,076	1,090	1,097	1,109	1,132	1,174	0,74	1,146	1,157	1,179	1,188	1,199	1,219	1,245
0,44	1,067	1,076	1,090	1,096	1,108	1,129	1,169	0,75	1,151	1,163	1,186	1,194	1,206	1,228	1,256
0,45	1,068	1,076	1,090	1,096	1,107	1,127	1,164	0,76	1,156	1,168	1,192	1,201	1,214	1,237	1,267
0,46	1,068	1,077	1,090	1,096	1,106	1,125	1,160	0,77	1,161	1,174	1,199	1,209	1,222	1,246	1,278
0,47	1,069	1,077	1,090	1,096	1,105	1,123	1,156	0,78	1,166	1,179	1,206	1,216	1,231	1,256	1,290
0,48	1,070	1,078	1,091	1,096	1,105	1,122	1,153	0,79	1,172	1,185	1,213	1,224	1,239	1,267	
0,49	1,071	1,079	1,092	1,097	1,105	1,121	1,150	0,80	1,177	1,192	1,220	1,232	1,248	1,277	
0,50	1,073	1,080	1,093	1,098	1,105	1,120	1,148	0,81	1,183	1,198	1,228	1,240	1,258	1,288	
0,51	1,074	1,081	1,094	1,099	1,106	1,120	1,146	0,82	1,189	1,204	1,235	1,248	1,267	1,300	
0,52	1,075	1,083	1,095	1,100	1,106	1,120	1,145	0,83	1,195	1,211	1,243	1,257	1,277		
0,53	1,077	1,084	1,097	1,101	1,108	1,120	1,144	0,84	1,201	1,218	1,251	1,266	1,287		
0,54	1,079	1,086	1,099	1,103	1,109	1,121	1,144	0,85	1,207	1,225	1,260	1,275	1,298		
0,55	1,081	1,088	1,101	1,105	1,111	1,123	1,144	0,86	1,214	1,232	1,268	1,284			
0,56	1,083	1,090	1,103	1,107	1,113	1,124	1,145	0,87	1,221	1,239	1,277	1,294			
0,57	1,085	1,093	1,105	1,110	1,115	1,126	1,146	0,88	1,227	1,247	1,286				
0,58	1,088	1,095	1,108	1,112	1,118	1,129	1,148	0,89	1,234	1,255	1,295				
0,59	1,090	1,098	1,111	1,115	1,120	1,132	1,150	0,90	1,241	1,262					
0,60	1,093	1,100	1,114	1,118	1,124	1,135	1,153	0,91	1,249	1,270					
0,61	1,096	1,103	1,117	1,122	1,127	1,138	1,156	0,92	1,256	1,279					
0,62	1,099	1,106	1,121	1,125	1,131	1,142	1,160	0,93	1,263	1,287					
0,63	1,102	1,110	1,125	1,129	1,135	1,147	1,164	0,94	1,271	1,295					
0,64	1,105	1,113	1,128	1,133	1,139	1,151	1,169	0,95	1,279						
0,65	1,108	1,117	1,133	1,138	1,144	1,156	1,174	0,96	1,287						
0,66	1,112	1,121	1,137	1,142	1,149	1,162	1,180	0,97	1,295						
0,67	1,116	1,125	1,142	1,147	1,154	1,168	1,187	0,98							
0,68	1,120	1,129	1,146	1,152	1,160	1,174	1,193	0,99							
0,69	1,124	1,133	1,151	1,158	1,165	1,180	1,201	1,00							
0,70	1,128	1,138	1,157	1,163	1,171	1,187	1,209	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.56)

Tabela 5.7. Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=30$ MPa (Quadrática)

fck = 30 MPa								fck = 30 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,064	1,072	1,082	1,090	1,097	1,121	1,152	0,71	1,144	1,158	1,174	1,179	1,187	1,214	1,234
0,41	1,064	1,072	1,082	1,090	1,096	1,119	1,148	0,72	1,148	1,164	1,180	1,185	1,195	1,222	1,244
0,42	1,065	1,072	1,082	1,089	1,095	1,117	1,144	0,73	1,153	1,169	1,186	1,192	1,202	1,231	1,254
0,43	1,066	1,073	1,082	1,089	1,094	1,116	1,141	0,74	1,159	1,175	1,193	1,199	1,210	1,240	1,265
0,44	1,067	1,074	1,083	1,090	1,094	1,115	1,138	0,75	1,164	1,181	1,200	1,206	1,218	1,250	1,276

0,45	1,068	1,075	1,084	1,090	1,094	1,114	1,135	0,76	1,169	1,187	1,207	1,214	1,227	1,260	1,288
0,46	1,069	1,076	1,084	1,090	1,094	1,113	1,133	0,77	1,175	1,193	1,214	1,221	1,235	1,270	1,300
0,47	1,070	1,078	1,086	1,091	1,095	1,113	1,132	0,78	1,180	1,199	1,222	1,229	1,244	1,281	
0,48	1,072	1,079	1,087	1,092	1,095	1,113	1,131	0,79	1,186	1,206	1,230	1,237	1,253	1,292	
0,49	1,073	1,081	1,088	1,094	1,096	1,114	1,130	0,80	1,192	1,212	1,238	1,246	1,263		
0,50	1,075	1,083	1,090	1,095	1,098	1,115	1,130	0,81	1,198	1,219	1,246	1,254	1,273		
0,51	1,077	1,084	1,092	1,097	1,099	1,116	1,130	0,82	1,204	1,226	1,254	1,263	1,283		
0,52	1,079	1,087	1,094	1,099	1,101	1,118	1,131	0,83	1,211	1,233	1,263	1,272	1,293		
0,53	1,081	1,089	1,096	1,101	1,103	1,120	1,132	0,84	1,217	1,241	1,271	1,281			
0,54	1,083	1,091	1,099	1,103	1,105	1,122	1,134	0,85	1,224	1,248	1,280	1,291			
0,55	1,086	1,094	1,102	1,106	1,108	1,125	1,136	0,86	1,231	1,256	1,290	1,300			
0,56	1,088	1,097	1,105	1,109	1,111	1,128	1,139	0,87	1,237	1,264	1,299				
0,57	1,091	1,100	1,108	1,112	1,114	1,131	1,142	0,88	1,244	1,272					
0,58	1,094	1,103	1,111	1,115	1,117	1,135	1,146	0,89	1,252	1,280					
0,59	1,097	1,106	1,115	1,119	1,121	1,139	1,150	0,90	1,259	1,288					
0,60	1,100	1,110	1,118	1,122	1,125	1,143	1,154	0,91	1,266	1,297					
0,61	1,103	1,113	1,122	1,126	1,129	1,148	1,159	0,92	1,274						
0,62	1,107	1,117	1,127	1,131	1,134	1,153	1,164	0,93	1,282						
0,63	1,110	1,121	1,131	1,135	1,139	1,158	1,170	0,94	1,290						
0,64	1,114	1,125	1,136	1,140	1,144	1,164	1,176	0,95	1,298						
0,65	1,118	1,129	1,140	1,145	1,149	1,170	1,183	0,96							
0,66	1,122	1,134	1,145	1,150	1,155	1,177	1,190	0,97							
0,67	1,126	1,138	1,151	1,155	1,161	1,183	1,198	0,98							
0,68	1,130	1,143	1,156	1,161	1,167	1,191	1,206	0,99							
0,69	1,134	1,148	1,162	1,167	1,174	1,198	1,215	1,00							
0,70	1,139	1,153	1,168	1,173	1,180	1,206	1,224	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.59)

Tabela 5.8 Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=35$ MPa (Quadrática)

fck = 35 MPa								fck = 35 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,053	1,065	1,063	1,069	1,085	1,096	1,110	0,71	1,139	1,158	1,164	1,174	1,199	1,217	1,238
0,41	1,054	1,066	1,064	1,070	1,085	1,096	1,109	0,72	1,144	1,163	1,170	1,180	1,207	1,225	1,248
0,42	1,055	1,067	1,065	1,070	1,086	1,096	1,108	0,73	1,149	1,169	1,176	1,187	1,215	1,234	1,259
0,43	1,056	1,068	1,066	1,071	1,086	1,096	1,107	0,74	1,154	1,174	1,183	1,194	1,222	1,243	1,269
0,44	1,057	1,069	1,067	1,072	1,087	1,096	1,107	0,75	1,159	1,180	1,189	1,201	1,231	1,253	1,281
0,45	1,059	1,071	1,068	1,073	1,088	1,097	1,107	0,76	1,165	1,186	1,196	1,208	1,239	1,262	1,292
0,46	1,060	1,072	1,070	1,075	1,090	1,098	1,107	0,77	1,170	1,192	1,203	1,215	1,248	1,272	
0,47	1,062	1,074	1,071	1,076	1,091	1,099	1,108	0,78	1,176	1,198	1,210	1,223	1,256	1,282	
0,48	1,064	1,076	1,073	1,078	1,093	1,101	1,109	0,79	1,181	1,204	1,217	1,231	1,265	1,293	
0,49	1,065	1,078	1,075	1,080	1,095	1,103	1,111	0,80	1,187	1,211	1,225	1,239	1,275		
0,50	1,068	1,080	1,078	1,083	1,098	1,105	1,113	0,81	1,193	1,217	1,232	1,247	1,284		
0,51	1,070	1,082	1,080	1,085	1,100	1,107	1,115	0,82	1,199	1,224	1,240	1,255	1,294		
0,52	1,072	1,085	1,082	1,087	1,103	1,110	1,117	0,83	1,205	1,231	1,248	1,264			
0,53	1,074	1,087	1,085	1,090	1,106	1,113	1,120	0,84	1,212	1,238	1,256	1,273			
0,54	1,077	1,090	1,088	1,093	1,109	1,117	1,124	0,85	1,218	1,245	1,265	1,282			
0,55	1,080	1,093	1,091	1,096	1,112	1,120	1,128	0,86	1,225	1,253	1,273	1,291			
0,56	1,082	1,096	1,094	1,100	1,116	1,124	1,132	0,87	1,231	1,260	1,282	1,300			
0,57	1,085	1,099	1,098	1,103	1,120	1,128	1,136	0,88	1,238	1,268	1,291				
0,58	1,088	1,102	1,101	1,107	1,124	1,133	1,141	0,89	1,245	1,275	1,300				
0,59	1,092	1,106	1,105	1,111	1,129	1,137	1,146	0,90	1,252	1,283					

0,60	1,095	1,109	1,109	1,115	1,133	1,142	1,152	0,91	1,260	1,291					
0,61	1,098	1,113	1,113	1,120	1,138	1,148	1,158	0,92	1,267	1,299					
0,62	1,102	1,117	1,118	1,124	1,143	1,153	1,164	0,93	1,274						
0,63	1,105	1,121	1,122	1,129	1,148	1,159	1,171	0,94	1,282						
0,64	1,109	1,125	1,127	1,134	1,154	1,165	1,178	0,95	1,290						
0,65	1,113	1,129	1,132	1,139	1,160	1,172	1,186	0,96	1,297						
0,66	1,117	1,134	1,137	1,144	1,166	1,179	1,193	0,97							
0,67	1,121	1,138	1,142	1,150	1,172	1,186	1,202	0,98							
0,68	1,126	1,143	1,147	1,155	1,179	1,193	1,210	0,99							
0,69	1,130	1,148	1,153	1,161	1,185	1,201	1,219	1,00							
0,70	1,135	1,153	1,158	1,167	1,192	1,209	1,229	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.62)

Tabela 5.9 Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=20$ MPa (Cubica)

fck = 20 MPa								fck = 20 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,031	1,026	1,022	1,016	0,998	0,985	0,923	0,71	1,148	1,153	1,174	1,183	1,200	1,237	1,263
0,41	1,035	1,031	1,028	1,024	1,008	0,998	0,944	0,72	1,152	1,158	1,179	1,188	1,205	1,243	1,269
0,42	1,040	1,036	1,034	1,031	1,017	1,011	0,964	0,73	1,156	1,162	1,184	1,193	1,211	1,249	1,275
0,43	1,044	1,040	1,040	1,038	1,026	1,024	0,983	0,74	1,160	1,166	1,189	1,198	1,216	1,255	1,281
0,44	1,048	1,045	1,046	1,045	1,035	1,036	1,001	0,75	1,164	1,171	1,194	1,203	1,222	1,261	1,287
0,45	1,052	1,050	1,052	1,051	1,044	1,047	1,019	0,76	1,168	1,175	1,199	1,208	1,228	1,267	1,293
0,46	1,056	1,054	1,058	1,058	1,052	1,058	1,035	0,77	1,173	1,180	1,204	1,214	1,234	1,274	1,300
0,47	1,060	1,059	1,063	1,064	1,059	1,069	1,051	0,78	1,177	1,185	1,210	1,219	1,240	1,280	
0,48	1,064	1,063	1,068	1,070	1,067	1,079	1,065	0,79	1,182	1,190	1,215	1,225	1,247	1,287	
0,49	1,068	1,067	1,074	1,076	1,074	1,088	1,079	0,80	1,186	1,195	1,221	1,231	1,253	1,294	
0,50	1,071	1,071	1,079	1,081	1,081	1,098	1,093	0,81	1,191	1,200	1,227	1,237	1,260		
0,51	1,075	1,076	1,084	1,087	1,088	1,106	1,105	0,82	1,196	1,205	1,233	1,243	1,267		
0,52	1,079	1,080	1,089	1,092	1,095	1,115	1,117	0,83	1,201	1,210	1,239	1,250	1,275		
0,53	1,082	1,083	1,093	1,097	1,101	1,123	1,128	0,84	1,206	1,216	1,246	1,257	1,282		
0,54	1,086	1,087	1,098	1,103	1,107	1,131	1,139	0,85	1,211	1,222	1,252	1,263	1,290		
0,55	1,089	1,091	1,103	1,108	1,113	1,138	1,149	0,86	1,217	1,228	1,259	1,271	1,298		
0,56	1,093	1,095	1,107	1,112	1,119	1,146	1,159	0,87	1,222	1,234	1,266	1,278			
0,57	1,097	1,099	1,112	1,117	1,125	1,153	1,168	0,88	1,228	1,240	1,273	1,286			
0,58	1,100	1,103	1,116	1,122	1,131	1,160	1,176	0,89	1,234	1,246	1,281	1,293			
0,59	1,104	1,107	1,121	1,127	1,136	1,166	1,185	0,90	1,240	1,253	1,288				
0,60	1,107	1,110	1,125	1,132	1,142	1,173	1,192	0,91	1,246	1,259	1,296				
0,61	1,111	1,114	1,130	1,136	1,147	1,179	1,200	0,92	1,252	1,266					
0,62	1,114	1,118	1,134	1,141	1,152	1,185	1,207	0,93	1,259	1,274					
0,63	1,118	1,122	1,138	1,145	1,158	1,191	1,214	0,94	1,266	1,281					
0,64	1,121	1,126	1,143	1,150	1,163	1,197	1,221	0,95	1,273	1,289					
0,65	1,125	1,129	1,147	1,155	1,168	1,203	1,227	0,96	1,280	1,296					
0,66	1,129	1,133	1,151	1,159	1,173	1,208	1,233	0,97	1,287						
0,67	1,132	1,137	1,156	1,164	1,178	1,214	1,239	0,98	1,294						
0,68	1,136	1,141	1,160	1,168	1,184	1,220	1,245	0,99							
0,69	1,140	1,145	1,165	1,173	1,189	1,226	1,251	1,00							
0,70	1,144	1,149	1,170	1,178	1,194	1,231	1,257	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.55)

Tabela 5.10 Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=25$ MPa (Cubica)

fck = 25 MPa								fck = 25 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,038	1,042	1,039	1,040	1,037	1,030	1,012	0,71	1,147	1,160	1,177	1,187	1,201	1,225	1,25
0,41	1,042	1,046	1,044	1,046	1,044	1,039	1,024	0,72	1,151	1,164	1,182	1,193	1,207	1,231	1,26
0,42	1,045	1,050	1,049	1,051	1,050	1,047	1,036	0,73	1,155	1,169	1,187	1,198	1,213	1,238	1,26
0,43	1,049	1,054	1,054	1,056	1,057	1,055	1,047	0,74	1,159	1,173	1,192	1,204	1,219	1,245	1,27
0,44	1,052	1,058	1,059	1,062	1,063	1,063	1,058	0,75	1,164	1,178	1,198	1,209	1,225	1,252	1,28
0,45	1,056	1,062	1,063	1,067	1,069	1,071	1,068	0,76	1,168	1,183	1,203	1,215	1,232	1,259	1,29
0,46	1,059	1,065	1,068	1,072	1,074	1,078	1,078	0,77	1,173	1,188	1,209	1,221	1,238	1,266	1,29
0,47	1,063	1,069	1,072	1,076	1,080	1,085	1,087	0,78	1,178	1,193	1,215	1,227	1,245	1,274	
0,48	1,066	1,073	1,076	1,081	1,086	1,092	1,096	0,79	1,183	1,198	1,221	1,234	1,252	1,282	
0,49	1,069	1,076	1,081	1,086	1,091	1,099	1,104	0,80	1,188	1,204	1,227	1,240	1,259	1,290	
0,50	1,073	1,080	1,085	1,091	1,096	1,105	1,113	0,81	1,193	1,209	1,234	1,247	1,267	1,298	
0,51	1,076	1,084	1,089	1,095	1,101	1,111	1,120	0,82	1,198	1,215	1,240	1,254	1,274		
0,52	1,079	1,087	1,093	1,100	1,107	1,117	1,128	0,83	1,203	1,221	1,247	1,261	1,282		
0,53	1,082	1,091	1,098	1,104	1,112	1,123	1,135	0,84	1,209	1,227	1,254	1,269	1,291		
0,54	1,086	1,094	1,102	1,109	1,116	1,129	1,142	0,85	1,214	1,233	1,262	1,277	1,299		
0,55	1,089	1,098	1,106	1,113	1,121	1,135	1,149	0,86	1,220	1,240	1,269	1,285			
0,56	1,092	1,101	1,110	1,117	1,126	1,141	1,156	0,87	1,226	1,246	1,277	1,293			
0,57	1,096	1,105	1,114	1,122	1,131	1,146	1,163	0,88	1,232	1,253	1,285				
0,58	1,099	1,109	1,118	1,126	1,136	1,152	1,169	0,89	1,239	1,260	1,293				
0,59	1,102	1,112	1,123	1,131	1,141	1,157	1,175	0,90	1,245	1,267					
0,60	1,106	1,116	1,127	1,135	1,145	1,163	1,181	0,91	1,252	1,274					
0,61	1,109	1,120	1,131	1,139	1,150	1,168	1,187	0,92	1,259	1,282					
0,62	1,113	1,123	1,135	1,144	1,155	1,173	1,193	0,93	1,266	1,289					
0,63	1,116	1,127	1,140	1,148	1,160	1,179	1,199	0,94	1,273	1,297					
0,64	1,120	1,131	1,144	1,153	1,165	1,184	1,205	0,95	1,280						
0,65	1,123	1,135	1,148	1,158	1,170	1,190	1,211	0,96	1,288						
0,66	1,127	1,139	1,153	1,162	1,175	1,195	1,217	0,97	1,295						
0,67	1,131	1,143	1,157	1,167	1,180	1,201	1,224	0,98							
0,68	1,135	1,147	1,162	1,172	1,185	1,207	1,230	0,99							
0,69	1,139	1,151	1,167	1,177	1,190	1,213	1,236	1,00							
0,70	1,143	1,155	1,172	1,182	1,196	1,219	1,243	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.58)

Tabela 5.11. Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=30$ MPa (Cubica)

fck = 30 MPa								fck = 30 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,035	1,042	1,046	1,048	1,044	1,038	1,051	0,71	1,139	1,163	1,179	1,182	1,201	1,220	1,254
0,41	1,038	1,046	1,050	1,053	1,050	1,046	1,060	0,72	1,143	1,167	1,184	1,187	1,207	1,227	1,261
0,42	1,042	1,051	1,055	1,057	1,056	1,053	1,069	0,73	1,148	1,172	1,189	1,192	1,213	1,234	1,268
0,43	1,045	1,055	1,059	1,062	1,062	1,060	1,077	0,74	1,152	1,176	1,195	1,198	1,220	1,241	1,276
0,44	1,048	1,059	1,063	1,066	1,067	1,067	1,085	0,75	1,157	1,181	1,201	1,204	1,226	1,249	1,285
0,45	1,051	1,063	1,067	1,071	1,072	1,074	1,093	0,76	1,161	1,186	1,207	1,210	1,233	1,256	1,293
0,46	1,054	1,067	1,072	1,075	1,078	1,080	1,100	0,77	1,166	1,191	1,213	1,216	1,240	1,264	
0,47	1,057	1,071	1,076	1,079	1,083	1,086	1,108	0,78	1,171	1,196	1,219	1,222	1,247	1,272	
0,48	1,060	1,075	1,080	1,083	1,088	1,092	1,114	0,79	1,176	1,201	1,226	1,229	1,255	1,281	

0,49	1,063	1,079	1,084	1,087	1,093	1,098	1,121	0,80	1,181	1,207	1,233	1,236	1,263	1,290
0,50	1,066	1,083	1,088	1,091	1,098	1,104	1,128	0,81	1,187	1,213	1,240	1,243	1,271	1,299
0,51	1,069	1,086	1,091	1,095	1,102	1,109	1,134	0,82	1,192	1,218	1,247	1,250	1,279	
0,52	1,072	1,090	1,095	1,099	1,107	1,115	1,140	0,83	1,198	1,224	1,254	1,257	1,288	
0,53	1,076	1,094	1,099	1,103	1,112	1,120	1,146	0,84	1,204	1,231	1,262	1,265	1,296	
0,54	1,079	1,097	1,103	1,107	1,116	1,126	1,152	0,85	1,209	1,237	1,269	1,273		
0,55	1,082	1,101	1,107	1,111	1,121	1,131	1,157	0,86	1,216	1,243	1,278	1,281		
0,56	1,085	1,104	1,111	1,115	1,126	1,136	1,163	0,87	1,222	1,250	1,286	1,290		
0,57	1,088	1,108	1,115	1,119	1,130	1,141	1,169	0,88	1,228	1,257	1,294	1,299		
0,58	1,091	1,112	1,119	1,123	1,135	1,147	1,174	0,89	1,235	1,264				
0,59	1,095	1,115	1,123	1,127	1,139	1,152	1,180	0,90	1,242	1,272				
0,60	1,098	1,119	1,128	1,131	1,144	1,157	1,185	0,91	1,249	1,280				
0,61	1,101	1,123	1,132	1,135	1,149	1,162	1,191	0,92	1,256	1,287				
0,62	1,105	1,126	1,136	1,140	1,154	1,168	1,197	0,93	1,263	1,296				
0,63	1,108	1,130	1,140	1,144	1,158	1,173	1,202	0,94	1,271					
0,64	1,112	1,134	1,145	1,148	1,163	1,179	1,208	0,95	1,278					
0,65	1,116	1,138	1,149	1,153	1,168	1,184	1,214	0,96	1,286					
0,66	1,119	1,142	1,154	1,157	1,174	1,190	1,220	0,97	1,294					
0,67	1,123	1,146	1,159	1,162	1,179	1,196	1,227	0,98						
0,68	1,127	1,150	1,163	1,167	1,184	1,202	1,233	0,99						
0,69	1,131	1,154	1,168	1,172	1,190	1,208	1,240	1,00						
0,70	1,135	1,158	1,173	1,177	1,195	1,214	1,246	1,01						

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.61)

Tabela 5.12 Valores do γ_z em função do α e do F_{Req} para $F_{ck}=35$ MPa (Cubica)

fck = 35 MPa								fck = 35 MPa (CONTINUAÇÃO)							
α	Freq							α	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50		0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,038	1,045	1,054	1,047	1,056	1,063	1,066	0,71	1,138	1,155	1,177	1,177	1,200	1,228	1,256
0,41	1,041	1,048	1,058	1,051	1,060	1,069	1,073	0,72	1,142	1,160	1,182	1,183	1,206	1,235	1,264
0,42	1,044	1,051	1,062	1,055	1,065	1,074	1,080	0,73	1,146	1,165	1,188	1,188	1,213	1,242	1,273
0,43	1,046	1,054	1,065	1,059	1,069	1,079	1,086	0,74	1,151	1,170	1,193	1,194	1,219	1,250	1,281
0,44	1,049	1,057	1,069	1,062	1,073	1,084	1,093	0,75	1,155	1,175	1,199	1,200	1,226	1,257	1,290
0,45	1,052	1,061	1,072	1,066	1,078	1,089	1,099	0,76	1,160	1,180	1,205	1,207	1,233	1,265	1,300
0,46	1,055	1,064	1,076	1,070	1,082	1,094	1,105	0,77	1,165	1,186	1,211	1,213	1,240	1,274	
0,47	1,058	1,067	1,079	1,074	1,086	1,099	1,111	0,78	1,170	1,191	1,217	1,220	1,248	1,282	
0,48	1,061	1,070	1,083	1,078	1,090	1,104	1,116	0,79	1,175	1,197	1,224	1,227	1,256	1,291	
0,49	1,063	1,073	1,086	1,081	1,095	1,109	1,122	0,80	1,180	1,203	1,230	1,234	1,264		
0,50	1,066	1,076	1,090	1,085	1,099	1,114	1,128	0,81	1,186	1,209	1,237	1,241	1,272		
0,51	1,069	1,079	1,094	1,089	1,103	1,119	1,133	0,82	1,191	1,215	1,244	1,248	1,280		
0,52	1,072	1,083	1,097	1,093	1,107	1,123	1,139	0,83	1,197	1,221	1,251	1,256	1,289		
0,53	1,075	1,086	1,101	1,096	1,111	1,128	1,144	0,84	1,203	1,228	1,258	1,264	1,298		
0,54	1,078	1,089	1,104	1,100	1,116	1,133	1,149	0,85	1,209	1,234	1,266	1,272			
0,55	1,081	1,093	1,108	1,104	1,120	1,138	1,155	0,86	1,215	1,241	1,274	1,281			
0,56	1,084	1,096	1,112	1,108	1,124	1,142	1,160	0,87	1,221	1,248	1,282	1,290			
0,57	1,087	1,099	1,116	1,112	1,128	1,147	1,166	0,88	1,228	1,256	1,290	1,299			
0,58	1,090	1,103	1,119	1,116	1,133	1,152	1,171	0,89	1,234	1,263	1,299				
0,59	1,094	1,106	1,123	1,120	1,137	1,157	1,177	0,90	1,241	1,271					
0,60	1,097	1,110	1,127	1,124	1,142	1,162	1,183	0,91	1,248	1,279					
0,61	1,100	1,114	1,131	1,128	1,147	1,168	1,189	0,92	1,255	1,287					
0,62	1,104	1,117	1,135	1,133	1,151	1,173	1,195	0,93	1,263	1,295					
0,63	1,107	1,121	1,140	1,137	1,156	1,178	1,201	0,94	1,270						

0,64	1,111	1,125	1,144	1,142	1,161	1,184	1,207	0,95	1,278						
0,65	1,114	1,129	1,148	1,146	1,166	1,190	1,213	0,96	1,286						
0,66	1,118	1,133	1,153	1,151	1,172	1,196	1,220	0,97	1,294						
0,67	1,122	1,137	1,157	1,156	1,177	1,202	1,227	0,98							
0,68	1,126	1,142	1,162	1,161	1,183	1,208	1,234	0,99							
0,69	1,129	1,146	1,167	1,166	1,188	1,214	1,241	1,00							
0,70	1,134	1,151	1,172	1,172	1,194	1,221	1,249	1,01							

Fonte: Adaptada de Paiva (2020, p.65)

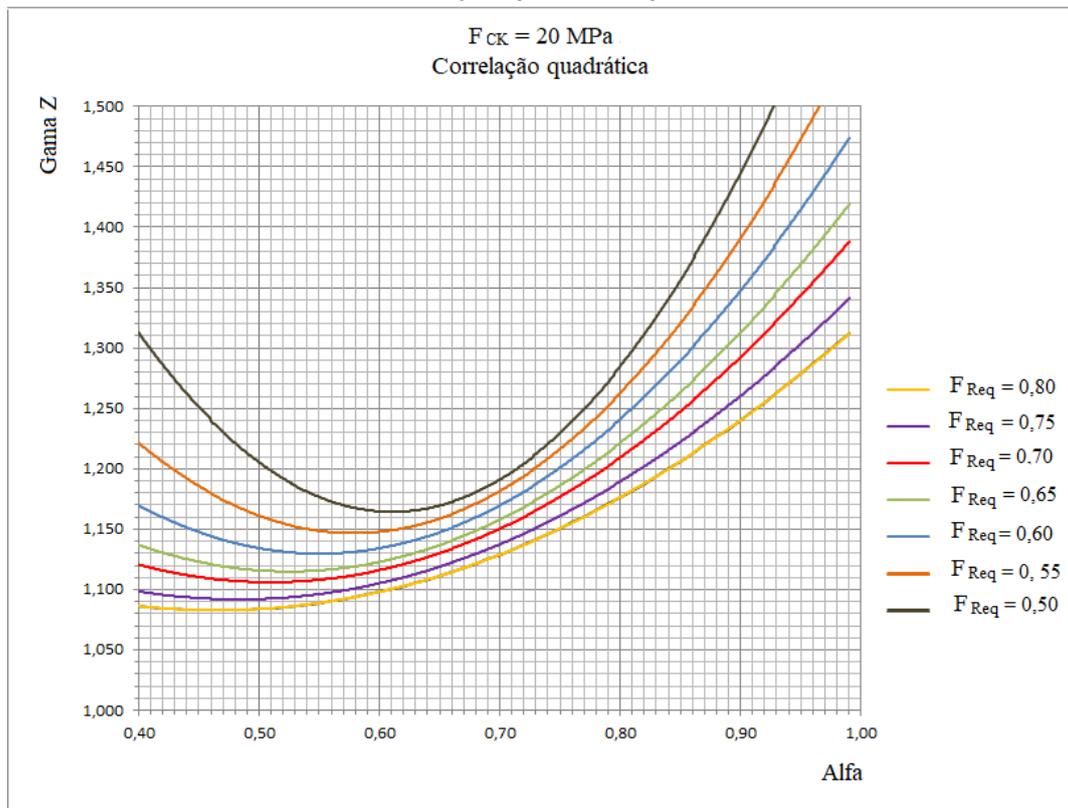
5.3 Gráficos para a estimativa do Coeficiente Gama-Z em função do Alfa.

Neste item são apresentados oito gráficos que possibilitam estimar o valor do Coeficiente Gama-Z em função do Parâmetro Alfa. Os quatro primeiros são representação de funções quadráticas e os últimos, de funções cúbicas. Para cada valor do f_{ck} , consideram-se sete valores para o F_{Req} com redução de 20% na rigidez flexional dos pilares e 60% da rigidez das vigas (que são aqui consideradas como armadas com armadura de tração diferente da armadura de compressão.)

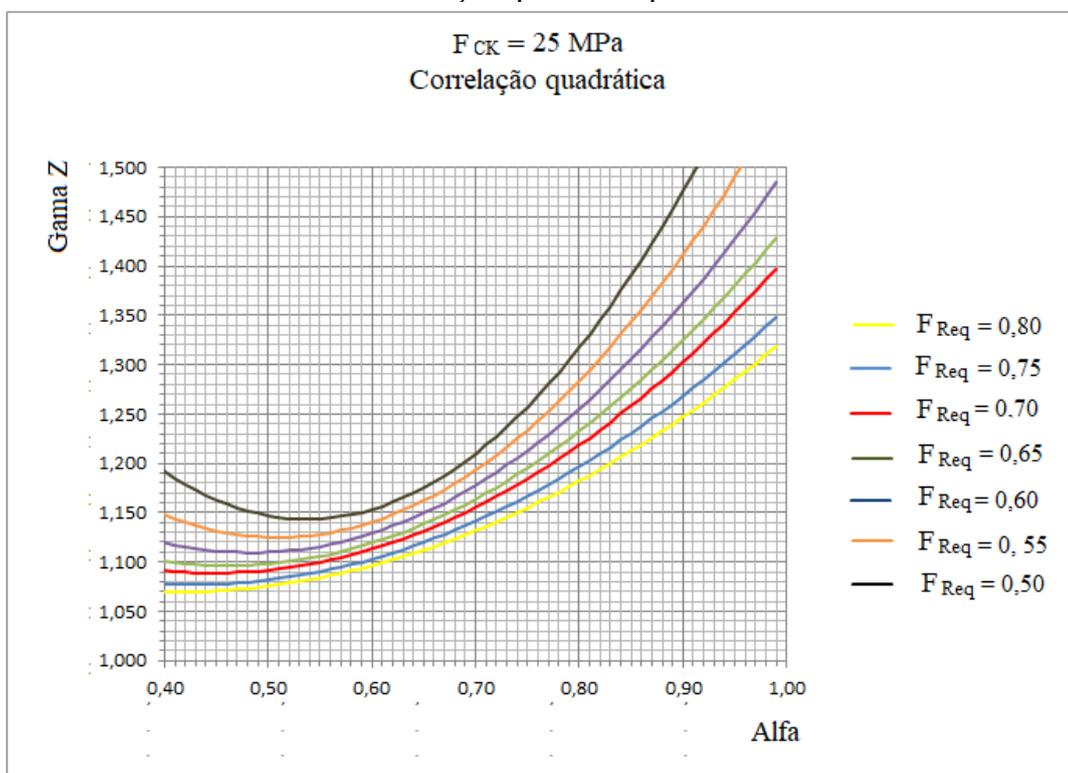
É importante observar que alguns trechos destes gráficos, embora atendam as equações as quais representam, devem ser excluídos, pois o significado físico a eles associado é sabidamente incompatível com o desempenho das estruturas analisadas.

Em outras palavras, para cada uma das curvas dos oito gráficos apresentados deve ser estabelecido um limite de validade. Tal limite deve ser identificado da origem (Alfa=0,40; Gama-Z=1,00) até um ponto a ser determinado para cada curva, em cada gráfico. Este fato que também foi observado em Paiva (2020), o levou a destacar em cor cinza valores do Alfa para os quais a função não é aplicável.

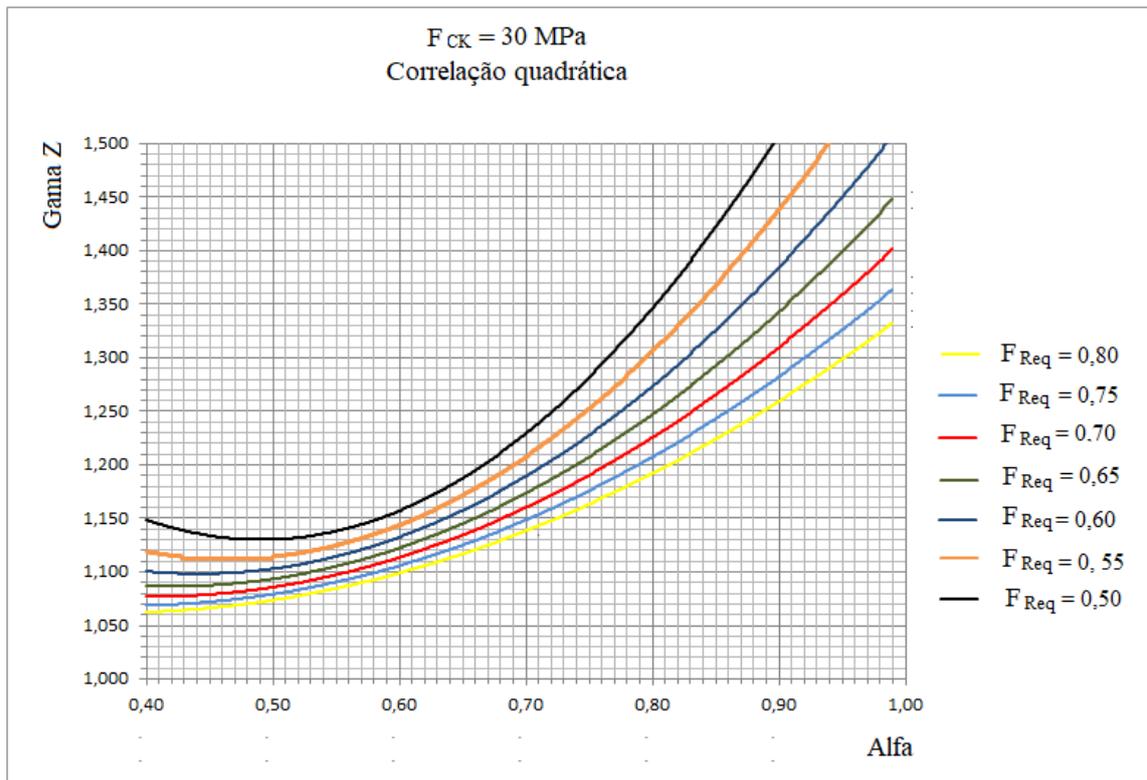
Exemplificando o que acabou de ser ressaltado, observe-se a curva de cor preta aplicável para valores do Alfa não menores que 0,61 e valores do Gama-Z não menores que 1,165.

Gráfico 5.1 Correlação quadrática para $F_{ck} = 20$ MPa

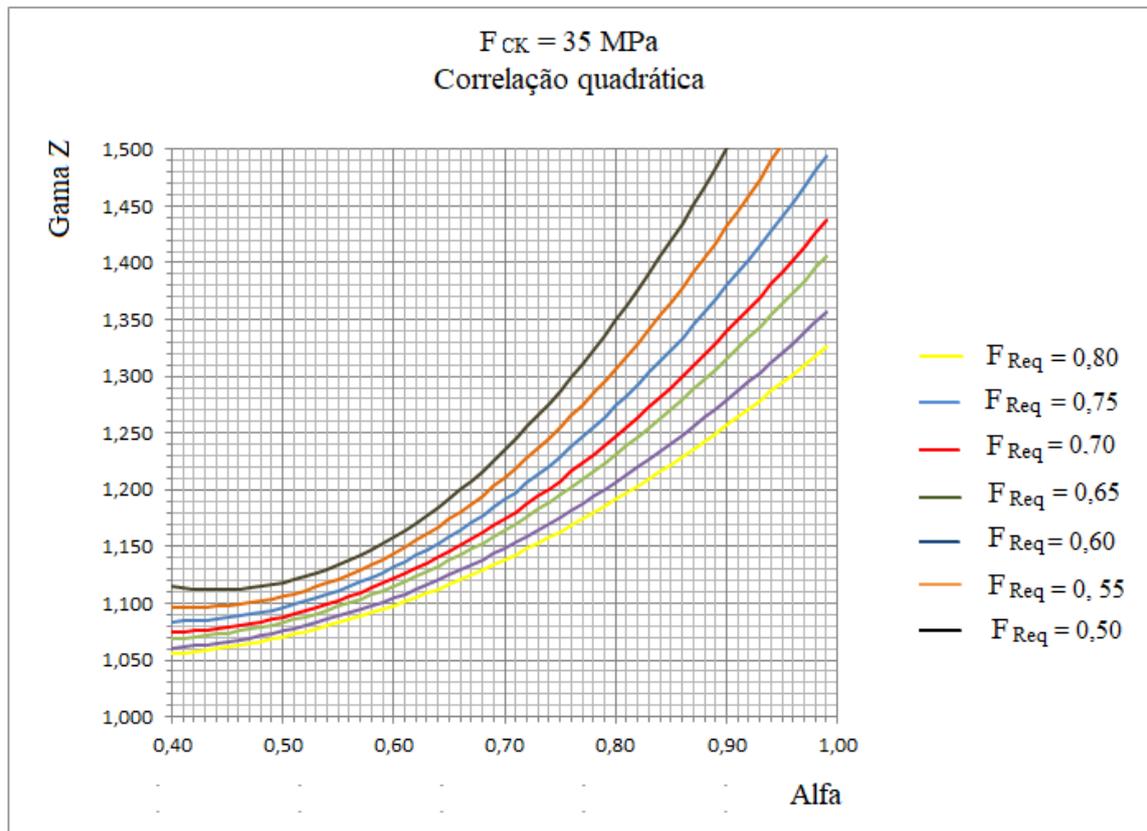
Fonte: O Autor

Gráfico 5.2 Correlação quadrática para $F_{ck} = 25$ MPa

Fonte: O Autor

Gráfico 5.3 Correlação quadrática para $F_{ck} = 30$ MPa

Fonte: O Autor

Gráfico 5.4 Correlação quadrática para $F_{ck} = 35$ MPa

Fonte: O Autor

Com relação às funções quadráticas, observa-se que:

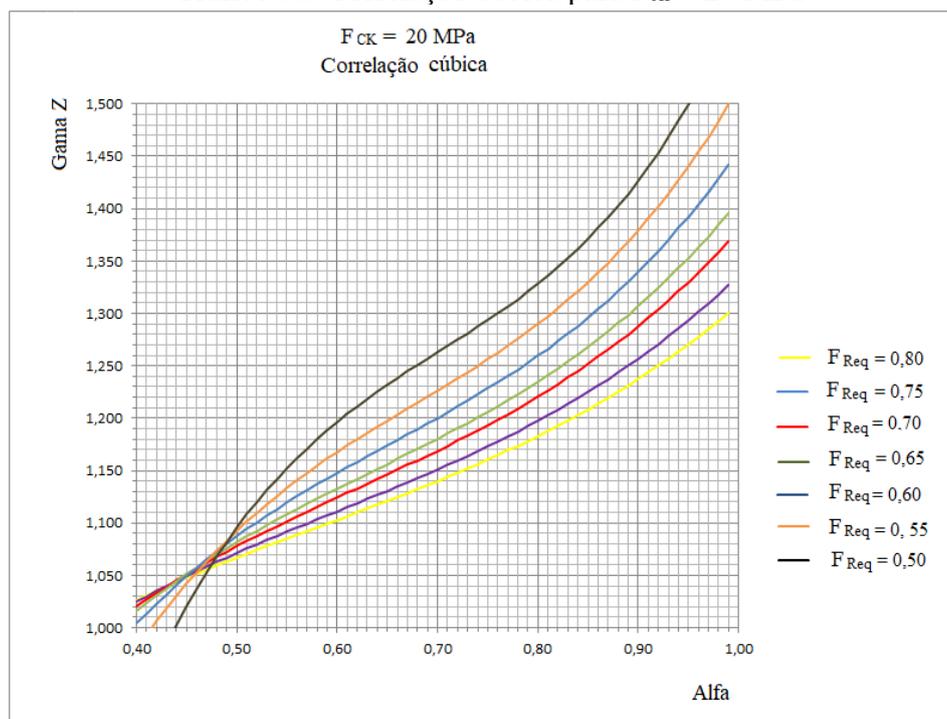
- na medida em que os valores do f_{ck} aumentam, elas, as correlações, são aplicáveis para valores menores do Alfa;
- para cada valor do f_{ck} as funções quadráticas associadas a valores mais altos do $F_{Req.}$, quando calculadas para Alfa igual à 0,6 resultam valores do Gama-Z mais próximos do valor 1,10.

Assim, da análise dos Gráficos 5.1 até o Gráfico 5.4 conclui-se que:

- a função de correlação associada a $F_{Req.} = 0,50$, para $f_{ck} = 20$ MPa é aplicável até o valor mínimo Alfa = 0,61; para $f_{ck} = 25$ MPa, até Alfa = 0,54; para $f_{ck} = 30$ MPa, até Alfa = 0,49, enquanto para $f_{ck} = 35$ MPa é aplicável até Alfa = 0,45. Para a correlação associada ao valor do $F_{Req.} = 0,65$, para $f_{ck} = 20$ MPa é aplicável até Alfa = 0,53; para $f_{ck} = 25$ MPa, até Alfa = 0,46; para $f_{ck} = 30$ MPa, até Alfa = 0,42, enquanto para $f_{ck} = 35$ MPa é aplicável para valores até Alfa = 0,40;

- no Gráfico 5.1, obtém-se, na curva associada a $F_{Req.} = 0,80$, o valor do Gama-Z igual à 1,10; para $F_{Req.} = 0,75$, o valor 1,180; para $F_{Req.} = 0,70$, o valor 1,118; para $F_{Req.} = 0,65$, o valor 1,123; para $F_{Req.} = 0,60$, o valor 1,132; para $F_{Req.} = 0,55$, o valor 1,149; para $F_{Req.} = 0,50$, o valor 1,165;

Gráfico 5.5 Correlação cubica para $F_{ck} = 20$ MPa



Fonte: O Autor

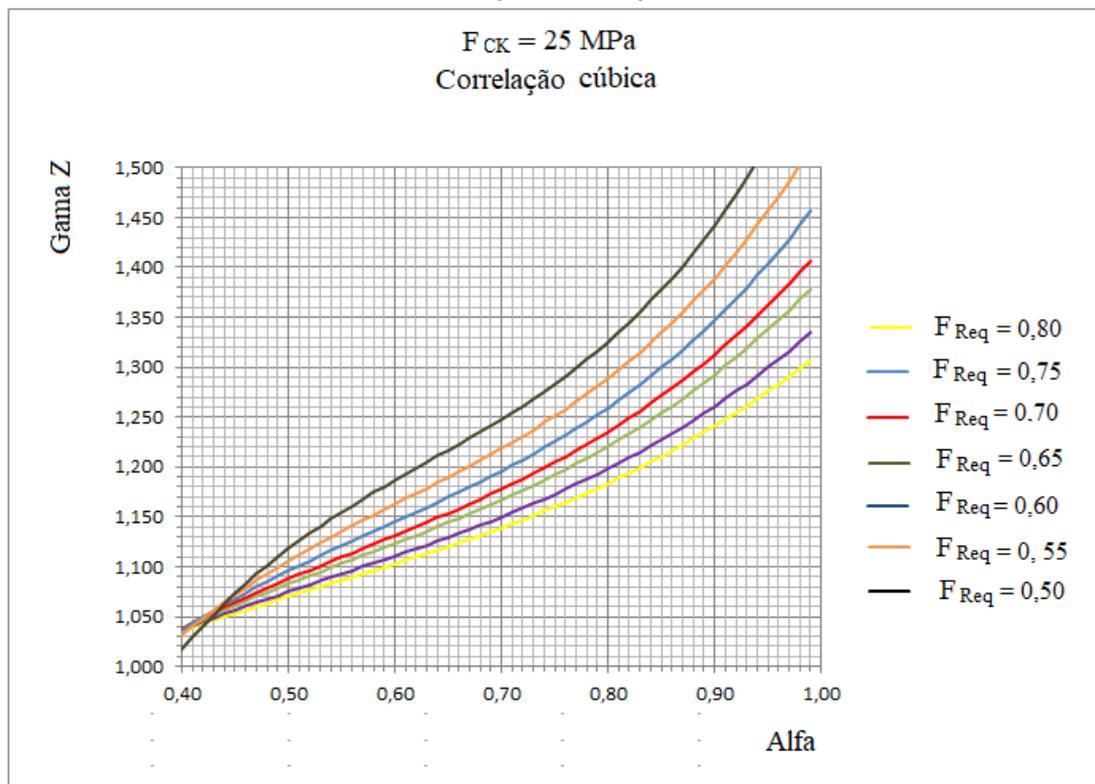
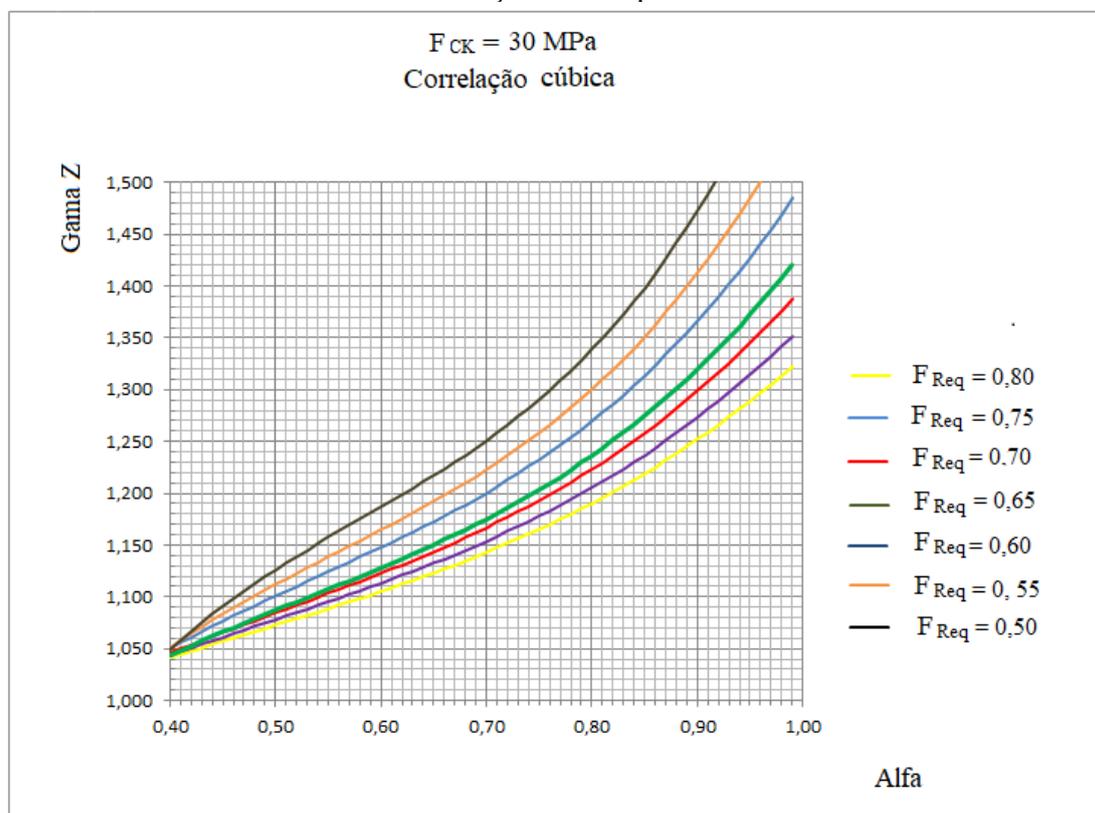
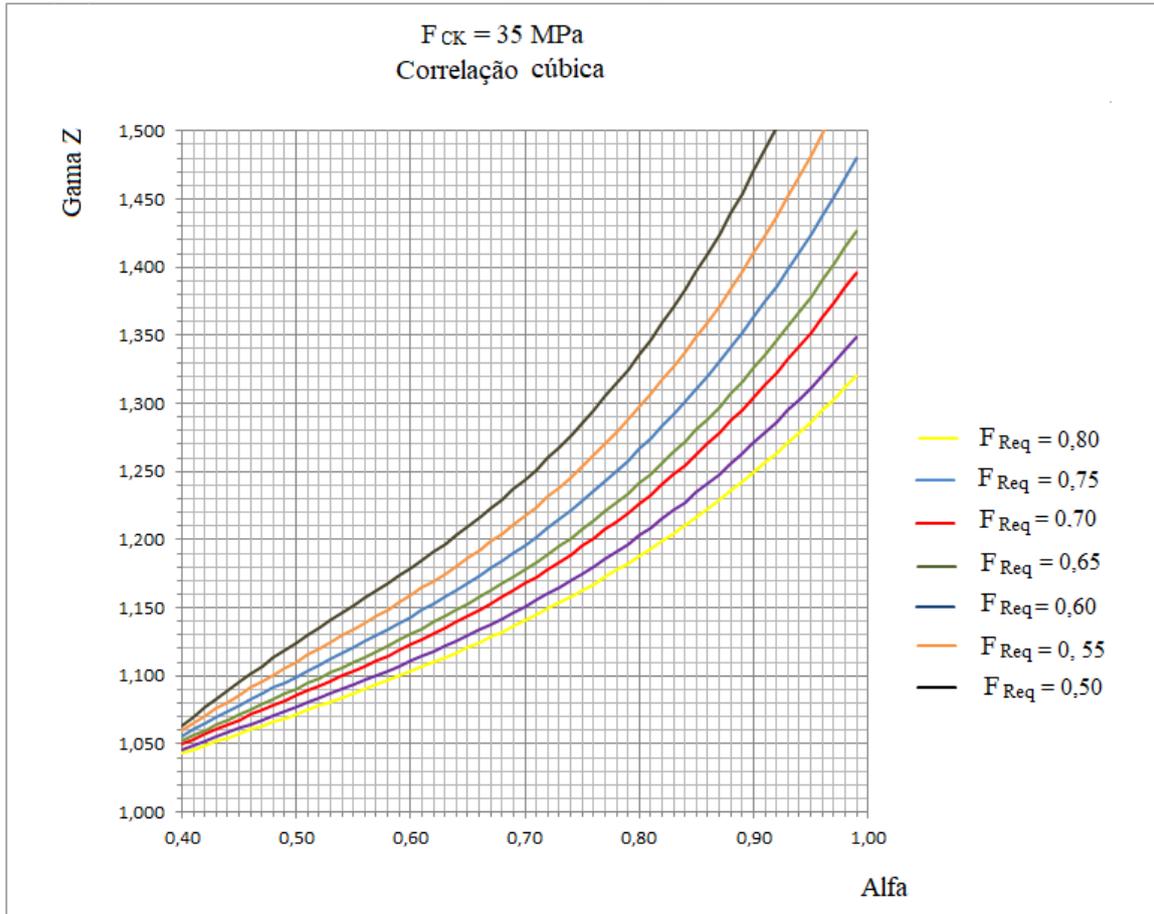
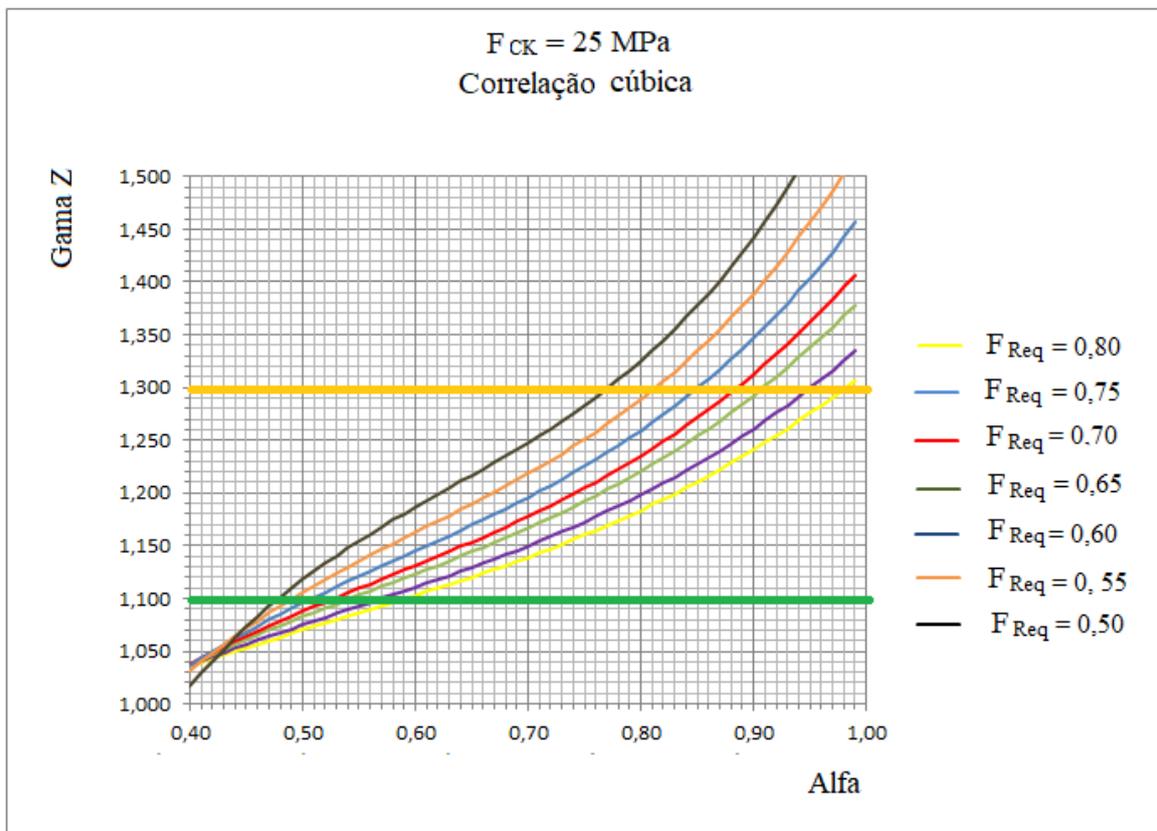
Gráfico 5.6 Correlação cubica para $F_{ck} = 25$ MPaGráfico 5.7 Correlação cubica para $F_{ck} = 30$ MPa

Gráfico 5.8 Correlação cúbica para $F_{ck} = 35$ MPa

Em cada um desses gráficos podem ser estabelecidos os limites correspondentes a $\text{Gama-Z} = 1,10$ e $\text{Gama-Z} = 1,30$, através de linhas horizontais, como mostrado no Gráfico 5.9 que repete o Gráfico 5.6.

Estas linhas delimitam, em cada gráfico, e para cada valor do F_{Req} , os valores do Alfa correspondentes aos valores de Gama-Z maiores ou iguais a 1,10 e menores ou iguais a 1,30, correspondentes aos valores que nas tabelas utilizadas por Paiva (2020) são destacados na cor amarela.

Gráfico 5.9 Correlação cubica para $F_{ck} = 25$ MPa com delimitadores das três regiões

6. APLICAÇÕES

Uma das aplicações destes gráficos está associada à pesquisa da estrutura mais econômica para cada edificação. Sendo o f_{ck} uma das variáveis que influenciam diretamente no custo do concreto e, sendo o custo deste material determinante para o custo total da estrutura, a definição do seu valor possui considerável importância na concepção do projeto estrutural.

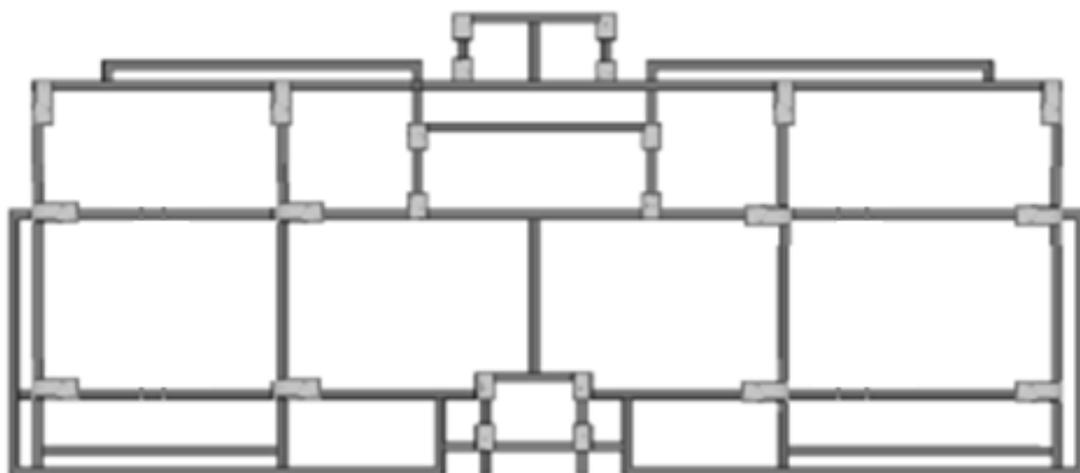
Na preparação do projeto estrutural de concreto armado de uma edificação, após o lançamento dos elementos estruturais integrantes (vigas, pilares lajes, etc.), o projetista de estruturas passa a pré-dimensioná-los. Em geral o pré-dimensionamento leva em conta o valor da resistência característica à compressão do concreto a ser especificado, obrigando ao engenheiro defini-lo logo de início. Este pré-dimensionamento está, de certo modo, associado com a garantia de estabilidade local e localizada, restando o estudo inicial referente ao problema da estabilidade global.

Nos casos em que o SEC é composto por estruturas planas, o engenheiro deve defini-lo para em seguida proceder a uma avaliação da sua deslocabilidade ou indeslocabilidade. Para este fim, é feito uma estimativa do Parâmetro de Instabilidade Global Alfa, utilizando-se uma estimativa do carregamento vertical da edificação.

Com o valor do Alfa assim obtido é possível a estimativa do Coeficiente Gama-Z e com esta uma tomada de decisão acerca do valor do f_{ck} adotado. Para tanto se faz necessária a determinação do F_{Req} do SEC e a utilização dos gráficos apresentados no item anterior deste TCC.

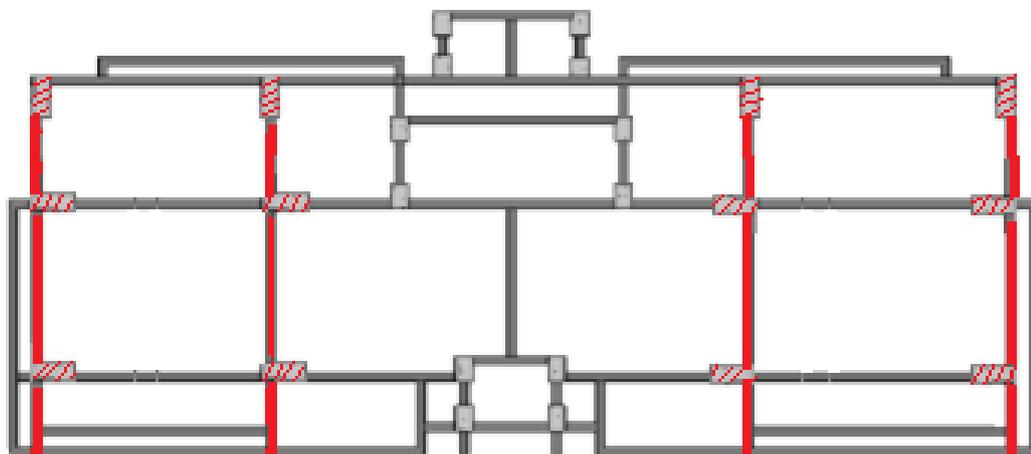
Assim, considerando a planta de forma da Figura 6.1, o SEC_y indicado na Figura 6.2, o SEC_x da Figura 6.3 e o projeto arquitetônico mostrado nas Figuras 6.4 e 6.5, e percorrendo as etapas acima explicitadas, tem-se:

Figura 6.1 Planta de forma do pavimento tipo



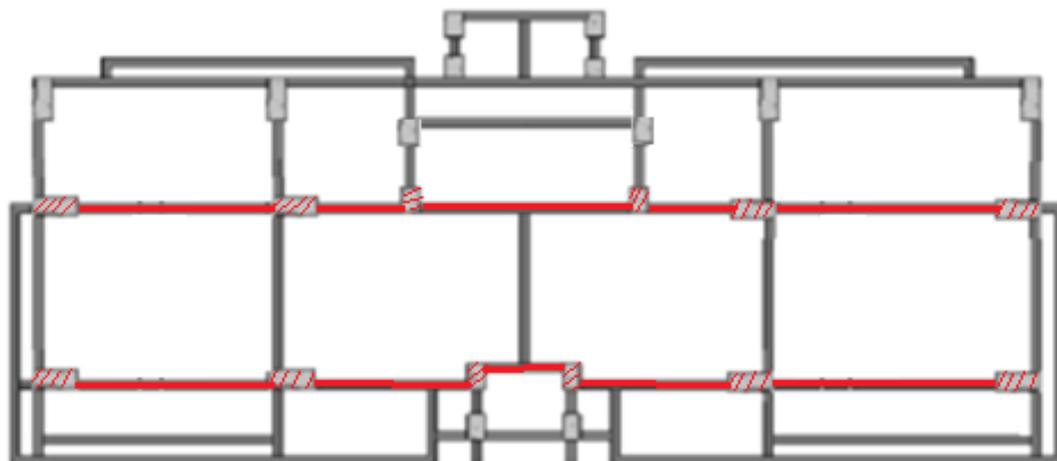
Fonte: Cruz (2020)

Figura 6.2 Definição do Sistema Estrutural de Contraventamento da direção Y



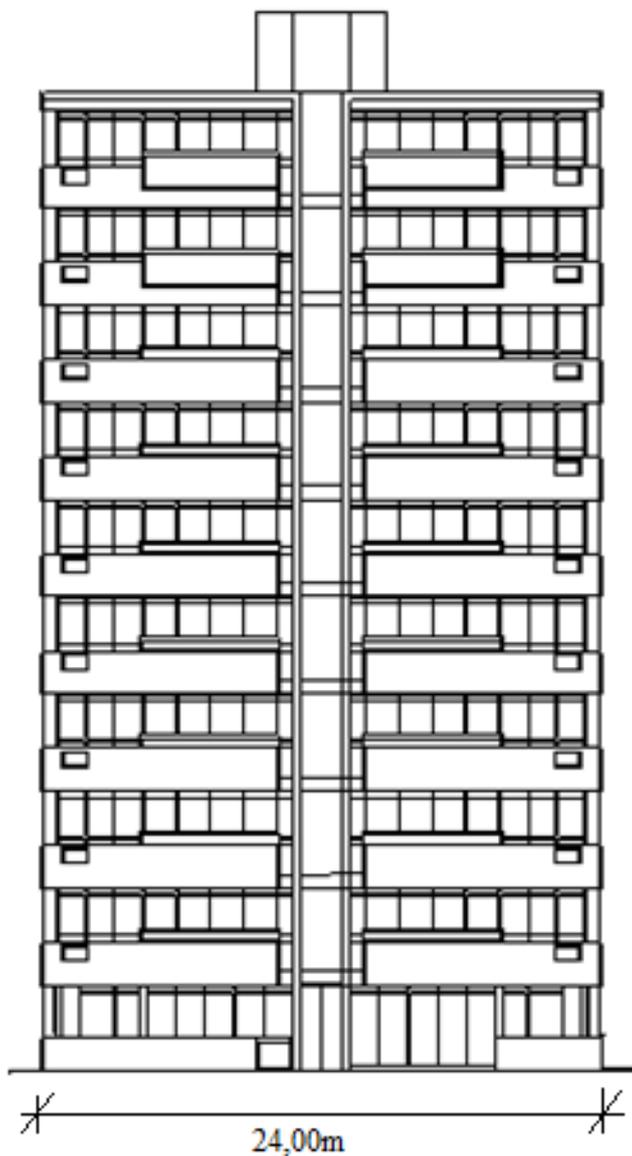
Fonte: Cruz (2020)

Figura 6.3 Definição do Sistema Estrutural de Contraventamento da direção X



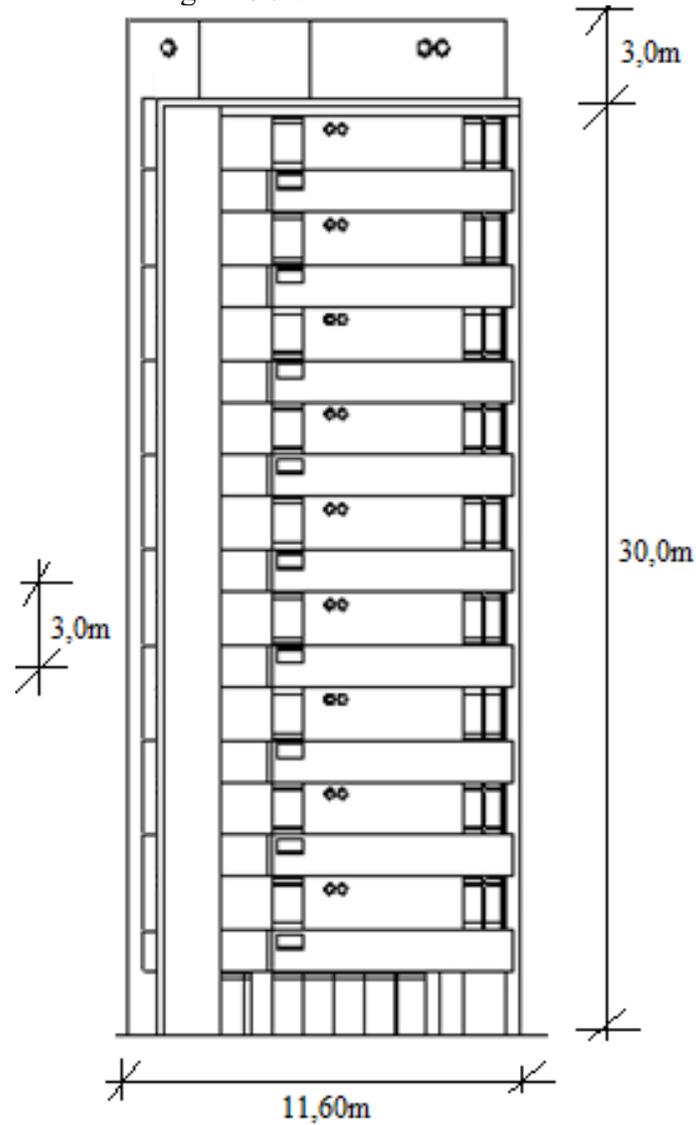
Fonte: Cruz (2020)

Figura 6.4 Fachada frontal



Fonte: Cruz (2020)

Figura 6.5 Fachada lateral



Fonte: Cruz (2020)

- Estimativa do carregamento vertical:

$$F_{vk} \cong B_x B_y p_m (n - \chi) + \beta V_{res} \gamma_{\acute{a}gua}$$

$$B_x \cdot B_y = 24,00 \times 11,60 = 278,40 \text{m}^2$$

$$p_m = [11,13] + 0,5sc = 11,00 + 1,50 \times 0,5 = 11,75 \text{kN/m}^2$$

$$\beta V_{res} \gamma_{\acute{a}gua} = 2,5 \times 48,5 \times 10 = 1212,50 \text{kN}$$

$$\chi = 0,80$$

$$F_{vk} \cong 278,40 \times 11,75 (10 + 0,8) + 1212,50$$

$$F_{vk} \cong 36.541,46 \text{kN}$$

- Estimativa do Parâmetro de Instabilidade Global Alfa na direção Y:

$$\alpha_y = H \sqrt{\frac{F_{vk}}{E_{cs} I_{SEC_y}}}$$

$$H = 31,00m$$

$$f_{ck} = 30MPa$$

$$\alpha_E = 1,0$$

$$\alpha_i = 0,88$$

$$E_{cs} = 0,88 \times 5600 \sqrt{30} = 26991,77 MPa = 26991770 kN / m^2$$

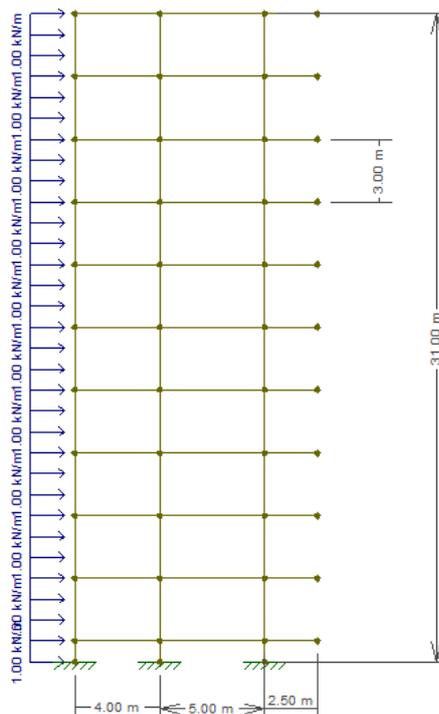
$$a_{cd} = 4,111 \times 10^{-3} m$$

$$I_{p\acute{o}rtico} = \frac{pH^4}{8E_{cs} a_{cd}} = \frac{1,0 \times 31,00^4}{8 \times 26991,77 \times 1000 \times 0,004111} = 1,04m^4$$

$$I_{SEC_y} = 4 \times I_{p\acute{o}rtico} = 4 \times 1,04m^4 = 4,16m^4$$

$$\alpha_y = 31,00 \sqrt{\frac{36541,46}{26991770 \times 4,16}} = 0,559 \cong 0,56$$

Figura 6.6 Pórtico do SECy



Fonte: O Autor

- Estimativa do Parâmetro de Instabilidade Global Alfa na direção X:

$$\alpha_X = H \sqrt{\frac{F_{vk}}{E_{cs} I_{SEC_X}}}$$

$$H = 31,00m$$

$$f_{ck} = 30MPa$$

$$E_{cs} = 26991,77MPa = 26991770 kN / m^2$$

$$a_{cd} = 0,0017 m$$

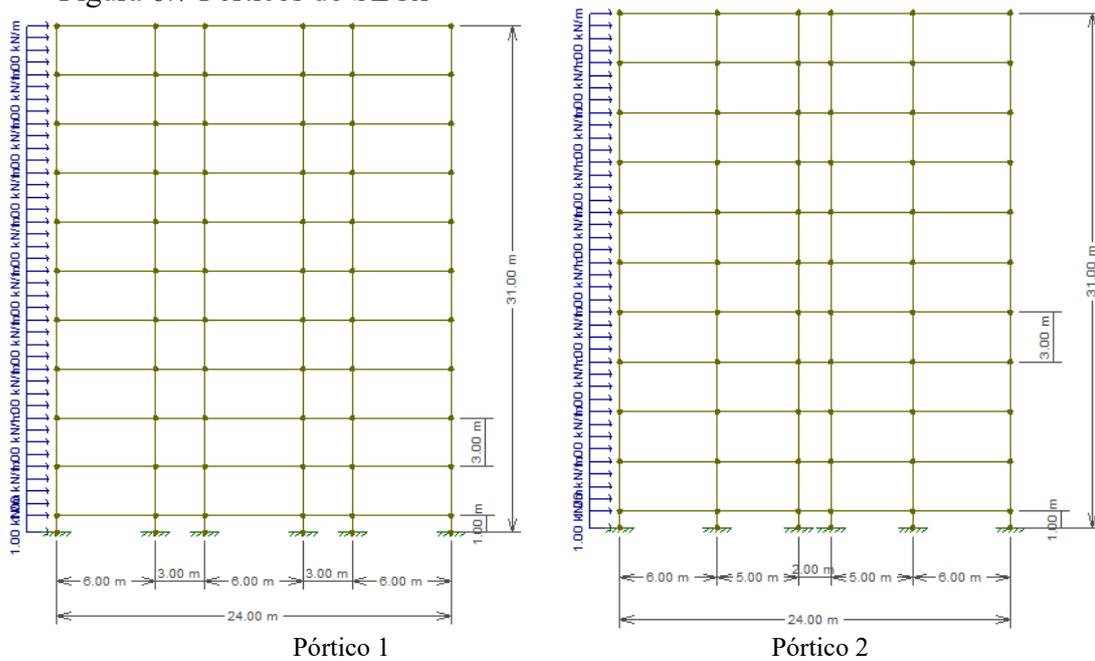
$$I_{p\acute{o}rtico} = \frac{pH^4}{8E_{cs} a_{cd}} = \frac{1,0x31,00^4}{8x26991,77x1000x0,0017} = 2,51m^4$$

$$I_{p\acute{o}rtico} = \frac{pH^4}{8E_{cs} a_{cd}} = \frac{1,0x31,00^4}{8x26991,77x1000x0,0017} = 2,51m^4$$

$$I_{SEC_X} = \sum_1^3 I_{porticoi} = 5,02m^4$$

$$\alpha_x = 31,00 \sqrt{\frac{36541,46}{26991770x5,02}} = 0,50$$

Figura 6.7 Pórticos do SECx



Fonte: O Autor

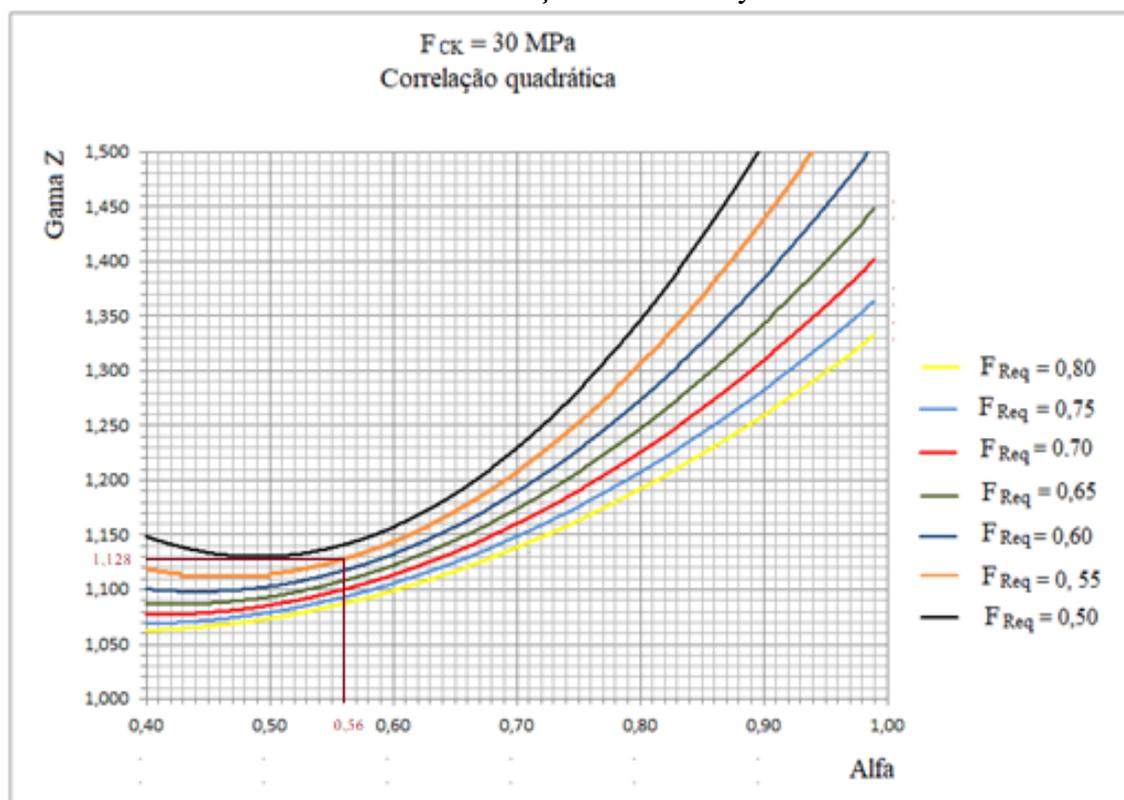
- Avaliação do γ_z a partir dos gráficos apresentados, do valor do f_{ck} e do valor do fator de redução equivalente para a consideração da NLF.

A avaliação do Gama-Z é feita a partir do Gráfico 5.3 apropriado para as estruturas cujo concreto é do tipo C30. Para a definição da curva a ser utilizada se faz necessária a determinação do F_{Req} do SEC.

- O Coeficiente para direção Y, γ_{zy}

Considerando que o SEC_y é composto por quatro pórticos iguais e que da análise de um deles se verifica que o deslocamento horizontal no topo produzido por um carregamento horizontal distribuído de valor unitário, calculado com 0,80 da rigidez flexional dos pilares e 0,40 da rigidez flexional das vigas é igual ao valor obtido para o pórtico com 0,55 da rigidez flexional dos pilares e das vigas, então conclui-se que o $F_{Req} = 0,55$. Assim, a curva a ser utilizada é a de cor laranja, que é associada às estruturas com $F_{Req} = 0,55$. Como mostrado no Gráfico 5.3a abaixo que repete o Gráfico 5.3.

Gráfico 5.3a Obtenção do Gama-Zy



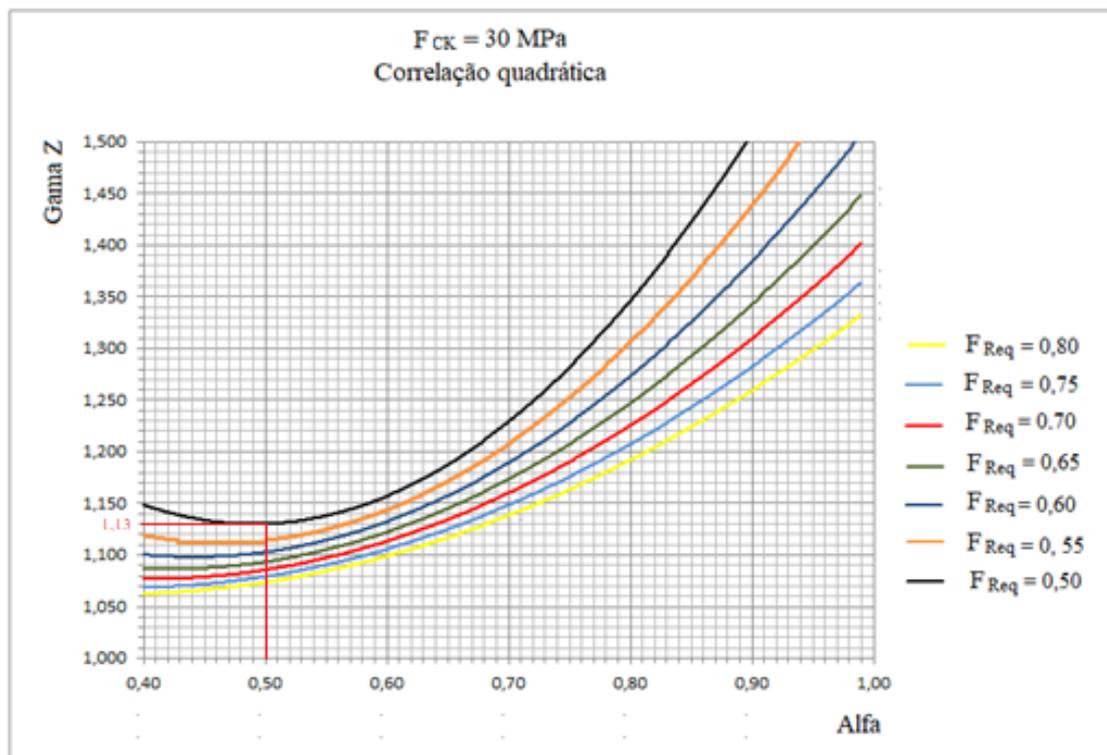
Fonte: O Autor

Partindo do valor $\alpha_y = 0,56$ obtém-se, com o auxílio da curva laranja, ($F_{Req} = 0,55$), no Gráfico 5.3, o valor 1,128 para o Gama-Zy.

- O Coeficiente para direção X, γ_{zx}

Considerando que o SEC_y é composto por quatro pórticos iguais e que da análise de um deles se verifica que o deslocamento horizontal no topo produzido por um carregamento horizontal distribuído de valor unitário, calculado com 0,80 da rigidez flexional dos pilares e 0,40 da rigidez flexional das vigas é igual ao valor obtido para o pórtico com 0,50 da rigidez flexional dos pilares e das vigas, então conclui-se que o $F_{Req} = 0,50$. Assim, a curva a ser utilizada é a de cor preta, que é associada às estruturas com $F_{Req} = 0,50$. Como mostrado no gráfico abaixo que de certo modo repete o Gráfico 5.3.

Gráfico 5.3b Obtenção do Gama-Zx



Fonte: O Autor

Partindo do valor $\alpha_x = 0,50$ obtém-se com o auxílio da curva preta ($F_{Req} = 0,50$), no Gráfico 5.3, o valor 1,13 para o Gama-Zx.

- Avaliação do γ_z a partir do carregamento devido ao vento e do carregamento vertical estimado utilizado na avaliação do α .

- Parâmetros para o cálculo do efeito do vento paralelo à direção Y

$$B_x=24,00\text{m}, B_y=11,60\text{m}, H=30,00\text{m}$$

$$V_0=30\text{m/s}$$

$$S_1=1$$

$$S_3=1$$

Categoria: Quatro

Classe: B

$$b = 0,85, p=0,125, Fr = 0,9$$

$$S_2=b Fr (Z /10)^P$$

$$C_{ay}=1,31$$

$$f_{ay,i}=C_{ay}q_iB_{xi}$$

$$F_{ay,i}=0,5.(f_{ay,i}h_i+f_{ay,i-1}h_{i-1})$$

Tabela 6.1 Efeito do vento na direção Y (vento incidente na fachada maior)

Pav.	Z(m)	Z*(m)	S ₂	V _k (m/s)	q(N/m ²)	f _{ay} (kN/m)	F _{ay} (kN)
Primeiro	0	1,5	0,66	19,71	238,24	7,49	11,23
Segundo	3	4,5	0,75	22,62	313,54	9,86	26,02
Terceiro	6	7,5	0,80	24,11	356,25	11,20	31,59
Quarto	9	10,5	0,84	25,14	387,52	12,18	35,07
Quinto	12	13,5	0,86	25,95	412,64	12,97	37,72
Sexto	15	16,5	0,89	26,60	433,87	13,64	41,79
Sétimo	18	19,5	0,91	27,17	452,38	14,22	43,44
Oitavo	21	22,5	0,92	27,66	468,86	14,74	44,92
Nono	24	25,5	0,94	28,09	483,76	15,21	47,17
Decimo	27	28,5	0,95	28,49	497,40	15,64	46,27
Cobertura	30						23,46

Fonte: O Autor

- Parâmetros para o cálculo do efeito do vento paralelo à direção X

$$B_x=24,00\text{m},$$

$$B_y=11,60\text{m},$$

$$H=30,00\text{m}$$

$$V_0=30\text{m/s}$$

$$S_1=1, S_3=1$$

Categoria: Quatro

Classe: B

$$b = 0,85, p=0,125, Fr = 0,9$$

$$S_2=b Fr (Z /10)^P$$

$$C_{ax}=1,43$$

$$f_{ax,i}=C_{ax}q_iB_{yi}$$

$$F_{ax,i}=0,5.(f_{ax,i}h_i+f_{ax,i-1}h_{i-1})$$

Tabela 6.2 Efeito do vento na direção X (vento incidente na fachada menor)

Pav.	Z(m)	Z*(m)	S ₂	V _k (m/s)	q(N/m ²)	f _{ax} (kN/m)	F _{ax} (kN)
Primeiro	0	1,5	0,66	19,71	238,24	3,95	5,92
Segundo	3	4,5	0,75	22,62	313,54	5,20	13,72
Terceiro	6	7,5	0,80	24,11	356,25	5,91	16,66
Quarto	9	10,5	0,84	25,14	387,52	6,43	18,51
Quinto	12	13,5	0,86	25,95	412,64	6,84	19,90
Sexto	15	16,5	0,89	26,60	433,87	7,20	21,06
Sétimo	18	19,5	0,91	27,17	452,38	7,50	22,05
Oitavo	21	22,5	0,92	27,66	468,86	7,78	22,95
Nono	24	25,5	0,94	28,09	483,76	8,02	23,70
Decimo	27	28,5	0,95	28,49	497,40	8,25	24,40
Cobertura	30						12,37

Fonte: O Autor

- Cálculo do $M_{1,tot,d,y}$

Tabela 6.3 Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,y}$

Pavimento	F _{ay,i} (kN)	H _i (m)	M _{1,tot,d,y} (kNm)
Cobertura	6,40	31	198,4
Decimo	11,57	28	323,96
Nono	11,79	25	294,75
Oitavo	11,23	22	247,06
Sétimo	10,86	19	206,34
Sexto	10,45	16	167,20
Quinto	9,43	13	122,59
Quarto	8,77	10	87,70
Terceiro	7,90	7	55,30
Segundo	6,50	4	26,00
Primeiro	2,81	1	2,81
Total	---	---	1732,11

Fonte: O Autor

- Cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,y}$

Tabela 6.4 Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,y}$

Pavimento	$F_{y,i}$ (kN)	a(cm)	$\Delta M_{1,tot,d,y}$ (kNm)
Cobertura	957,35	3,17	30,35
Decimo	817,80	3,06	25,02
Nono	817,80	2,93	23,96
Oitavo	817,80	2,83	23,14
Sétimo	817,80	2,62	21,43
Sexto	817,80	2,33	19,05
Quinto	817,80	2,01	16,44
Quarto	817,80	1,45	11,86
Terceiro	817,80	0,72	5,89
Segundo	817,80	0,42	3,43
Primeiro	817,80	0,1	0,82
Total	9135,35	---	181,4

Fonte: O Autor

O carregamento vertical devido ao reservatório elevado e às casas de maquinas foi aplicado no nível da laje da coberta.

Para o cálculo dos deslocamentos horizontais devido ao vento utilizou-se a $CB1=1,4F_{vk} + 0,6 \times 1,4 F_{ay}$, de análise de ELU em que o vento é variável secundária.

$$\gamma_{zy} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{1,tot,d,y}}{M_{1,tot,d,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{181,4}{1732,11}} = 1,117 \cong 1,12$$

- Cálculo do $M_{1,tot,d,x}$

Tabela 6.5 Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,x}$

Pavimento	$F_{ax,i}$ (kN)	H_i (m)	$M_{1,tot,d,x}$ (kNm)
Cobertura	12,37	31	383,47
Decimo	24,40	28	683,20
Nono	23,70	25	592,50
Oitavo	22,95	22	504,90
Sétimo	22,05	19	418,95
Sexto	21,06	16	336,96
Quinto	19,90	13	258,70
Quarto	18,51	10	185,10
Terceiro	16,66	7	116,62
Segundo	13,72	4	54,88

Primeiro	5,92	1	5,52
Total	---	---	3541,2

Fonte: O Autor

- Cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,x}$

Tabela 6.6 Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,x}$

Pavimento	$F_{x,i}$ (kN)	a(cm)	$\Delta M_{1,tot,d,x}$ (kNm)
Cobertura	1914,70	3,78	72,38
Decimo	1635,60	3,66	59,86
Nono	1635,60	3,45	56,43
Oitavo	1635,60	3,28	53,65
Sétimo	1635,60	2,97	48,58
Sexto	1635,60	2,38	38,93
Quinto	1635,60	1,92	31,40
Quarto	1635,60	1,61	26,33
Terceiro	1635,60	0,79	12,92
Segundo	1635,60	0,20	3,27
Primeiro	1635,60	0,05	0,82
Total	18270,70	---	404,58

Fonte: O Autor

A exemplo da aplicação anterior, o carregamento vertical devido ao reservatório elevado e às casas de máquinas aplicado no nível da laje da cobertura. Desse modo, também nesta aplicação um quarto do valor 1212,50 kN foi adicionado ao valor correspondente a 0,80 da carga vertical de cada pavimento.

Assim, o valor do Coeficiente Gama-Z calculado para o SEC da direção X:

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{1,tot,d,y}}{M_{1,tot,d,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{404,58}{3541,20}} = 1,129 \equiv 1,13$$

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Trabalho de Conclusão de Curso o autor faz uma revisão do estado da arte relacionado ao tema da estabilidade das estruturas, com ênfase no estudo da Estabilidade Global. Vários autores são referenciados com suas contribuições. Dois trabalhos recentes, Maracajá (2020) e Paiva (2020) são especialmente citados juntamente com Carmo (1995). De Maracajá (2020) foram utilizadas as equações necessárias para a obtenção de valores corrigidos (atualizados) dos pares Alfa-Gama-Z. De Paiva (2020) foram utilizados valores extraídos das tabelas por ele apresentadas, além do edifício analisado no trabalho de Araújo (2020).

Tendo como objetivo principal a apresentação de gráficos para a obtenção do Coeficiente Gama-Z em função do f_{ck} do concreto e do F_{Req} que simula a redução da rigidez flexional da estrutura, quatro gráficos foram apresentados, um para cada valor do f_{ck} (para $f_{ck} = 20, 25, 30$ e 35MPa). Em cada um destes gráficos foram representadas sete curvas, uma para cada valor do F_{Req} (para $F_{Req} = 0,80, 0,75, 0,70, 0,65, 0,60, 0,55$ e $0,50$). Neles, o valor do Parâmetro Alfa varia de 0,40 até 1,00 e o Coeficiente Gama-Z, de 1,00 até 1,50.

No Gráfico 5.9 que repete o Gráfico 5.6, foram inseridos dois seguimentos de retas horizontais, um amarelo e o outro verde. Estes segmentos delimitam a área utilizável do gráfico em três regiões: a primeira, abaixo do seguimento verde cujos valores dos parâmetros de verificação de instabilidade global (na verdade, indicadores da deslocabilidade ou indeslocabilidade horizontal dos SEC) indicam a possibilidade de análise linear; a segunda, entre o seguimento verde e o amarelo, cujos valores indicam a possibilidade de aplicação da ANL simplificada, e a última, cujos valores indicam a necessidade de análise considerando a não linearidade física e geométrica através de cálculo rigoroso.

Duas aplicações da utilização dos gráficos foram realizadas. O edifício antes analisado por Araújo (2020), esquematicamente representado nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 foi utilizado para tal fim. Para a primeira aplicação foi estabelecido o SEC da direção Y, composto por quatro pórticos iguais entre si (estrutura e carregamento) e para a segunda, dois pórticos diferentes entre si compõem o SECx.

Da aplicação que envolve o SECy foi estimado o Parâmetro Alfa = 0,56 e o $F_{Req} = 0,55$. Com estes valores e observando o valor do $f_{ck} = 30$ MPa obteve-se o valor do Coeficiente Gama-Z através do Gráfico 5.3. Sendo $\gamma_{zy} \equiv 1,13$.

Comparando os valores do γ_{zy} obtidos via gráfico, $\gamma_{zy} \equiv 1,13$, e via expressão da NBR 6118:2014, $\gamma_{zy} \equiv 1,12$, observa-se que o erro cometido ao adotar o primeiro deles é de 0,89 % a favor da segurança.

Da outra aplicação, a que envolve o SECx foi estimado o Parâmetro Alfa = 0,50 e o $F_{Req} = 0,50$. Com estes valores e observando o valor do $f_{ck} = 30$ MPa, obteve-se o valor do Coeficiente Gama-Z através do Gráfico 5.3. Sendo $\gamma_{zy} \equiv 1,13$.

Comparando os valores do γ_{zy} obtidos via gráfico, $\gamma_{zy} \equiv 1,13$, e via expressão da NBR 6118:2014, $\gamma_{zy} \equiv 1,13$, observa-se que o erro cometido ao adotar o primeiro deles é de 0,00 %.

Embora as aplicações apresentadas envolvam sistemas de contraventamento compostos por pórticos planos, espera-se que as curvas apresentadas sejam aplicáveis também aos sistemas de contraventamento obtidos pelo pórtico espacial da edificação (sem a consideração das lajes). Portanto os resultados aqui obtidos carecem de maiores comprovações.

O fator tempo foi também o responsável pela limitação do estudo para outros valores do f_{ck} . Assim, apenas quatro valores do f_{ck} foram considerados, sendo todos do grupo dos concretos classe I.

Considera-se importante ressaltar, ainda, que a análise do SECy foi levada adiante mesmo sendo cada um dos seus quatro pórticos integrantes, assimétricos. Fato que por si só impossibilita a avaliação do Parâmetro de instabilidade Global Alfa, de acordo com a ABNT NBR 6118: 2014, subitem 15.5.2.

Por fim, sobre as curvas representativas das correlações cúbicas, com relação à edificação analisada neste TCC, tem-se, com o Gráfico 5.7: para o sistema de contraventamento da direção Y, o valor 1,128 para o Gama-Z, e na direção X o valor 1,19 para o Gama-Z, sendo os valores calculados conforme NBR 6118:2014 para os parâmetros de instabilidade, respectivamente igual a 1,117 e 1,129, portanto sendo possível a utilização dos gráficos formulados na obtenção do Gama-Z a partir do Alfa com boa precisão e praticidade, obtendo-se resultados, quando não idênticos aos obtidos por norma, sempre a favor da segurança.

8. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. K.; COSTA JÚNIOR, L. F. da; REIS LAGO, L. P. dos, **MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO DE VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE UM EDIFÍCIO**. Trabalho da disciplina Análise Estrutural II. (Curso de Engenharia Civil), PS2019, 32p. João Pessoa, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

BERNARDO, J. N. D. **Análise da influência da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) no dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, 2012.

CARMO, RMS, **EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO**. Dissertação Mestrado. EESC, USP, 1995, 112p.

CRUZ, JMF; Ferreira, E.T; LUCENA, C.A.T. **Estruturas: a estabilidade global dos edifícios altos**. João Pessoa: Leia Livros, 2019. Livro digital, 261 p.

FEITOSA, Leonardo Almeida. **Estudo da Estabilidade Global de Edifícios de Múltiplos Andares com Lajes Lisas**. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo.

FRANCO, M; VASCONCELOS, A. C. I. - **Practical assessment of second order effects in tall buildings**. In: COLLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro. Proceedings. p.307-324; 1981.

MARACAJÁ, A. L. C. **SOBRE OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL E AS RELAÇÕES ENTRE O ALFA E O GAMA-Z**. 79 pág. TCC; UFPB. João Pessoa, 2020.

MATIAS, Fernanda. **Avaliação da influência da resistência à compressão do concreto no custo do sistema estrutural de um edifício de cinco pavimentos**. 95 pág. TCC; UFRGS. Porto Alegre, 2019.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. Master's degree dissertation, USP. São Carlos, 2011.

PINTO, R. S.; **NÃO LINEARIDADE FÍSICA E GEOMÉTRICA NO PROJETO DE EDIFÍCIOS USUAIS DE CONCRETO ARMADO**. Dissertação (Mestrado). EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. 189p.

PINTO, R.; RAMALHO, M. **NÃO LINEARIDADE FÍSICA E GEOMÉTRICA NO PROJETO DE EDIFÍCIOS USUAIS DE CONCRETO ARMADO**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 19, 36p. 2002.

ZUMAETA MONCAYO; W. J., **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. (Dissertação Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da USP. 2011. 212p.