

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

AMANDA CUNICO CARNEIRO

**INDICADORES DE PROJETO PARA ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO
DO MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ - SC**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

AMANDA CUNICO CARNEIRO

**INDICADORES DE PROJETO PARA ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO
DO MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ - SC**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus
Pato Branco

Orientador: Prof^o. Me. Tobias Jun
Shimosaka

Coorientador: Prof^o. Dr. José Donizetti de
Lima

PATO BRANCO

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

INDICADORES DE PROJETO PARA ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO DO MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ - SC

AMANDA CUNICO CARNEIRO

No dia 19 de novembro de 2018, às 13h00min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº40-TCC/2018.

Orientador: Prof. Msc. TOBIAS JUN SHIMOSAKA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. DANILO RINALDI BISCONSINI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. JEFFERSON TEIXEIRA OLEA HOMRICH (DACOC/UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, Elis e Elenilton, e meu irmão Antony, por todo amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui.

Aos meus pais Elenilton Carneiro e Elis Regina Cunico Carneiro, por todo amor, carinho e cuidado comigo. Por terem priorizado em suas vidas a boa educação a mim e a meu irmão, não medindo esforços para a mesma.

Ao meu irmão Antony Afonso Cunico Carneiro que sempre nos trouxe luz e paz.

A meu namorado Guilherme Luiz Sirino por sua compreensão durante toda minha trajetória acadêmica, em especial pelo apoio durante a realização deste trabalho.

Aos professores Me. Tobias Jun Shimosaka e Dr. José Donizetti de Lima por toda compreensão, orientação, companheirismo e conhecimento transmitido durante a realização deste trabalho.

Aos professores Me. Danilo Rinaldi Bisconsini e Me. Jefferson Teixeira Olea Homrich por terem feito parte da banca avaliadora e pelas contribuições feitas ao trabalho.

As colegas Ana Letícia Bodanese, Vanessa Gonçalves Frazão e Luana Fabiani pela amizade e por sempre estar ao meu lado me incentivando e apoiando.

A minha avó Ana Fabiane Carneiro por todo o incentivo, amor e carinho.

A todos que de alguma forma contribuíram, quero deixar meus sinceros agradecimentos.

"Substitua seus julgamentos por empatia, melhore suas reclamações transformando-as em gratidão e troque seu medo por amor."

- Hal Elrod

RESUMO

CARNEIRO, Amanda Cunico. **Indicadores de projeto para estruturas em concreto armado do município de Balneário Camboriú - SC**. 2018. 85 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

As estruturas de concreto armado apresentam boa resistência à tração e compressão, formando assim um material estrutural com boas características, o que justifica seu disseminado uso. Embora cada projeto apresente suas particularidades, em muitos casos, é possível que se faça um levantamento de indicadores estruturais que servem como base para estimativas dos custos da edificação e para nortear o engenheiro calculista nos resultados obtidos em seus projetos. Este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento dos consumos de aço, concreto e formas de projetos estruturais, do município de Balneário Camboriú – SC. Foram selecionados 34 projetos, os quais foram analisados de acordo com quatro parâmetros: índice de esbeltez, número de pavimentos, fck e tipo de laje, para que fosse possível verificar a influência desses parâmetros nos consumos dos materiais estruturais. Para cada um dos parâmetros os projetos foram divididos em grupos e para cada grupo, calculado a média para cada um dos consumos e então verificado se existia variação nas médias e como ocorria a variação. Para analisar os resultados, foi necessário o emprego de tratamento estatístico via ANOVA, o qual avaliou a significância dos resultados. Notou-se que com o aumento da resistência característica a compressão do concreto até o valor de 35 MPa ocorreu uma diminuição dos consumos. Quando analisadas as obras de acordo com o número de pavimentos e índice de esbeltez, observou-se que ao aumentar a altura e esbeltez dos edifícios ocorreu um aumento também dos consumos de materiais. Por fim, quando analisados os indicadores em relação ao tipo de laje constatou-se que não existe diferença estatística entre os consumos.

Palavras-chave: Indicadores estruturais, consumo de concreto, consumo de aço, consumo de fôrma.

ABSTRACT

CARNEIRO, Amanda Cunico. **Project indicators for reinforced concrete structures in the municipality of Balneário Camboriú - SC**. 2018. 85 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

The reinforced concrete structures have good tensile and compressive strength, thus forming a structural material with good characteristics, which justifies its widespread use. Although each project presents its particularities, in many cases it is possible to make a survey of structural indicators that serve as a basis for estimating building costs and to guide the calculating engineer in the results obtained in his projects. This work aimed to analyze the consumption of steel, concrete and forms of structural projects, in the municipality of Balneário Camboriú – SC. The 34 projects were selected, which were selected according to four parameters: slenderness index, number of floors, fck and type of migraine, that can be verified as indicators of material consumption. For each of the parameters the projects were divided into groups and for each group, averaged for each of the consumptions and then verified if there was variation in the means and how the variation occurred. To analyze the results, it was necessary to use statistical treatment using ANOVA, which evaluated the significance of the results. It was observed that with the increase of the characteristic strength the compression of the concrete up to the value of 35 MPa there was a decrease of the consumptions. When the works were analyzed according to the number of floors and slenderness index, it was observed that increasing the height and slenderness of the buildings also increased the consumption of materials. Finally, when the indicators were analyzed in relation to the type of slab, it was verified that there is no statistical difference between the consumptions.

Keywords: Structural indicators, concrete consumption, consumption of steel, consumption of mold.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Deslocamento de estruturas em concreto armado | 31 |
| Figura 2: Isopletas da velocidade básica V_s (m/s) | 34 |
| Figura 3: Classes de agressividade ambiental (CAA) | 36 |
| Figura 4: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal..... | 37 |
| Figura 5: Organograma | 42 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Média para os índices de aço em relação ao índice de esbeltez..... | 49 |
| Gráfico 2: Média para os índices de fôrma em relação ao índice de esbeltez. | 49 |
| Gráfico 3: Média para os índices de concreto em relação ao índice de esbeltez..... | 50 |
| Gráfico 4: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao índice de esbeltez. | 50 |
| Gráfico 5: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o índice de esbeltez..... | 51 |
| Gráfico 6: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o índice de esbeltez..... | 52 |
| Gráfico 7: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o índice de esbeltez..... | 53 |
| Gráfico 8: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o índice de esbeltez | 54 |
| Gráfico 9: Média para os índices de aço em relação ao Número de Pavimentos | 55 |
| Gráfico 10: Média para os índices de fôrma em relação ao Número de Pavimentos..... | 55 |
| Gráfico 11: Média para os índices de concreto em relação ao Número de Pavimentos. | 56 |
| Gráfico 12: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao Número de Pavimentos..... | 56 |
| Gráfico 13: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o número de pavimentos..... | 57 |
| Gráfico 14: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o número de pavimentos | 57 |
| Gráfico 15: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o número de pavimentos..... | 58 |
| Gráfico 16: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o número de pavimentos | 59 |
| Gráfico 17: Média para os índices de aço em relação ao tipo de laje. | 61 |
| Gráfico 18: Média para os índices de fôrma em relação ao tipo de laje. | 61 |
| Gráfico 19: Média para os índices de concreto em relação ao tipo de laje. | 61 |
| Gráfico 20: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao tipo de laje..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 21: Média para os índices de aço em relação ao f_{CK} . | 64 |
| Gráfico 22: Média para os índices de fôrma em relação ao f_{CK} . | 64 |
| Gráfico 23: Média para os índices de concreto em relação ao f_{CK} . | 64 |
| Gráfico 24: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao f_{CK} . | 64 |
| Gráfico 25: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o f_{CK} . | 65 |
| Gráfico 26: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o f_{CK} . | 66 |
| Gráfico 27: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o f_{CK} . | 67 |
| Gráfico 28: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o f_{CK} . | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Índices médios em relação a esbeltez do edifício | 55 |
| Tabela 2: Índices médios em relação ao número de pavimentos..... | 59 |
| Tabela 3: Índices médios, tanto para lajes maciças quanto nervuradas | 62 |
| Tabela 4: Índices médios em relação ao número de pavimentos..... | 68 |
| Tabela 5: Nome das obras estudadas e características relevantes. | 79 |
| Tabela 6: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m^2) em relação ao Índice e Esbeltez..... | 81 |
| Tabela 7: ANOVA Fator único para o Índice de fôrma (m^2/m^2) em relação ao Índice e Esbeltez..... | 81 |
| Tabela 8: ANOVA Fator único para o Índice de concreto (m^3/m^2) em relação ao Índice e Esbeltez..... | 81 |
| Tabela 9: ANOVA Fator único para o Índice de aço / concreto (kg/m^3) em relação ao Índice e Esbeltez | 81 |
| Tabela 10: ANOVA Fator único para o Índice de aço (kg/m^2) em relação ao Número de Pavimentos..... | 83 |
| Tabela 11: ANOVA Fator único para o Índice de fôrma (m^2/m^2) em relação ao Número de Pavimentos..... | 83 |
| Tabela 12: ANOVA Fator único para o Índice de concreto (m^3/m^2) em relação ao Número de Pavimentos | 83 |
| Tabela 13: ANOVA Fator único para o Índice de aço / concreto (kg/m^3) em relação ao Número de Pavimentos | 83 |
| Tabela 14: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m^2) em relação ao Tipo de Laje | 85 |
| Tabela 15: ANOVA Fator simples para o Índice de fôrma (m^2/m^2) em relação ao Tipo de Laje..... | 85 |
| Tabela 16: ANOVA Fator simples para o Índice de concreto (m^3/m^2) em relação ao Tipo de Laje..... | 85 |
| Tabela 17: ANOVA Fator simples para o Índice de aço / concreto (kg/m^3) em relação ao Tipo de Laje..... | 85 |
| Tabela 18: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m^2) em relação ao f_{ck} | 87 |
| Tabela 19: ANOVA Fator simples para o Índice de fôrma (m^2/m^2) em relação ao f_{ck} | 87 |

| | |
|---|----|
| Tabela 20: ANOVA Fator simples para o Índice de concreto (m^3/m^2) em relação ao f_{ck} | 87 |
| Tabela 21: ANOVA Fator simples para o Índice de aço / concreto (kg/m^3) em relação ao f_{ck} | 87 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 17 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 17 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 17 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 17 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 20 |
| 2.1 | ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO | 20 |
| 2.1.1 | Aplicações do Concreto Armado | 20 |
| 2.1.2 | A Importância do projeto estrutural | 21 |
| 2.1.3 | Elementos estruturais..... | 22 |
| 2.1.3.1 | Lajes | 22 |
| 2.1.3.2 | Vigas..... | 24 |
| 2.1.3.3 | Pilares..... | 24 |
| 2.1.4 | Esbeltez de um Edifício | 25 |
| 2.2 | ESTABILIDADE GLOBAL | 26 |
| 2.2.1 | Parâmetro de Instabilidade (α)..... | 28 |
| 2.2.2 | Coeficiente γ_z | 29 |
| 2.2.3 | Não Linearidade Física | 30 |
| 2.2.4 | Não Linearidade Geométrica..... | 31 |
| 2.3 | NORMAS TÉCNICAS | 32 |
| 2.3.1 | Cargas de projeto | 32 |
| 2.3.2 | Ações do vento..... | 33 |
| 2.3.3 | Estruturas em concreto | 35 |
| 2.4 | Índices de consumo | 37 |
| 2.4.1 | Indicadores como informação para a tomada de decisão | 37 |
| 2.4.2 | Classificação dos indicadores utilizados | 38 |
| 2.4.3 | Relação entre volume de concreto/área construída | 38 |
| 2.4.4 | Relação entre massa de aço/área construída | 39 |
| 2.4.5 | Relação entre área de fôrma/área construída | 39 |
| 2.4.6 | Relação entre massa de aço/volume de concreto..... | 39 |
| 2.5 | ANÁLISE ESTATÍSTICA | 40 |
| 3 | METODOLOGIA | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS | 43 |
| 3.1.1 | Número de pavimentos | 43 |
| 3.1.2 | F_{ck} | 44 |
| 3.1.3 | Tipos de lajes | 44 |
| 3.2 | INDICADORES ESTRUTURAIS | 44 |
| 3.2.1 | Relação entre volume de concreto/área construída | 44 |
| 3.2.2 | Relação entre massa de aço/área construída..... | 45 |
| 3.2.3 | Relação entre área de fôrma/área construída..... | 45 |
| 3.2.4 | Relação entre massa de aço/volume de concreto..... | 46 |
| 3.3 | REQUISITOS DA NBR 6118:2014..... | 46 |
| 3.3.1 | Cobrimento das armaduras | 46 |
| 3.3.2 | Cargas..... | 47 |
| 3.3.2.1 | Ações Verticais..... | 47 |
| 3.3.2.2 | Ações Horizontais..... | 47 |
| 3.4 | ANÁLISE ESTATÍSTICA | 47 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 49 |
| 4.1 | ÍNDICE DE ESBELTEZ..... | 49 |
| 4.2 | NÚMERO DE PAVIMENTOS | 55 |
| 4.3 | TIPO DE LAJE | 60 |
| 4.4 | F_{ck} | 63 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 70 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 72 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |
| | APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS ANALISADAS..... | 77 |
| | APÊNDICE B – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE ESBELTEZ | 80 |
| | APÊNDICE C – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE PAVIMENTOS..... | 82 |
| | APÊNDICE D – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO TIPO DE LAJE | 84 |
| | APÊNDICE E – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO F_{ck} | 86 |

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado foi, para a engenharia e a arquitetura, a maior invenção do século XVIII. Diversas foram as vantagens que a utilização deste material trouxe, principalmente, para a construção civil, como a boa resistência ao fogo, a choques e às vibrações, e ser um material durável que assume diversas formas (SILVA, 2011). Por sua versatilidade, diversas pesquisas são desenvolvidas para aprimorar as características deste material e torná-lo cada vez mais empregado (PEDROSO, 2009).

Devido as suas características o concreto armado é utilizado em diversos padrões de obras, estando presente tanto em obras de pequeno como de grande porte. Principalmente em edifícios maiores, um bom projeto estrutural tem como objetivo evitar possíveis contratempos nas obras, sempre pensado de forma a se adequar aos outros projetos, para que se possa reduzir o consumo de insumos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto final (CERCI, 2003). Para isso, deve-se também considerar a forma como as atividades serão executadas e sua viabilidade técnica, econômica e ambiental. Desta forma, o alcance de um aumento na produtividade e na qualidade das estruturas está associada diretamente às características do projeto.

Atualmente, existem normas regulamentadoras, tanto para os trabalhos de cálculos estruturais como os de execução de obras de concreto armado (Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de concreto, NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento e NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, por exemplo). Estas possuem a finalidade de promover uma padronização na confecção de projetos, na execução e no controle das obras, que garanta a segurança adequada e a qualidade do produto final.

Além da utilização de normas específicas, os conhecimentos empíricos permitem uma análise rápida e preliminar de soluções, direcionando o engenheiro calculista a um projeto satisfatório. As taxas de materiais demonstram o consumo de um material em relação a outro ou em relação a área construída, o que pode gerar valores de referência. Esses valores podem servir como base ao projetista para um lançamento estrutural ou até mesmo na realização prévia de orçamentos. Essas taxas

compõe os chamados indicadores estruturais, os quais podem ser obtidos a partir de parâmetros de projetos como consumo de aço, de concreto, áreas de fôrmas e metragem construída de obra (JABLONSKI, 2013).

De maneira a compreender o funcionamento estrutural e sua ligação com os materiais utilizados, o presente trabalho busca avaliar diferentes projetos estruturais do município de Balneário Camboriú - SC, por meio de comparações dos consumos de materiais utilizados para a elaboração de cada projeto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Obter indicadores de quantidades de aço, volume de concreto e áreas de fôrmas, a partir de projetos estruturais com características semelhantes, comparando-os com valores disponíveis em literaturas.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Determinar índices que relacionem:
 - i.* Volume de concreto/área construída;
 - ii.* Massa de aço/área construída;
 - iii.* Área de fôrma/área construída; e
 - iv.* Massa de aço/volume de concreto;
- b) Comparar o consumo de materiais, por meio de resumos estruturais preexistentes de projetos para edifícios com diferentes áreas, alturas, tipos de laje e f_{ck} , com valores presentes em bibliografias.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil, pelo fato de movimentar elevados investimentos no país, ocupa um lugar de bastante destaque na economia nacional, uma vez que emprega expressiva mão de obra, sendo que em 2016 empregava cerca de 13 milhões de pessoas (SANTOS, 2017). Para que esse setor continue crescendo e

movimentando a economia é importante que as organizações adequem seus métodos de gerenciamento com práticas de gestão adequadas para que possam se manter fortes no mercado de trabalho, uma vez que o mesmo está cada vez mais competitivo.

O desenvolvimento das cidades e a supervalorização dos empreendimentos tem impactado diretamente na construção civil, solicitando um melhor aproveitamento do espaço disponível, uma vez que os terrenos possuem pequenas dimensões, principalmente nos grandes centros urbanos, fator que propicia a verticalização das construções como uma das soluções para um bom emprego dos espaços (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Com destaque neste setor da construção, o concreto e o aço são materiais construtivos amplamente disseminados, uma vez que podem ser encontrados em casas de alvenaria de pequeno porte, nos edifícios mais altos do mundo, em rodovias, pontes e nos demais tipos de construções, trabalhando de forma isolada ou, muitas vezes como materiais complementares. O concreto armado é até hoje o material mais empregado nas estruturas, sendo no Brasil, a solução estrutural escolhida em 83% dos casos (VIEIRA, 2009).

De acordo com Yamura ([2015]), embora cada projeto possua suas particularidades, em muitos casos, é possível que se faça um levantamento de taxas. Estas compõem os chamados indicadores estruturais, os quais fazem parte de um banco de dados de referência compostos pelas quantidades de aço, volume de concreto e fôrmas. Esses valores podem ser obtidos realizando-se uma comparação entre as quantidades de materiais necessários para a execução de diferentes projetos estruturais, desde que não exista grande discrepância entre valores.

De modo geral, os indicadores estruturais servem para nortear o engenheiro calculista e proporcionar certa sensibilidade para avaliar se os resultados obtidos apresentam alguma falha no dimensionamento. Essas falhas podem estar relacionadas com consumos excessivos, bem como má distribuição das cargas aos elementos estruturais. Os mesmos, desde que bem estimados, podem também ser utilizados em um orçamento prévio dos custos da edificação, representando desta forma valores práticos da engenharia (YAMURA, [2015]).

Este trabalho tem o objetivo de encontrar intervalos confiáveis para os consumos de aço, concreto e fôrmas de projetos estruturais com diferentes padrões de altura e áreas, por meio dos quais será possível a concepção de um banco de dados para a obtenção de indicadores de referência. Para que esta pesquisa fosse

viável foram analisados resumos estruturais de diferentes obras em concreto armado do município de Balneário Camboriú - SC, as quais foram projetados a partir do ano de 2014 quando entrou em vigência a NBR 6118:2014.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto é um material composto por água, cimento, agregados e algumas vezes por aditivos. Esta composição garante uma boa resistência à compressão. Entretanto, para utilização estrutural, o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois apresenta pequena resistência à tração. Para que esta deficiência seja suprida, é muito comum utilizar barras de aço juntamente com o concreto, o que formam as chamadas estruturas em concreto armado (NEVILLE *et al.*, 2013).

Clímaco (2003) define concreto armado como um material estrutural composto pela associação de concreto com barras de aço nele inseridas, de modo que, quando submetido as ações externas, constituam um sólido único, do ponto de vista mecânico. Essa associação aproveita às principais vantagens do aço e do concreto, quanto à resistência, à durabilidade e ao custo, destacando-se a boa resistência à compressão do concreto e a elevada resistência à tração do aço. A boa aderência entre estes dois materiais colabora para sua atuação conjunta e a proteção do aço contra a corrosão garantida pelo concreto.

2.1.1 Aplicações do Concreto Armado

As estruturas de concreto armado são utilizadas para diversos fins, desde a construção de pequenas edificações até o alcance de estruturas de grande porte como pontes e barragens. Esse amplo uso é garantido devido ao concreto armado ser um material estrutural no qual o concreto e o aço trabalham de forma conjunta aos esforços que a estrutura está submetida (VIEIRA, 2009).

A maioria das edificações possuem a superestrutura composta por elementos estruturais básicos como vigas, lajes e pilares. Sendo estas diferenciadas em função da sua complexidade. Estruturas mais arrojadas possuem um grau de dificuldade para interpretação de seu comportamento estrutural, que necessitam um conjunto amplo de métodos de cálculo e normas para sua análise. Por outro lado, estruturas mais

simples, com um grau de complexidade menor, se caracterizam por possuírem uma fácil análise de seu funcionamento (PINHEIRO, 2008).

Uma edificação é composta por diversos subsistemas que interligados garantem o bom funcionamento das edificações. De acordo com Clímaco (2013) em uma edificação convencional podem ser diferenciados vários sistemas como o estrutural, de instalações, vedações, fachadas, acabamentos e de manutenção. Assim, as diversas partes devem possuir uma estreita relação para que funcionem conjuntamente, proporcionando um projeto eficiente.

2.1.2 A Importância do projeto estrutural

O projeto estrutural, como o nome já remete, trata da estrutura de uma edificação, garantindo a segurança do edificado. Diversas são as formas como um projeto pode ser elaborado, bem como vários são os fatores que influenciam em um bom funcionamento do projeto estrutural.

Os estados limites considerados no cálculo de estruturas de concreto são: estados limites últimos e de serviço. Os estados limites últimos estão relacionados ao colapso ou a ruína estrutural do total ou de parte da edificação. Já os de serviço, segundo a NBR 6118:2014, item 10.4, dizem respeito a durabilidade das estruturas, a aparência, o conforto do usuário e a boa utilização funcional da mesma.

Carvalho (2003) define os estados limites de desempenho como os estados que determinam impropriedade para o uso da estrutura por razões de segurança, funcionalidade e estética, desempenho fora dos padrões especificados para sua utilização normal ou interrupção de funcionamento em razão de ruína. Enfatiza ainda que os estados limites podem se referir à estrutura toda, a elementos estruturais ou a regiões localizadas de elementos.

Segundo a NBR 6118:2014, item 14.2.2 – um modelo estrutural pode ser idealizado como a composição de elementos estruturais básicos, classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e a sua função estrutural, que formam sistemas estruturais resistentes permitindo representar de maneira clara todos os caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura.

2.1.3 Elementos estruturais

O sistema estrutural depende da forma como são arranjados os elementos estruturais, sendo estes as peças que compõem uma estrutura, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (CARVALHO, 2007).

De acordo com a NBR 6118:2014, item 14.2.1 e 14.2.2, a análise estrutural permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura, que é composta de elementos estruturais básicos, formando sistemas estruturais resistentes que permitam representar de maneira clara todos os caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura.

2.1.3.1 Lajes

Segundo a NBR 6118:2014, item 14.4.2.1, as lajes são elementos de superfície plana, sujeitas principalmente a ações perpendiculares a seu plano, sendo também denominadas como placas de concreto. As placas fazem parte de um conjunto de elementos em que uma dimensão, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena em face das demais.

Com relação a direção em que as lajes estão flexionadas podem ser classificadas como:

- Lajes armadas em uma só direção: são aquelas que como o nome sugere são fletidas em apenas uma direção, sendo esta a direção de menor vão.
- Lajes armadas em duas direções (em cruz): são aquelas que se encontram fletidas em direções ortogonais entre si.

Para esta diferenciação quando a relação entre o maior e o menor vão for maior do que dois, a laje será considerada armada em apenas uma direção, se esta relação for menor ou igual a dois caracteriza-se como armada em cruz (CARVALHO, 2013).

Na maior parte dos casos as lajes apresentam-se apoiadas sobre vigas ou em paredes e, em outras ocasiões diretamente sobre pilares. As lajes são responsáveis pelo fechamento dos planos sendo esta capaz de resistir os esforços de sobrecarga de utilização e transferi-los para os elementos as quais se apoia.

2.1.3.1.1 Laje maciça

As lajes maciças são caracterizadas por lajes ditas homogêneas, uma vez que são compostas por um maciço de concreto com barras de aço responsáveis principalmente para resistir aos esforços de tração a que a placa está submetida. Esse tipo de laje não possui vazios em sua estrutura, tendo geralmente espessuras que variam de 7 a 15 cm (BITTENCOURT *et al.*, 2015).

De acordo com Carvalho (2013) as lajes, por ter o comportamento de placa na qual apresenta tensões significativas em duas direções, está submetida a esforços solicitantes de menor intensidade que elementos com comportamento de vigas. Enfatiza ainda que o estado de deformação é menor que o de vigas, nos quais a flecha é em torno de 30% inferior quando considerado apenas o cálculo linear, sem fluência e fissuração.

2.1.3.1.2 Laje nervurada com preenchimento em Poliestireno Expandido (EPS)

Segundo Carvalho (2013) para pequenos vãos, boa parte do concreto da laje maciça pouco contribui na resistência a flexão e por isso surgiu a ideia de considerar a laje com nervuras, ou seja, retirar ou substituir parte do concreto posicionado na região tracionada por um material mais leve e barato.

De acordo com a NBR 6118:2014, item 14.7.7, as lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, na qual a zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras. Entre essas nervuras é colocado o material inerte que não possui função estrutural, apenas de preenchimento.

No caso de lajes com preenchimento em EPS pode-se citar o baixo peso do mesmo, o que confere a estrutura pesos próprios inferiores quando comparados com lajes com preenchimento em tabelas, por exemplo.

A utilização de EPS também pode conferir a estrutura parciais de isolamento térmico e acústico devido a sua baixa densidade e elevado número de vazios.

2.1.3.1.3 Lajes lisas e cogumelo

De acordo com Carvalho (2013) de maneira geral as lajes apoiam-se em vigas e estas nos pilares, já nos sistemas de lajes sem vigas, as lajes apoiam-se diretamente nos pilares, o que pode provocar altas tensões de cisalhamento levando a ruína das

lajes. Para diminuir essas tensões e evitar o fenômeno de punção, os pilares podem ter uma seção maior na região de ligação com as lajes, o que é chamado de capitel.

As lajes sem vigas são utilizadas principalmente quando se é necessária uma diminuição do tempo de execução, uma melhora na qualidade do edifício e/ou quando não é conveniente vigas aparentes, apresentando tetos lisos sem interrupções.

Segundo a NBR 6118:2014, item 14.7.8, lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis.

2.1.3.2 Vigas

De acordo com a NBR 6118:2014, no item 14.4.1.1, as vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, na qual o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras.

Estes elementos mantêm uma relação entre vão e altura, para vigas isostáticas de $l/h=3,0$ e, para vigas contínuas, de $l/h=2,0$, nas quais l é o comprimento do vão teórico (ou o dobro do comprimento teórico no caso de balanço), e h é a altura total da viga. (GRAZIANO, 2005). Ainda, essa relação entre comprimento e altura deve ser inferior a cinco para que não seja caracterizada como viga-parede.

Nos casos gerais de momentos positivos, a seção superior das vigas é submetida à compressão, desta forma o concreto possui características para resistir a esse esforço não necessitando de armadura superior em vigas, entretanto estas são necessárias uma vez que são consideradas armaduras de montagem pois dão suporte aos estribos. Estes compõem a armadura transversal, completando as armaduras de montagem e sendo responsáveis por resistir aos esforços de cisalhamento.

A parte inferior das seções das vigas está geralmente submetida a forças de tração. Neste caso as armaduras são dispostas para suprir estes esforços, garantindo que a viga mantenha deflexões mínimas e fissuras de pequenas aberturas.

2.1.3.3 Pilares

Os pilares são elementos lineares de eixo reto, geralmente verticais em que as forças normais de compressão são preponderantes. Nestes também o

comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal. No caso de a relação entre comprimento e largura superar o valor de 5 vezes o mesmo é chamado de pilar-parede. Estes são responsáveis pelo suporte das vigas e lajes, conduzindo as cargas atuantes sobre estas até as fundações (NBR 6118:2014, item 14.4.1.2).

De acordo com a NBR 6118:2014 (item 13.2.3), a menor dimensão para a seção de um pilar é de 19 cm, em casos excepcionais é aceitável valores de até 14 cm desde que os esforços solicitantes sejam submetidos ao coeficiente adicional.

Graziano (2005) afirma que muitas vezes em simplificações realizadas para os cálculos, os pilares são elementos cujas seções são flexocomprimidas, ou seja, solicitadas por forças normais de compressão e momentos fletores. Entretanto, nas situações reais, os pilares estão sujeitos a excentricidades devidas ao ponto de aplicação de suas normais de compressão, por conta de momentos introduzidos pelas vigas e lajes devido às vinculações destas com o pilar, à imprecisão executiva ou inerentes à própria heterogeneidade do concreto. Além disso, relacionando a esbeltez dos pilares, pode-se considerar que estes são submetidos a excentricidades ditas de 2ª ordem, que se somam as demais, intensificando os efeitos de flexão e afastando o pilar da situação ideal de compressão concentrada.

Desta forma as excentricidades aplicadas às seções dos elementos estruturais alteram diretamente a capacidade de carga, a geometria, as características do concreto e as taxas de armadura.

A NBR 6118:2014 (item 15.8) trata das excentricidades dos pilares em três categorias:

- Excentricidades devidas a modelagem estrutural;
- Excentricidades devidas a imperfeições geométricas
- Excentricidades devidas a esbeltez ou a instabilidade e efeitos de segunda ordem.

2.1.4 Esbeltez de um Edifício

A esbeltez da estrutura é entendida pela relação altura e largura. A medida que a esbeltez aumenta, a consideração dos esforços causados pelo vento deve obrigatoriamente entrar no processo de cálculo. Assim, o cálculo estrutural deve

garantir a estabilidade global do edifício, durabilidade, viabilidade econômica e conforto aos usuários (CLÍMACO, 2013).

Clímaco (2013) ainda afirma que a flambagem é um fenômeno de perda de equilíbrio, que pode provocar a ruptura de uma peça submetida predominantemente a compressão, antes de se esgotar a sua capacidade resistente à compressão. O parâmetro adotado como referência para esses efeitos da flambagem é o índice de esbeltez.

O índice de esbeltez pode ser definido pela equação (1):

$$\beta_{x,y} = \frac{H}{l_{x,y}} \quad (1)$$

Sendo H a altura total do edifício, desconsiderando valores abaixo do nível do solo e $l_{x,y}$ a menor largura horizontal. Para Borges *et al.* (2009), a partir dos valores encontrados pode-se definir a esbeltez característica do edifício de acordo com a classificação a seguir:

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| $\beta_{x,y} \leq 4$ | Edifício de pequena esbeltez; |
| $4 < \beta_{x,y} \leq 6$ | Edifício de média esbeltez; |
| $\beta_{x,y} > 6$ | Edifício de alta esbeltez. |

2.2 ESTABILIDADE GLOBAL

A estrutura de um edifício é considerada segura quando durante sua vida útil mantém as características originais de projeto, exigindo para isso apenas pequenas manutenções; não apresentando aparência que cause desconforto aos usuários nem falsos sinais sobre a falta de estabilidade da edificação, sendo este desconforto causado pelo aparecimento de trincas e flechas, por exemplo. Ainda, no caso da má utilização da estrutura, que a mesma apresente falhas as quais sirvam de alerta e lancem suspeitas sobre sua segurança (BASTOS, 2006).

De acordo com Kimura (2007), a análise estrutural de uma edificação determina os efeitos e distribuição dos esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, a fim de fazer verificações quanto aos estados limite último e de serviço. Esses efeitos e distribuições dos esforços devem ser verificados de modo que

os deslocamentos máximos não assumam valores capazes de afetar a capacidade resistente do edifício.

Desta forma, o dimensionamento deve ser pensado para garantir que a estrutura ou parte dela não vá a ruína. Para Carvalho (2013), a ruína não compreende apenas o perigo de ruptura, mas também os casos em que a edificação não apresenta um perfeito estado para utilização, por causa de deformações excessivas, fissuras inaceitáveis etc.

Recentemente os esforços calculados para uma estrutura podem ser subdivididos em esforços de 1ª e 2ª ordem, no qual os primeiros são calculados a partir da geometria inicial da estrutura, sem deformação, e os segundos aqueles provenientes da deformação da estrutura. A consideração dos efeitos de 2ª ordem conduz à não-linearidade entre as ações e deformações, que devido a sua origem, é chamada de não-linearidade geométrica (NLG). Existe também, a não linearidade física (NLF), causada pela fissuração e a fluência do concreto (entre ações e deformações) (CARVALHO, 2013).

De acordo com Süssekind (1991), a evolução da construção e dos projetos de edifícios, com supressão de vigas, painéis cada vez maiores de lajes, utilização de lajes cogumelo, entre outros, se encarregou de tornar indispensável a análise da estabilidade dos edifícios. Em resumo, a abundância de pórticos internos e a grande rigidez dos pórticos externos, garantida também pelo funcionamento conjunto destes com as alvenarias no que se referia à estabilidade horizontal, já não existem.

A utilização de novos materiais e essa evolução na forma de construir tem resultado em elementos estruturais mais esbeltos, já que suas seções transversais têm diminuído consideravelmente. Com o aumento da esbelteza, ganham maior importância os efeitos de 2ª ordem. Há um acréscimo dos esforços solicitantes e, conseqüentemente, dos deslocamentos, aumentando o perigo de instabilidade da estrutura ou mesmo do seu colapso (SCADELAI, 2004).

Para criar condições mais simples de cálculo, costuma-se definir estruturas de nós fixos e nós móveis, nos quais as estruturas de nós fixos são caracterizadas por pequenos deslocamentos horizontais, podendo-se desconsiderar os efeitos de 2ª ordem globais (inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem), devendo ser considerados apenas os efeitos de 2ª ordem locais (NBR 6118:2003, item 15.4.2).

Já as estruturas de nós móveis são definidas como aquelas em que os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais

de 2ª ordem são importantes devendo-se obrigatoriamente ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais (CARVALHO, 2013).

Ainda, de acordo com Carvalho (2013), após a determinação dos deslocamentos horizontais, verifica-se a porcentagem do aumento dos momentos de 2ª ordem e faz-se a comparação com o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z . Desta forma, classificando a estrutura como de nós deslocáveis ou indeslocáveis.

Com o auxílio da tecnologia presente nos *softwares* de cálculo estrutural o projetista é capaz de utilizar essas não linearidades de forma mais precisa e rápida do que anos atrás, o que proporciona uma elevada aproximação entre a modelagem numérica e os efeitos reais presentes na estrutura.

2.2.1 Parâmetro de Instabilidade (α)

O parâmetro de instabilidade α é utilizado na análise global, porém não é capaz de considerar os efeitos de 2ª ordem (CARVALHO, 2013). Como supracitado, esse parâmetro tem como principal função caracterizar a estrutura como de nós fixos e proporcionar a dispensa de uma análise não-linear, simplificando o dimensionamento estrutural.

Segundo a NBR 6118:2014, a estrutura será considerada de nós fixos quando o valor de α for menor que α_1 , conforme as equações (2), (3) e (4):

$$\alpha = H_{tot} * \sqrt{\frac{N_k}{I_c E_{cs}}} \quad (2)$$

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

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

Na qual:

N número de pavimentos;

H_{tot} é a altura 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

$E_{cs} * I_c$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com

pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs} \cdot I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

No caso da utilização de contraventamento apenas por pilares-parede, poderá ser utilizado $\alpha_1 = 0,7$, e deve ser reduzido para $\alpha_1 = 0,5$ quando só houver pórticos. Na prática, sua utilização costuma ser substituída pelo γ_z , pois este é capaz de estimar os esforços de segunda ordem avaliando a estabilidade global final.

2.2.2 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z avalia a sensibilidade de estruturas de concreto armado em relação aos efeitos globais de 2ª ordem de forma simples e eficiente. Por meio de uma análise linear, que considera a NLG de forma aproximada, ele indica a magnitude dos efeitos de 2ª ordem sobre os de 1ª ordem.

De acordo com a NBR 6118:2014, o valor desse coeficiente pode variar entre 1,00 e 1,30, sendo que valores fora dessa faixa indicam uma estrutura instável. Segundo Moncayo (2011), é usual se projetar edifícios com um limite de 1,2, pois diversas pesquisas indicam que acima disso é necessário a utilização de um método mais refinado, como o P-Delta.

Considera-se que para valores de γ_z até 1,10 a estrutura é classificada como de nós fixos e valores acima disso indicam nós móveis. O valor de γ_z , para cada combinação de carregamento, é dado pela equação (5):

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (5)$$

Na qual:

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura; e

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Vale ressaltar que a utilização desse coeficiente se restringe a estruturas reticuladas com mais de quatro andares, pois ainda não se tem um coeficiente redutor de rigidez de pilares que permita a utilização de uma NLF aproximada. Ainda que, esse coeficiente pressuponha uma tipologia de pavimentos idênticos, muito incomum em edifícios menores (MONCAYO, 2011).

2.2.3 Não Linearidade Física

O concreto por si só não é um material homogêneo, uma vez que possui em sua composição diversos materiais, quando se trata de um concreto armado a heterogeneidade é ainda maior, por consequência as tensões (σ) não são proporcionais às deformações (ϵ). Dessa forma, a consideração de o módulo de elasticidade do material ser linear não pode ser feita, consequentemente a NBR 6118:2014 (item 15.7.3) sugere que sejam considerados coeficientes redutores de rigidez no cálculo das estruturas.

Outro fator que influencia diretamente as características do material são as fissuras, que se fazem presentes nas estruturas. Mesmo quando essas apresentam dimensões irrisórias expõem às seções de concreto uma redução no momento de inércia e consequentemente alterações nos resultados provenientes dos cálculos.

- Lajes:

$$E_{Isec} = 0,3 * E_{cIc} \quad (6)$$

- Vigas:

$$\text{Para } A_{s'} \neq A_s \quad E_{Isec} = 0,4 * E_{cIc} \quad (7)$$

$$\text{Para } A_{s'} = A_s \quad E_{Isec} = 0,5 * E_{cIc} \quad (8)$$

- Pilares:

$$E_{Isec} = 0,8 * E_{cIc} \quad (9)$$

Apesar de apresentarem valores aceitáveis, as equações (6), (7), (8) e (9) demonstram uma simplificação da NBR 6118:2014 a fim de possibilitar uma análise linear da estrutura.

2.2.4 Não Linearidade Geométrica

As edificações são comumente solicitadas por esforços não só verticais como também horizontais, como as ações do vento nas estruturas. Essas solicitações apresentam como consequência deformações nas estruturas, principalmente relacionadas ao deslocamento da mesma em relação ao seu centro de gravidade. Assim, os esforços e, conseqüentemente, as tensões são afetadas pelo estado de deformação da estrutura; não existindo uma relação linear entre essas duas grandezas (CARVALHO, 2009).

Os deslocamentos geram acréscimos de momento na base, denominados efeitos de segunda ordem caracterizado no item 2.2.3 da NBR 6118:2014, que somado àquele da estrutura no seu estado indeformado é utilizado para dimensionamento (Figura 1).

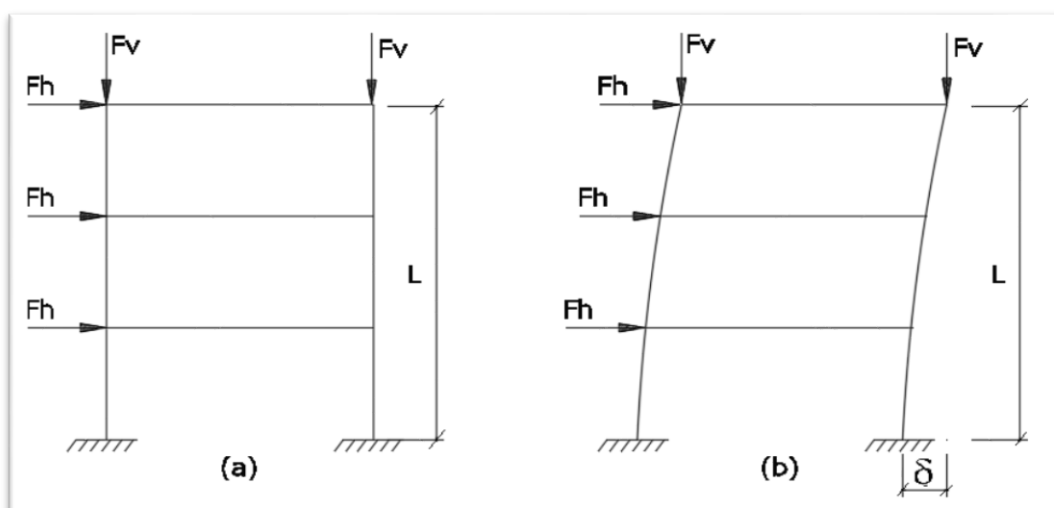


Figura 1: Deslocamento de estruturas em concreto armado
Fonte: Carvalho, 2013.

A análise da NLG fica submetida a classificação da estrutura quanto a deslocabilidade dos seus nós, ou seja, em estruturas rígidas nos quais essas deformações são desprezíveis ela pode ser ignorada, entretanto a recíproca também é verdadeira.

2.3 NORMAS TÉCNICAS

De acordo com Carvalho (2009), o constante aumento do emprego do concreto estrutural resultou na necessidade de se estabelecer padrões, dando origem às normas e aos regulamentos técnicos. As primeiras especificações foram elaboradas na Alemanha (1904), França (1906) e Suíça (1909).

No Brasil, a norma para projeto de estruturas de concreto, NBR 6118:2014, teve sua primeira redação em 1940. Desde então diversas foram as edições publicadas, as quais buscaram unificar as normas relativas ao projeto de estruturas de concreto armado e protendido, com verificação do comportamento da estrutura quanto aos estados últimos de serviço e utilização.

A norma brasileira, assim como as demais normas, tem como objetivo tornar padrões os procedimentos para projeto, controle dos materiais e execução, métodos de cálculo e seus limites de aplicação, de forma a garantir segurança, funcionalidade e durabilidade para as edificações.

2.3.1 Cargas de projeto

A NBR 6120:1980 classifica as cargas que devem ser utilizadas no dimensionamento de estruturas como as de concreto, dividindo-as em cargas permanentes e acidentais. O carregamento permanente pode ser definido como o peso de todos os elementos fixos na estrutura, como o peso próprio do elemento estrutural e da alvenaria, revestimento e a cargas de instalações fixas. As cargas acidentais, por sua vez, referem-se as solicitações provenientes do uso da edificação, ou seja, carga de pessoas, móveis, veículos, entre outros.

A NBR 6120:1980 padroniza estas cargas quanto ao tipo de construção, ao material utilizado e ao uso da edificação. É nesta norma que são encontrados os valores de cargas que devem ser utilizados em projetos de escadas, galpões de armazenamentos, edificações e entre outros.

2.3.2 Ações do vento

A NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações, estabelece e caracteriza fatores que influenciam diretamente nos esforços causados pela ação do vento, tais como: geometria e local da edificação, valores que podem ser retirados da Figura 2, rugosidade e tipo de terreno, ângulo de incidência, velocidade do vento e tipo de ocupação.

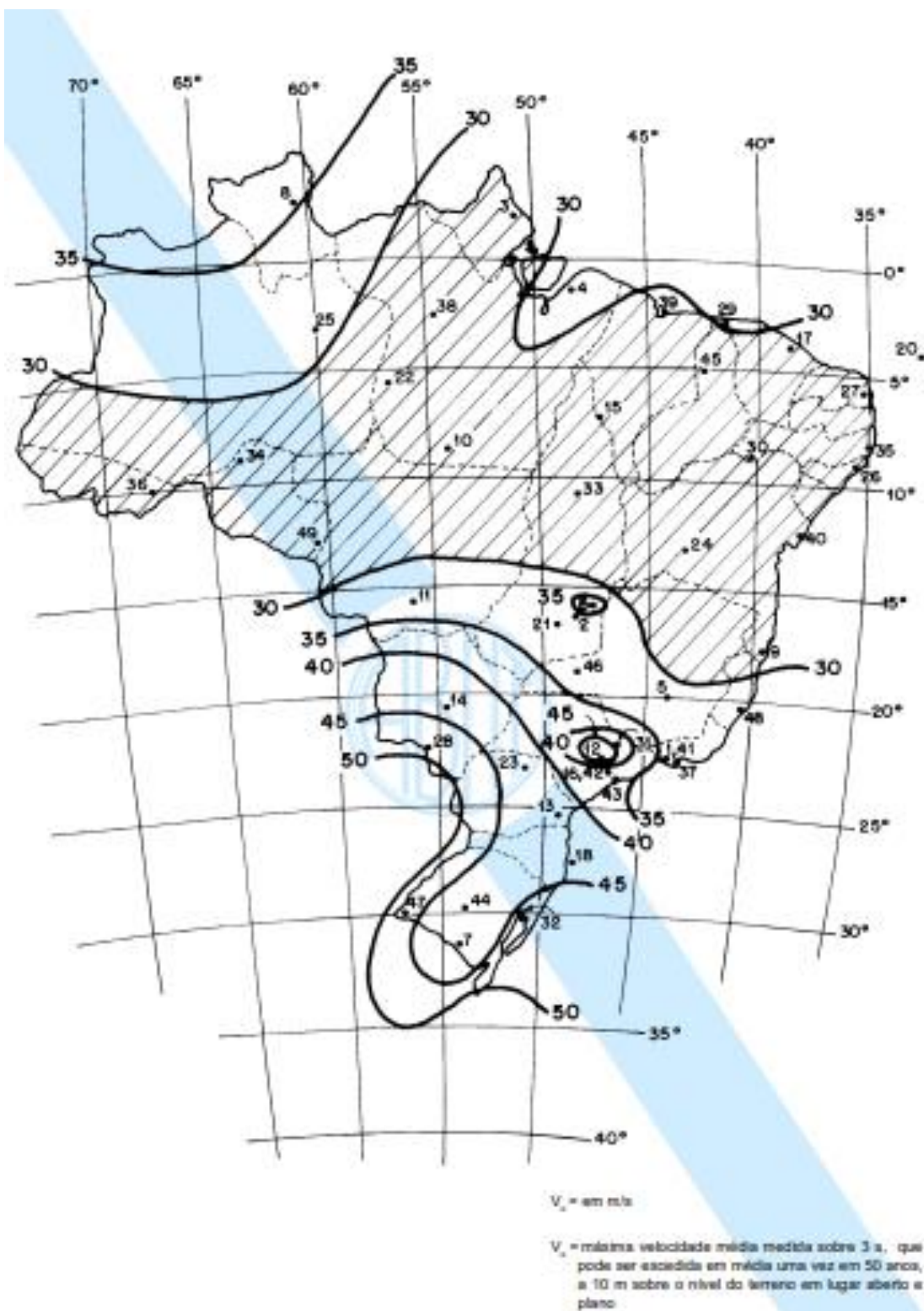


Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_b (m/s)

Figura 2: Isopletas da velocidade básica V_s (m/s)
 Fonte: NBR 6123:1988.

De acordo com Kuster (2014), a medida que o vento encontra uma superfície, seja de forma contínua ou intermitente, gera pressões e conseqüentemente forças. Quando essa massa de ar encontra a edificação, dispersa-se em direções distintas apresentando parcelas de esforços na forma de forças de arrasto e forças verticais. Essas forças tendem a desestabilizar a estrutura, o que exige sua consideração na fase de dimensionamento.

2.3.3 Estruturas em concreto

A NBR 6118:2014 estabelece os requisitos a serem atendidos pelo projeto como um todo para estruturas de concreto simples, armado e protendido. De acordo com esta norma, item 3.1.3, os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, sem que se apliquem alongamentos iniciais nessas armaduras.

É a NBR 6118:2014 que estabelece os requisitos mínimos de qualidade a que essas estruturas devem apresentar durante sua construção e serviço, bem como os requisitos necessários aos projetos.

A partir do conhecimento dessa norma tem-se informações das diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto, os critérios que devem ser adotados para garantir essa durabilidade, as propriedades dos materiais empregados, o comportamento conjunto desses materiais, a segurança e os estados-limites, as ações e resistências.

Existem também algumas referências sobre os limites de deformações, como fissuras e deslocamentos aos quais cada tipo de estrutura pode tolerar, bem como a forma que deve ser feita a análise estrutural e as considerações relevantes para cada projeto.

Para o cálculo da estrutura são consideradas cargas permanentes e cargas acidentais. De acordo com a NBR 6120:1980 (item 2.1.1) as cargas permanentes são constituídas pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes, já as cargas acidentais são todas aquelas que podem atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso, como pessoas, móveis e veículos, por exemplo.

A NBR 6118:2018 determina a forma de dimensionamento, verificação e detalhamento dos elementos lineares e de lajes, servindo como referência para a elaboração de projetos e execução dos mesmos.

De acordo com a NBR 6118:2014 (item 6.3.3.1), o cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam diversos fatores prejudiciais as estruturas, servindo como medidas preventivas que dificultam o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. Como exemplos desses agentes prejudiciais, pode-se cita o feito da despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura e a ruptura do local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro.

De acordo com a classe de agressividade ambiental a qual a estrutura está submetida é que são pré-estabelecidos os cobrimentos necessários das armaduras, onde c é o cobrimento da armadura em relação à face do elemento e o mesmo depende do elemento estrutural que está sendo dimensionado.

Para a determinação do cobrimento faz-se necessário a verificação da classe de agressividade ambiental em que a edificação está inserida, a qual pode ser obtida a partir da Figura 3. Posteriormente para encontrar o valor de c , utiliza-se a Figura 4, na qual pode-se estipular o elemento estrutural o qual se quer dimensionar e a tipologia estrutural da obra.

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana ^{a, b} | Pequeno |
| III | Forte | Marinha ^a | Grande |
| | | Industrial ^{a, b} | |
| IV | Muito forte | Industrial ^{a, c} | Elevado |
| | | Respingos de maré | |

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 3: Classes de agressividade ambiental (CAA)
Fonte: NBR 6118:2014.

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1) | | | |
|----------------------------------|--|--|----|-----|-----------------|
| | | I | II | III | IV ^c |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ^b | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo ^d | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido ^a | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Figura 4: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal
Fonte: NBR 6118:2014.

2.4 ÍNDICES DE CONSUMO

2.4.1 Indicadores como informação para a tomada de decisão

As taxas de consumo medem o consumo de um material em relação a outro ou em relação a área construída, o que pode gerar valores de referência. Essas taxas, quando analisadas a partir de projetos estruturais compõem os chamados indicadores estruturais, os quais podem ser retirados de parâmetros de projetos como consumo de aço, de concreto, áreas de formas e metragem construída.

Um banco de dados no qual esses indicadores estão presentes pode melhorar a qualidade dos projetos, uma vez que fornece aos engenheiros calculistas conhecimentos para melhorar a qualidade dos produtos finais, conhecimento para as tomadas de decisão e aumento da produtividade das empresas visando aumentar o rendimento e, conseqüentemente, proporcionando uma maior lucratividade.

2.4.2 Classificação dos indicadores utilizados

Índices de consumo são valores médios, resultantes de procedimentos matemáticos simples, obtidos a partir de dados oriundos de projetos estruturais. Com dados sobre os consumos de materiais elaboram-se os índices de consumo, com o objetivo de fornecer parâmetros de comparação com metas numéricas preestabelecidas e passíveis de comparação que permitem controlar a qualidade dos projetos em desenvolvimento.

Define-se índice como um valor médio de consumo de um determinado material usado como referência para a elaboração de projetos estruturais, em função da metragem quadrada da edificação, ou qualquer outro material de quantidade facilmente obtida. O consumo de materiais refere-se às estimativas de custos, já que a “estrutura é responsável por 21% do custo da construção” conforme Tubino (2004, pg.17). Diante disso o projetista estrutural pode propor reformulações de projeto de acordo com o indicador calculado e analisado, priorizando a racionalização dos materiais e a lucratividade. Os fatores que influenciam o volume de concreto, as áreas de fôrmas, e a quantidade de aço necessária à estrutura são: modulação estrutural proposta, carga resultante de elementos de vedação utilizados, tipo de estrutura analisada (SOUZA, 2003).

2.4.3 Relação entre volume de concreto/área construída

Este indicador tem como objetivo verificar se as lajes, vigas e pilares de uma estrutura estão superdimensionadas ou subdimensionadas quanto ao volume de concreto, ou se existe uma distribuição inadequada das cargas da estrutura. Desta forma, é possível gerar informações para estimativa de custos e analisar possíveis readequações no projeto.

Quanto menor for o resultado do indicador, maior o grau de otimização do projeto. Entretanto, é necessário analisar-se o tipo de estrutura utilizada, a modulação estrutural proposta, a carga resultante de elementos de vedação vertical utilizados, entre outros fatores, que podem exercer influências sobre o volume de concreto necessário (SOUZA, 2003).

2.4.4 Relação entre massa de aço/área construída

Este indicador tem como objetivo verificar se as lajes, vigas e pilares de uma estrutura estão super ou subdimensionadas quanto a massa de aço, ou se existe uma distribuição inadequada das cargas da estrutura, sendo também útil para noções de custo da estrutura.

Diversos são os fatores que influenciam desde os consumos de concreto até os consumos de aço de uma estrutura. De acordo com a utilização da edificação são utilizados valores de sobrecargas específicos, bem como o tipo de vedação utilizada também influencia diretamente as cargas presentes e consequentemente os consumos necessários para a estabilidade e qualidade da estrutura.

De acordo com Souza (2003), quanto menor for o resultado do indicador, maior o grau de otimização do projeto, entretanto múltiplos são os influenciadores desses indicadores.

2.4.5 Relação entre área de fôrma/área construída

Este indicador tem como objetivo medir a maneira como o cálculo estrutural é pensado para o reaproveitamento das fôrmas nos diversos pavimentos, por exemplo. Desta forma, quanto menor for o indicador de área de fôrma/área construída, maior o grau de otimização do projeto estrutural (SOUZA, 2003).

Como os diversos indicadores, este também pode ser utilizado para as estimativas de custo. Nesse sentido, podem ser considerados os diversos tipos de fôrmas existentes, como as metálicas e as de madeira.

2.4.6 Relação entre massa de aço/volume de concreto

A relação entre massa de aço e volume de concreto está diretamente ligada ao dimensionamento estrutural, nos quais estruturas em que o consumo de aço/volume de concreto possui valor elevado podem estar relacionadas a estruturas com um dimensionamento, o qual pode ser otimizado alterando as dimensões dos elementos estruturais (TUBINO, 2004).

Botelho e Marchetti (2004) utilizam para este índice o valor de referência para a superestrutura de 100 Kg/m³, entretanto este valor pode não estar em acordo com

valores atuais, uma vez que as considerações utilizadas para os dimensionamentos nos cálculos de projetos estruturais do ano de 2004 eram consideravelmente diferentes dos recomendados atualmente.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A Análise de Variância (ANOVA – *Analysis Of Variance*) é um teste paramétrico que possui como objetivo testar igualdades de médias populacionais de 2 ou mais grupos, baseado na análise de variância. Para isso, são elaboradas hipóteses alternativas, nas quais a primeira, H_0 , admite que não existe diferença significativa, na média, entre os grupos e a segunda hipótese, H_1 , assume que pelo menos uma das médias possui variação de valor expressivo, quando comparada as outras (MONTGOMERY *et al.*, 2013).

Para realizar esta verificação, o teste analisa a variância dentro dos grupos e entre os grupos. Essa verificação pode ser realizada comparando os valores de F (estatística do teste) com os valores de $F_{\text{crítico}}$ (valor crítico tabelado ao nível de significância estabelecido), sendo que se o valor de F for maior, estatisticamente existe diferença entre as médias estudadas, rejeita-se H_0 , caso $F_{\text{crítico}}$ seja maior, essa diferença não é significativa. A mesma análise pode ser feita comparando os valores de p valor com α , na qual admite-se um intervalo de confiança, valor este assumido por α . Assim, caso p valor seja inferior ao valor admitido por α , a diferença é estatisticamente significativa, rejeita-se H_0 (BARBETTA *et al.*, 2010).

Quando a hipótese H_0 é rejeitada, pode-se aplicar o teste de *Tukey* ou o teste de intervalo de confiança, nos quais verifica-se a presença ou ausência de intersecção entre esses intervalos. Nos casos em que existe sobreposição, assume-se que não existe diferença significativa entre os grupos, caso contrário esta diferença é comprovada estatisticamente. O teste de *Tukey* consiste em definir a menor diferença significativa que compara as amostras duas a duas (BARBETTA *et al.*, 2010).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado a partir de uma pesquisa exploratória por meio da técnica de análise documental de projetos estruturais de edifícios predominantemente residenciais multifamiliares em concreto armado. Para a concretização do trabalho realizou-se uma pesquisa quantitativa com base em estudos de caso com o objetivo de gerar conhecimentos para a aplicação prática (GIL, 2008).

Foram analisados 34 projetos estruturais com diferentes números de pavimentos, sendo estes de lajes maciças ou mistas (maciças e nervuradas). No caso das lajes mistas, todos os pavimentos térreos, de garagem, escadarias, casas de máquinas e caixas d'água possuem a laje de suporte maciça, sendo os demais pavimentos edificados em lajes nervuradas com preenchimento em EPS. A escolha dos projetos a serem analisados foi feita de maneira que todos os projetos estivessem embasados na NBR 6118:2014, todos para o mesmo município e com os mesmos tipos de sobrecargas consideradas.

Para a realização deste estudo foram seguidas as etapas apresentadas no organograma como mostrado a Figura 5.

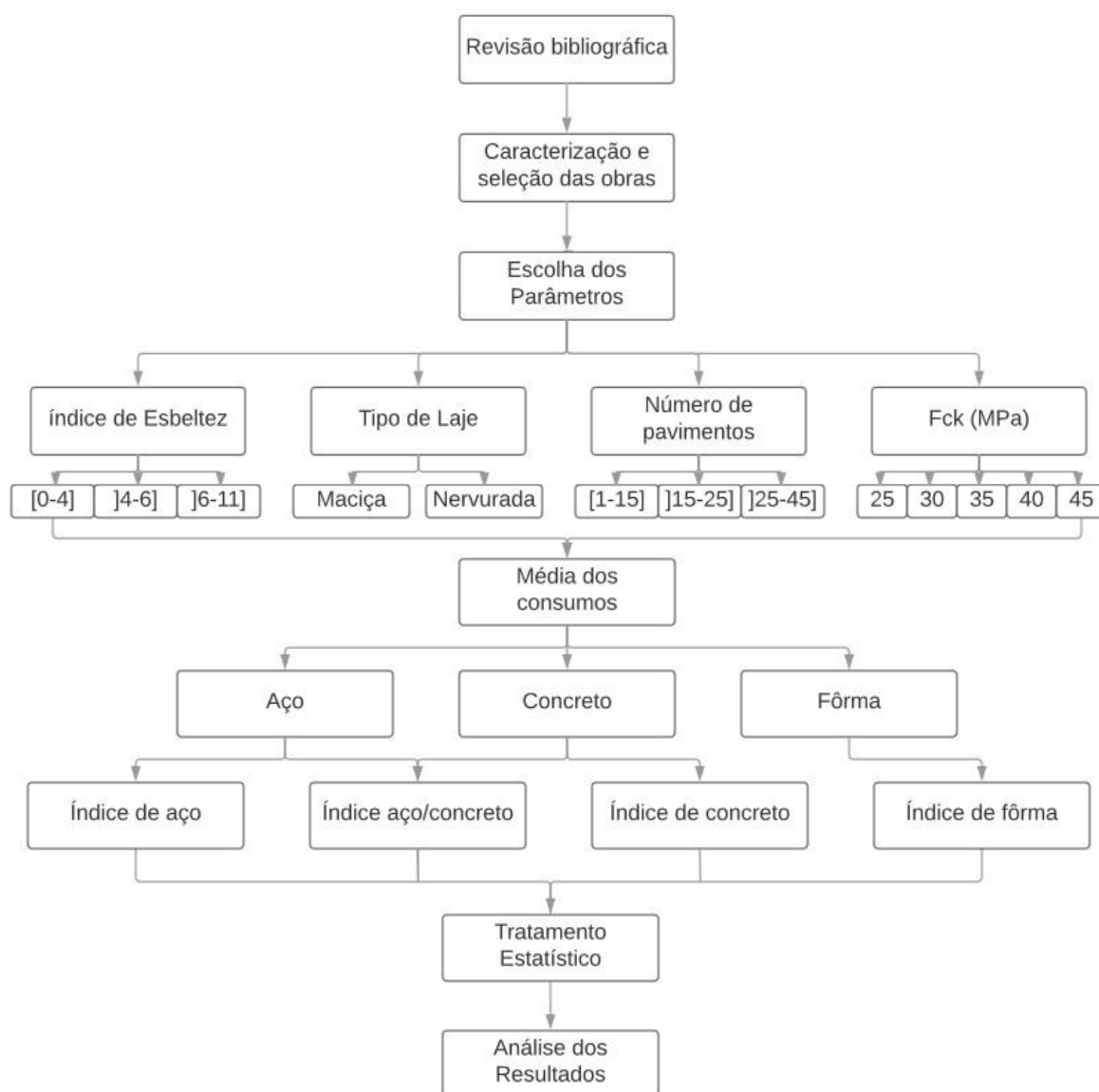


Figura 5: Organograma
Fonte: Autor, 2018.

Para a caracterização das obras, bem como a divisão das mesmas, de acordo com os parâmetros selecionados, foram elaboradas planilhas no MS-Excel®, sendo a primeira utilizada para a coleta dos dados a partir dos projetos analisados. Posteriormente, foram criadas planilhas nas quais os projetos foram classificados de acordo com o número de pavimentos, índice de esbeltez, f_{ck} e tipo de laje. Cada uma destas planilhas possibilitou uma análise dos dados de índices de projeto para cada um dos edifícios.

Para cada uma dessas classificações foram realizadas divisões nas quais serão comparados os valores médios dos consumos dos materiais e desta forma

verificar se os mesmos convergem para um ponto. Após a coleta, os dados foram tabulados, analisados e interpretados buscando atender aos objetivos da pesquisa. Para a tabulação e apuração dos dados foram elaboradas planilhas eletrônicas no MS-Excel®. Os resultados foram apresentados em tabelas e gráficos, os quais facilitam a análise criteriosa dos dados.

Para a análise estatística desses valores foi utilizado o teste ANOVA (item 3.4), nas quais analisou-se para cada divisão a variância dos dados, verificando se há diferença significativa na média. Nos casos em que a hipótese H_0 foi rejeitada, aplicou-se o teste de *Tukey* verificando-se a sobreposição dos valores das médias. Nos casos onde este sobreamento se fez presente assume-se que não existe diferença significativa entre os grupos, caso contrário esta diferença é comprovada estatisticamente (BARBETTA *et al.*, 2010).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS

Para a análise das obras, as mesmas foram separadas de acordo com diferentes itens, para que desta forma pudessem ser analisados quais os fatores que mais influenciam nos consumos dos diversos materiais.

Nessa divisão, foram considerados intervalos com diferentes números de pavimentos, diferentes f_{ck} , diferentes tipos de lajes e diferentes índices de esbeltez. No Apêndice A, é possível ver as características de cada projeto analisado.

3.1.1 Número de pavimentos

Para a determinação das divisões por número de pavimentos, foram selecionadas obras em que não existissem pavimentos abaixo do nível do solo e também sem heliponto. Em relação ao número de pavimentos, as obras foram divididas em três categorias devido ao número de exemplares de cada um, sendo, projetos de obras com menos de 16 pavimentos, de 16 a 25 e as maiores. Esta divisão pode caracterizar obras de pequeno porte, porte médio e porte alto.

3.1.2 F_{ck}

Para a separação das obras de acordo com o f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto, foram divididas em 25, 30, 35, 40 e 45 MPa, sendo esta separação também realizada de acordo com os valores apresentados pelas obras. Além da característica de resistência a NBR 6118:2014 indica o f_{ck} segundo a classe de agressividade do meio, entretanto, em todos os projetos foi considerado a mesma classe de agressividade ambiental, logo o valor de f_{ck} foi estabelecido pelas empresas responsáveis pela execução das obras juntamente com o engenheiro calculista.

3.1.3 Tipos de lajes

Como citado anteriormente (item 2.1.3.1) existem alguns tipos de lajes convencionalmente utilizadas. No caso das obras analisadas, as mesmas foram divididas em lajes maciças e lajes mistas, uma vez que todas as obras disponíveis para pesquisa apresentam este tipo de sistema estrutural.

3.2 INDICADORES ESTRUTURAIS

3.2.1 Relação entre volume de concreto/área construída

Para a determinação do índice de volume de concreto/área construída foram somados os volumes de concreto para cada um dos pavimentos, excluindo valores utilizados para a fundação e dividido pela área da edificação como apresentado na equação (10):

$$I_{con} = \frac{V_{t,con}}{\hat{Área}} \quad (10)$$

Na qual:

I_{con} é a relação entre volume de concreto/área construída (m^3/m^2);

$V_{t,con}$ é o volume total de concreto (m^3); e

$\hat{Área}$ é a área total da edificação (m^2).

Os volumes de concreto utilizados nas fundações são desconsiderados, uma vez que cada obra possui suas particularidades na escolha da fundação, o que depende de diversos fatores como tipo de solo e profundidade do material rochoso, o que foge do objetivo do trabalho.

3.2.2 Relação entre massa de aço/área construída

Para a determinação do índice de massa de aço/área construída foram somadas todas as massas de aço utilizadas na edificação, independente da bitola utilizada, excluindo valores utilizados para a fundação e dividido pela área da edificação como apresentado na equação (11):

$$I_{aço} = \frac{M_{t,aço}}{Área} \quad (11)$$

Na qual:

$I_{aço}$ é a relação entre massa de aço/área construída (kg/m²);

$M_{t,aço}$ é o massa total de aço (kg); e

Área é a área total da edificação (m²).

Pelos mesmos motivos do volume de concreto, a massa de aço das fundações não é considerada.

3.2.3 Relação entre área de fôrma/área construída

Para a determinação do índice de área de fôrma/área construída foram somadas todas as áreas de fôrma utilizadas na edificação, excluindo valores utilizados para a fundação e dividido pela área da edificação como apresentado na equação (12):

$$I_{for} = \frac{A_{t,for}}{Área} \quad (12)$$

Na qual:

I_{for} é a relação entre área de fôrma/área construída (m²/m²);

$A_{t,for}$ é a área total de fôrma (m²); e

Área é a área total da edificação (m²).

Os índices de fôrma não representam um bom parâmetro para levantamento de custos quando não se conhece o aproveitamento das mesmas nas obras. Esse valor depende também do tipo de fôrma utilizada.

3.2.4 Relação entre massa de aço/volume de concreto

Para a determinação do índice de massa de aço/área construída foram somados todos os consumos de aço necessários de acordo com o projeto estrutural para a edificação, excluindo valores utilizados para a fundação, e dividido pelo volume de concreto como apresentado na equação (13):

$$I_{a/c} = \frac{M_{t,aço}}{V_{t,con}} \quad (13)$$

Na qual:

$I_{a/c}$ é a relação entre área de aço/área construída (kg/m^3);

$M_{t,aço}$ é a massa total de aço (kg); e

$V_{t,con}$ é o volume total de concreto (m^3).

3.3 REQUISITOS DA NBR 6118:2014

3.3.1 Cobrimento das armaduras

Como os projetos estruturais são de edifícios que foram ou serão edificados no município de Balneário Camboriú e o mesmo está localizado na região litorânea do estado de Santa Catarina, a classe de agressividade ambiental considerada é III (Figura 3), na qual a agressividade é forte e os cobrimentos indicados são de 3,5 cm para lajes, e 4 cm (Figura 4) para os demais elementos estruturais.

3.3.2 Cargas

3.3.2.1 Ações Verticais

No presente trabalho as edificações utilizadas para estudos são de uso primeiramente residencial com ocupação secundária comercial, nas quais as cargas de projeto são em sua maioria as mesmas. Para os pavimentos de garagem os edifícios possuem sobrecarga de 3 kN/cm², para pavimentos tipo 1,5 kN/cm², pavimentos comerciais 5 kN/cm², academia 5 kN/cm² e áreas de convivência 3 kN/cm², excluindo seções de piscinas e spa. Os valores utilizados encontram-se na NBR 6120:1980 na Tabela 2, onde constam os valores mínimos para cargas verticais.

3.3.2.2 Ações Horizontais

Para ações horizontais, são utilizadas as forças provenientes do vento, sendo elas estáticas e dinâmicas como previsto na NBR 6123:1988 (itens 4.2 e 4.3). Ainda de acordo com a Figura 2, para a região do município de Balneário Camboriú, para a elaboração dos cálculos estruturais a empresa utiliza o valor de 43 m/s. Outros fatores como formato do edifício e tipo de superfície em que o mesmo se encontra também são necessários para o cálculo estrutural, sendo todos os parâmetros provenientes pré-estabelecidos no programa de cálculo.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a coleta dos dados, os resultados foram analisados estatisticamente, de forma que fosse possível chegar a índices embasadas não apenas de forma intuitiva, mas sim por meio de um modelo matemático estatístico.

Como para a presente pesquisa foram analisados diferentes índices (aço, concreto, fôrmas e relação massa de aço por volume de concreto) independentes entre si, sendo cada um deles avaliado de acordo com um fator (número de pavimentos, índice de esbeltez, tipo de laje ou f_{ck}), foi utilizada a análise de variância (ANOVA – Analysis Of Variance) fator único. A ANOVA é um método utilizado para testar a igualdade de médias populacionais, baseado na análise das variâncias amostrais (MONTGOMERY *et al.*, 2013).

Os ensaios feitos em cada nível do fator controlável configuram um grupo. O objetivo é identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis do fator controlável diferem entre si (BARBETTA et al, 2010).

Para isso, assume-se que existem duas hipóteses, a hipótese nula em que a média de todas as populações são iguais, ou seja, não existe variação entre as médias dos grupos, ou a hipótese alternativa em que pelo menos uma média é diferente, não querendo dizer que todas as médias são diferentes (alguns pares podem ser iguais).

Dessa forma, essa análise indicou qual fator (tipo de laje, número de pavimentos, índice de esbeltez ou f_{ck}) teve efeito em um nível de confiança de 95%. Em caso confirmada essa diferença estatística, foi realizado o teste de comparações múltiplas de média (Teste de *Tukey*), para que então fosse possível afirmar qual população, é estatisticamente diferente de outra ou não.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÍNDICE DE ESBELTEZ

Para as obras analisadas, considerando que as próprias possuem índices de esbeltez diferentes, as mesmas foram separadas de acordo com o (item 2.1.4) e então realizou-se uma análise para verificar se os índices de aço, fôrma e concreto, bem como a relação massa de aço/ volume de concreto seguem uma relação. Inicialmente foram feitos gráficos com as médias dos consumos para cada um dos intervalos como apresentado nos Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4, obtidos a partir do apêndice A.

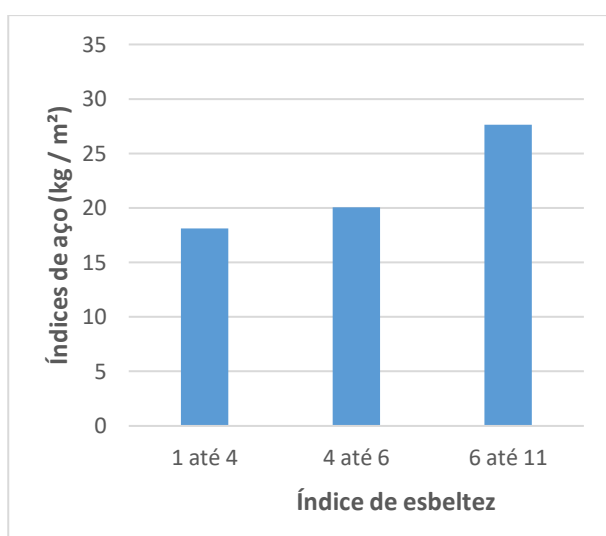


Gráfico 1: Média para os índices de aço em relação ao índice de esbeltez.
Fonte: Autor, 2018.

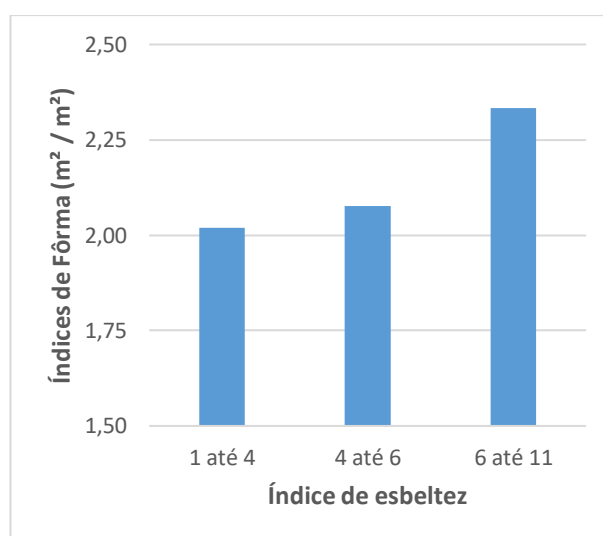


Gráfico 2: Média para os índices de fôrma em relação ao índice de esbeltez.
Fonte: Autor, 2018.

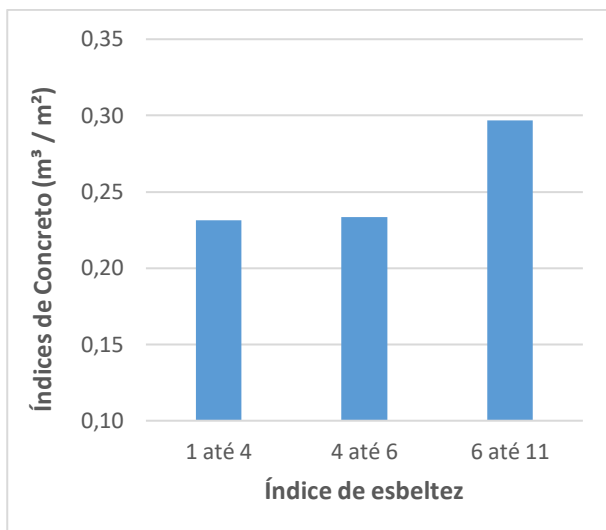


Gráfico 3: Média para os índices de concreto em relação ao índice de esbeltez.
Fonte: Autor, 2018.

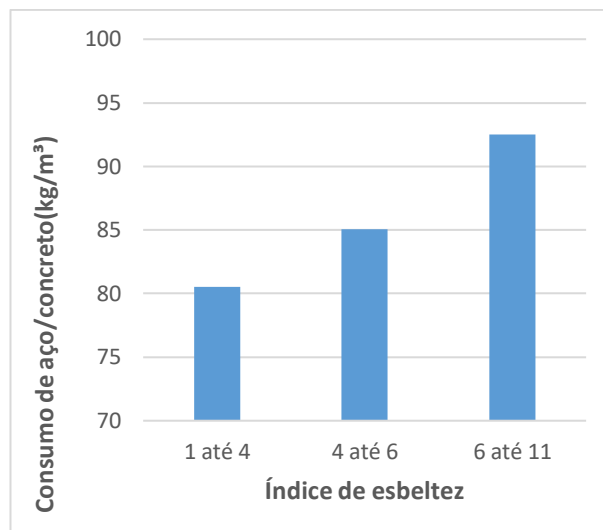


Gráfico 4: Média para a relação massa de aço/volume de concreto em relação ao índice de esbeltez.
Fonte: Autor, 2018.

Como os valores para os índices variou entre os diferentes valores de esbeltez, foi realizado o teste de variância ANOVA fator único, em separado para cada Índice, como pode ser visto nas Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 do apêndice B. A análise ANOVA fator único para o presente caso verifica se os diferentes índices de esbeltez influenciam nos consumos dos diferentes materiais estudados. Essa análise foi realizada considerando as variações de valores entre os grupos (1ª linha) e dentro de cada um dos grupos (2ª linha).

Essa verificação pode ser realizada comparando os valores de F com os valores de $F_{\text{crítico}}$, ao nível de significância de 5%, sendo que se o valor de F for maior, estatisticamente existe diferença nos consumos médios entre obras com diferentes índices de esbeltez, caso $F_{\text{crítico}}$ seja maior, essa diferença não é significativa. A mesma análise pode ser feita comparando os valores de p valor com α . Uma vez que a análise realizada possui um intervalo de confiança de 95%, logo α admite um valor de 5% ou 0,05, assim caso p valor seja inferior ao valor assumido por α , a diferença é estatisticamente significativa.

Para todos os índices analisados nota-se que a diferença no índice de esbeltez causa variações nos consumos de aço, fôrma e concreto, e na relação massa de aço por volume de concreto, uma vez que F é maior que $F_{\text{crítico}}$, assim como p valor é inferior a 0,05 (α). Esta análise realizada, a ANOVA indica se existe diferença significativa entre os valores, entretanto não mostra onde ocorre essa diferença e se

ela está presente em todos os grupos. Como nas considerações obtidas pelo teste de variância notou-se que existe diferença significativa entre os diferentes índices de esbeltez foi realizado o teste de Tukey (com índice de confiança de 95%), para especificar quais valores diferem entre si.

Para os índices de aço, pode-se notar que só existe diferença significativa nos consumos, quando variado o índice de esbeltez de um intervalo de 4 a 6 para 6 a 11. Comparando os valores para os intervalos de 0 a 4 até 4 a 6, estatisticamente não existe variação significativa no índice de esbeltez, como apresentado no Gráfico 5, logo pode-se considerar que o consumo para obras com pequena e média esbeltez são os mesmos.

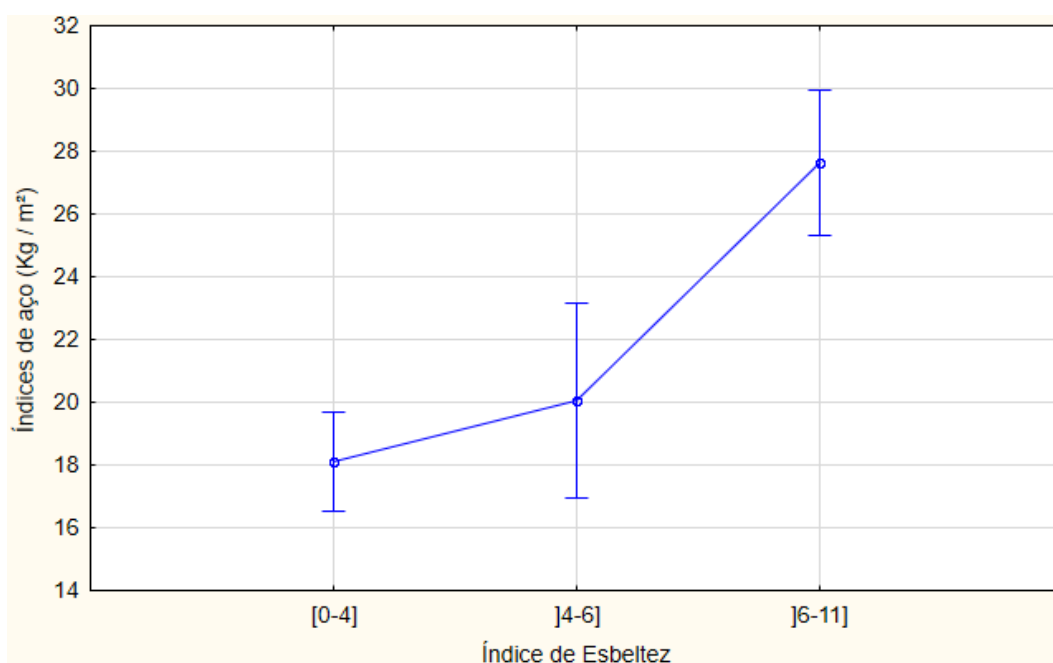


Gráfico 5: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o índice de esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

Como ocorre para os índices de aço, nos indicadores de fôrmas o intervalo no qual existe variação significativa é para alta esbeltez, como é comprovado no Gráfico 6.

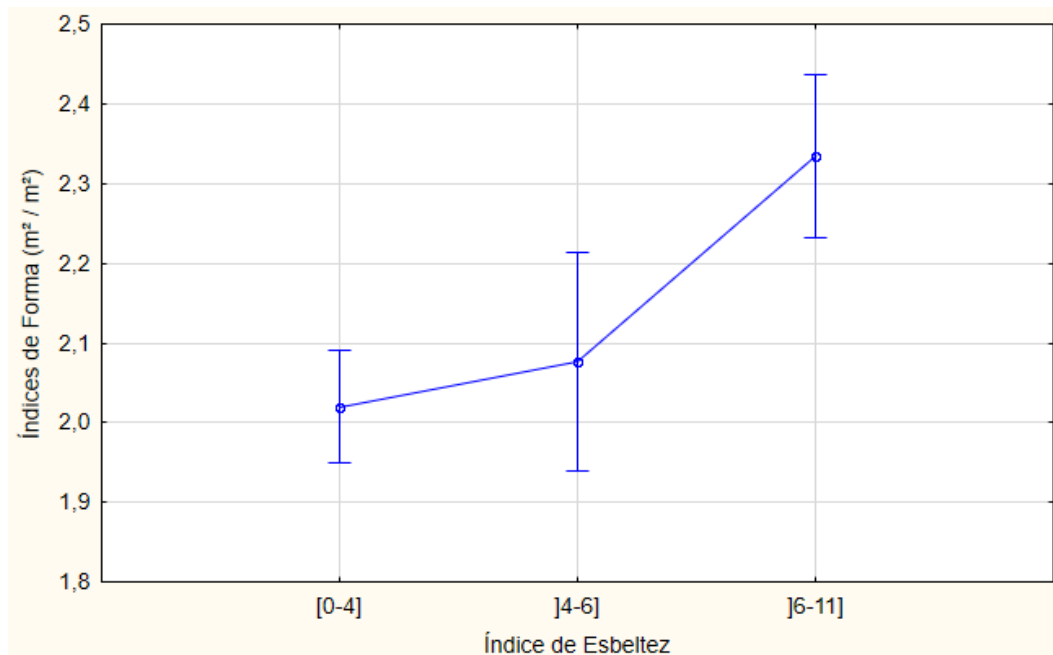


Gráfico 6: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o índice de esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

Como ocorre para os indicadores de aço e fôrma, nos índices de concreto só existem sobreposições, quando comparados edifícios de pequena e média esbeltez, logo essa sobreposição indica que a variação de consumo entre essas edificações não apresenta variação significativa. No caso de edifícios de alta esbeltez, por não existir sobreposição entre as faixas considera-se que os consumos adotados para estes edifícios apresentam grande variação quando comparados com os demais, o que é verificado no Gráfico 7.

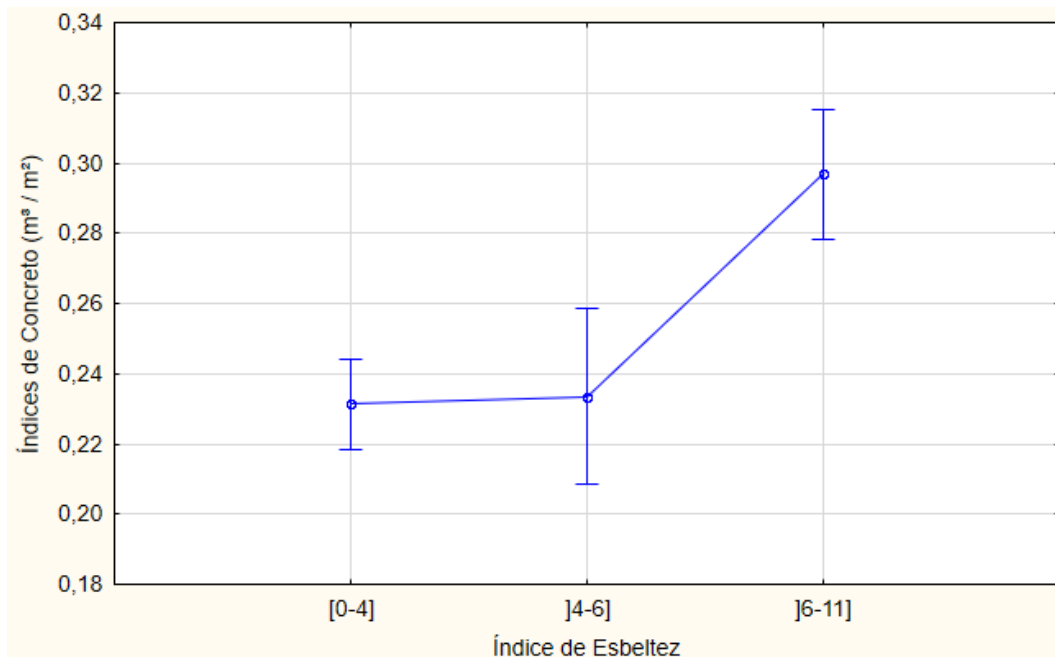


Gráfico 7: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o índice de esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

Para a relação de massa de aço por volume de concreto, quando comparado com os demais testes realizados, notou-se uma variação nas áreas de influência pelo teste de *Tukey*, uma vez que os edifícios de média esbeltez apresentam valores de consumo semelhantes tanto a edifícios de pequena quanto de alta esbeltez (Gráfico 8).

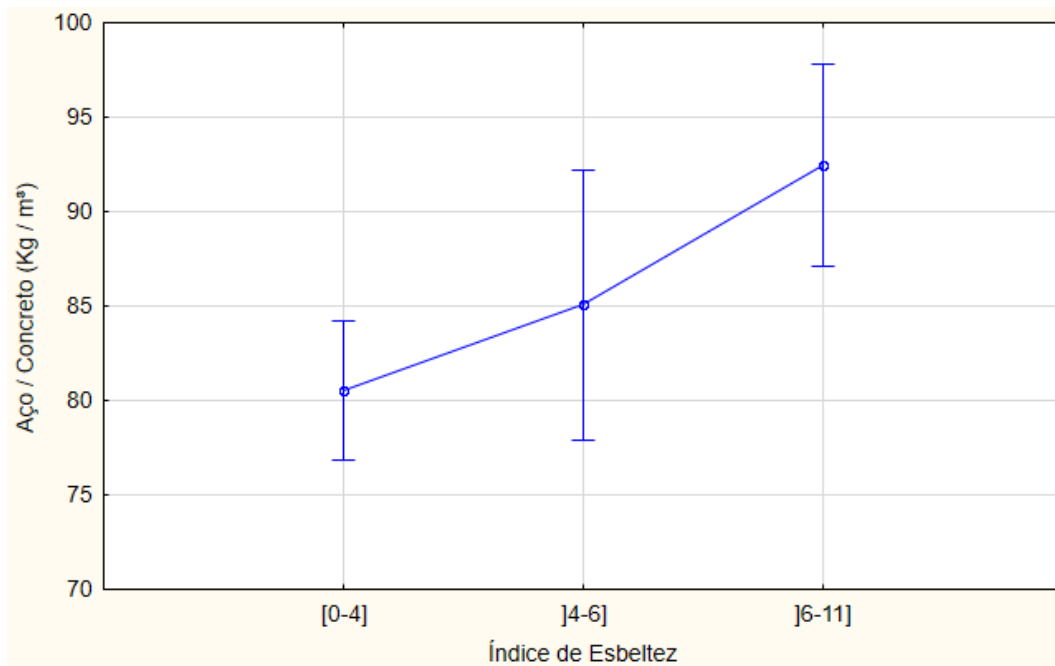


Gráfico 8: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o índice de esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

Desta forma, pode-se explicar os consumos significativamente superiores dos edifícios com esbeltez acima de 6 devido a maior incidência de ventos nestes e pela menor estabilidade deles quando comparada com edifícios mais parrudos. Onde para índices de esbeltez menores os efeitos da NLG são menos significativos, com o aumento da esbeltez, esses efeitos ganham maior importância e conseqüentemente requerem elementos estruturais com maior dimensionamento.

Para a obtenção do banco de dados nos casos em que não existiu sobreposição nos intervalos para o gráfico de Tukey, utilizou-se como limites os valores inferior e superior para cada intervalo. Já quando esta sobreposição se fez presente utilizou-se o menor dos dois ou mais intervalos e o maior valor dos dois ou mais intervalos sobrepostos. Sendo assim pode-se tomar como valores base os presentes na Tabela 1:

| Índice de esbeltez | | |
|--|-------------|-------------|
| | [0-6] |]6-11] |
| Índices de aço (kg / m ²) | 16,5 - 23,2 | 25,2 – 30 |
| Índices de Fôrma (m ² / m ²) | 1,93 - 2,21 | 2,22 - 2,44 |
| Índices de Concreto (m ³ / m ²) | 0,20 - 0,26 | 0,28 - 0,32 |
| | [0-6] |]4-11] |
| Massa de aço/Volume de Concreto (kg/ m ³) | 77 - 92 | 78 – 98 |

Tabela 1: Índices médios em relação a esbeltez do edifício

Fonte: Autor, 2018.

Vale lembrar que as obras analisadas apresentaram índices de esbeltez inferiores a 11, logo para índices superiores deve-se utilizar indicadores adequados.

4.2 NÚMERO DE PAVIMENTOS

Como para o índice de esbeltez as obras analisadas possuem diferentes números de pavimentos, logo, foram separadas de acordo com o item 3.1.1 e então realizou-se uma análise para verificar se os índices de aço, fôrma e concreto, bem como a relação massa de aço/ volume de concreto seguem um padrão. Para esta verificação, inicialmente foram compostos, como anteriormente, os gráficos com as médias como apresentado nos Gráfico 9 ao Gráfico 12, obtidos a partir do apêndice A.

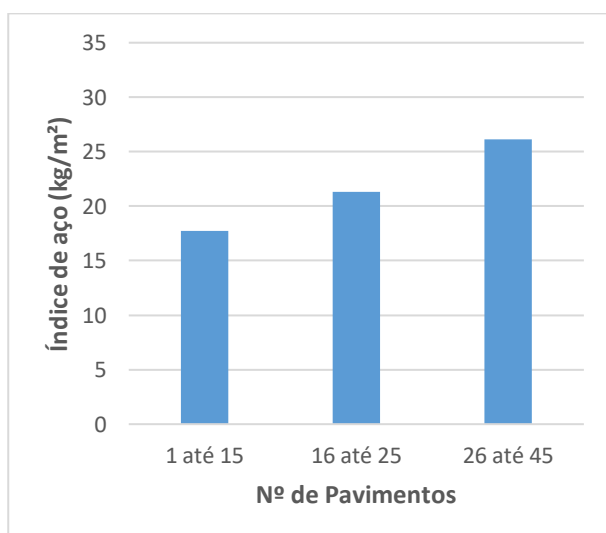


Gráfico 9: Média para os índices de aço em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

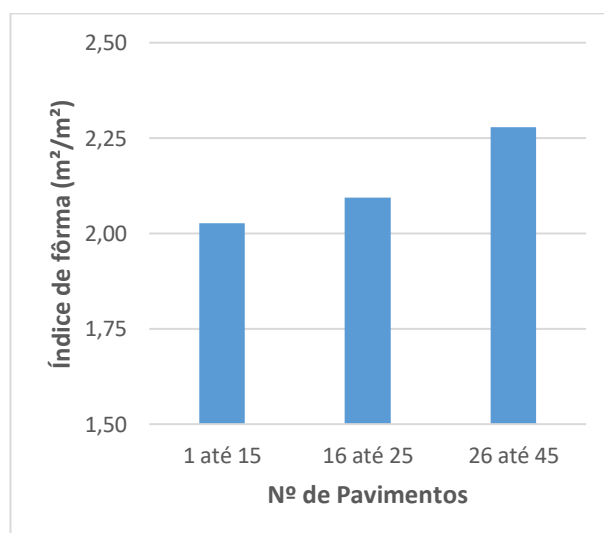


Gráfico 10: Média para os índices de fôrma em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

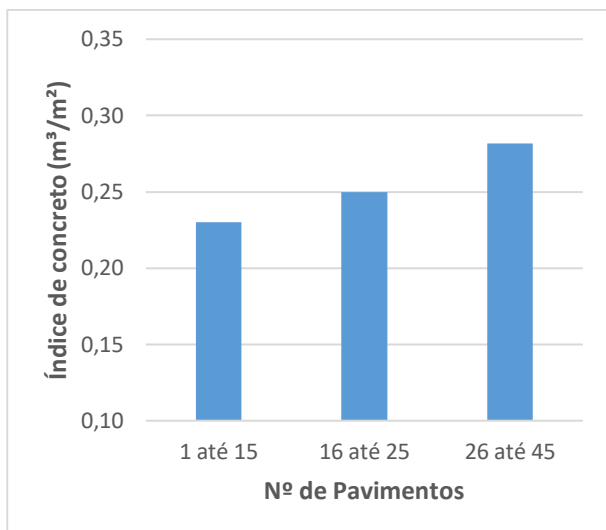


Gráfico 11: Média para os índices de concreto em relação ao Número de Pavimentos.
Fonte: Autor, 2018.

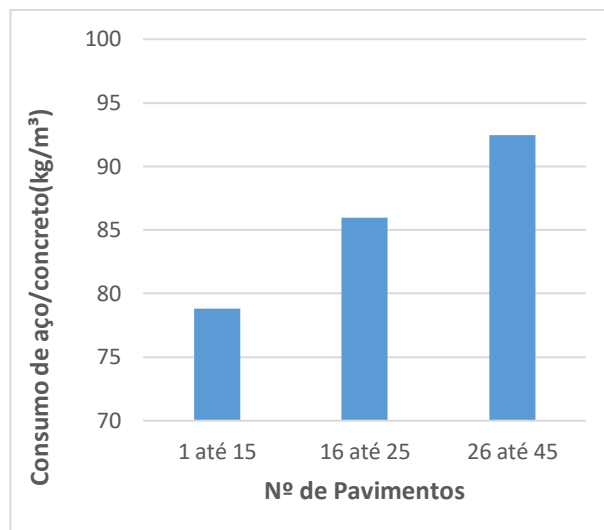


Gráfico 12: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao Número de Pavimentos.
Fonte: Autor, 2018.

Para os diferentes índices é possível notar que aumentando o número de pavimentos aumenta-se o consumo de materiais em relação a área construída de obra, bem como, quando aumentado o volume de concreto aumenta-se o consumo de aço. Para verificar se esses aumentos são significativos, aplicou-se o teste de hipóteses ANOVA como pode-se verificar no apêndice C.

Para ambas as análises feitas é possível perceber que como, o F é maior que o $F_{\text{crítico}}$, assim como o p valor é inferior a 0,05 (α), o aumento do número de pavimentos influencia significativamente o aumento no consumo dos materiais. Em seguida, foi realizado o teste de comparações de médias (teste de *Tukey*) para cada um dos indicadores.

Considerando os valores encontrados nota-se que existe um aumento significativo nos consumos para obras de até 15 pavimentos quando comparados com obras com mais de 25 pavimentos, entretanto para um intervalo de 15 a 25 pavimentos não se verificou uma discrepância significativa como pode ser observado no Gráfico 13.

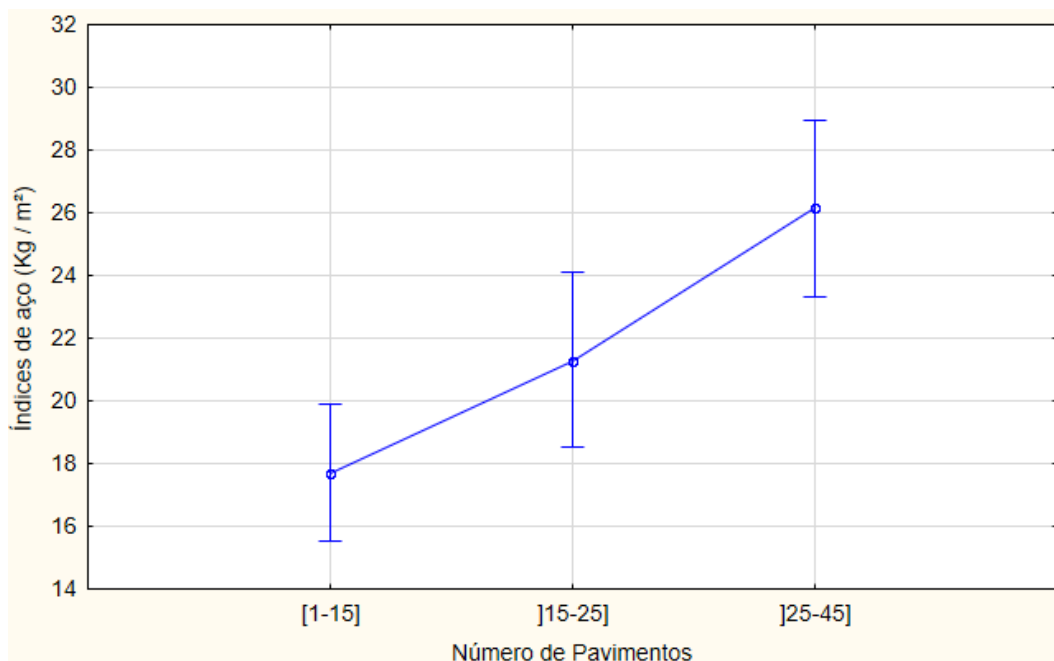


Gráfico 13: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o número de pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

Assim como para os índices de aço, nos índices de fôrma essa variação permaneceu a mesma, onde só pode ser verificado uma mudança significativa quando comparados os dois extremos, como apresentado no Gráfico 14.

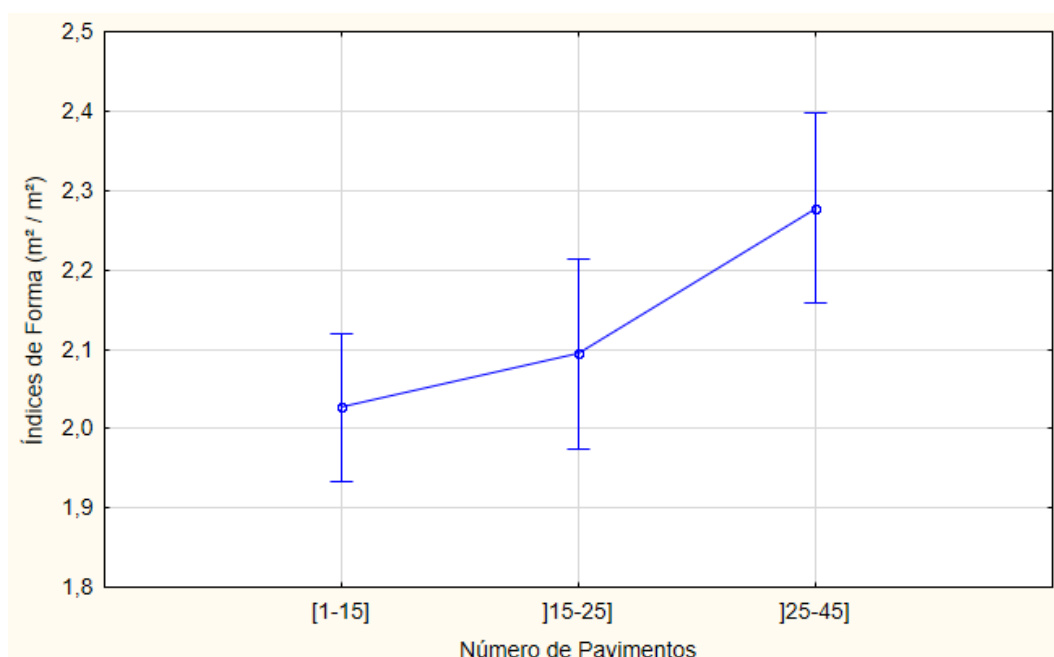


Gráfico 14: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o número de pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

Comparando os valores encontrados para os indicadores de concreto variando o índice de esbelteza, com os valores encontrados variando o número de pavimentos, Gráfico 15, é possível notar que existe uma diferença significativa entre eles. Isso se deve, pois, edifícios com dimensões laterais pequenas apresentam menor instabilidade do que edifícios de mesma altura, com dimensões laterais maiores, e esta menor estabilidade acarreta consumos maiores.

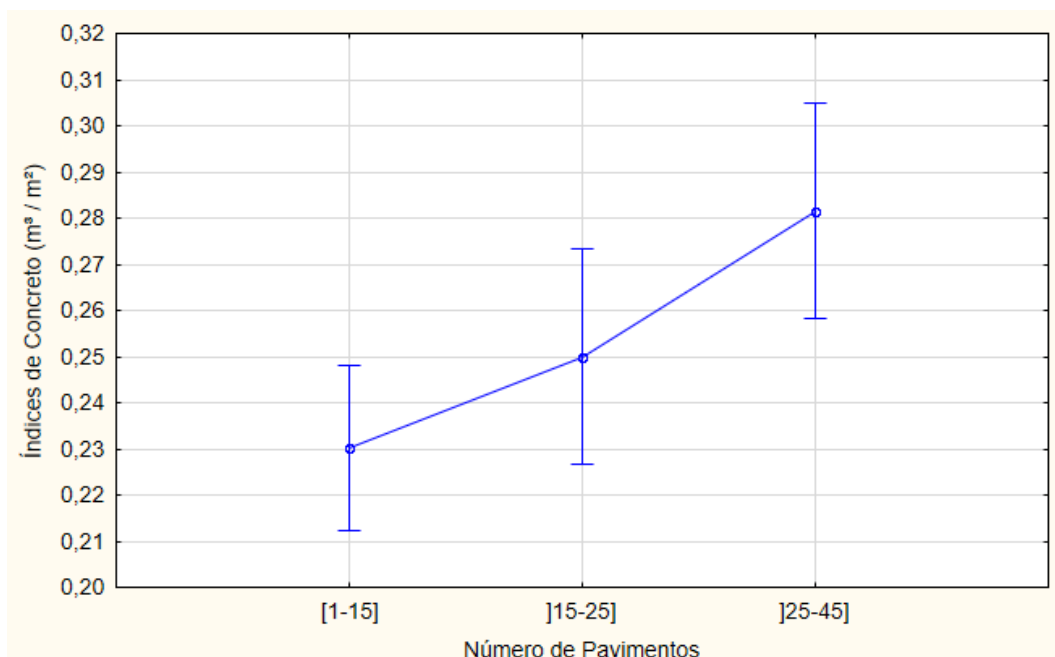


Gráfico 15: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o número de pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

Assim como para os demais índices, a relação consumo de aço por volume de concreto quando variado o número de pavimentos apresentou um crescimento quase linear, onde só é possível considerar que existe significância entre os valores comparando-se os extremos analisados o que é possível verificar no Gráfico 16.

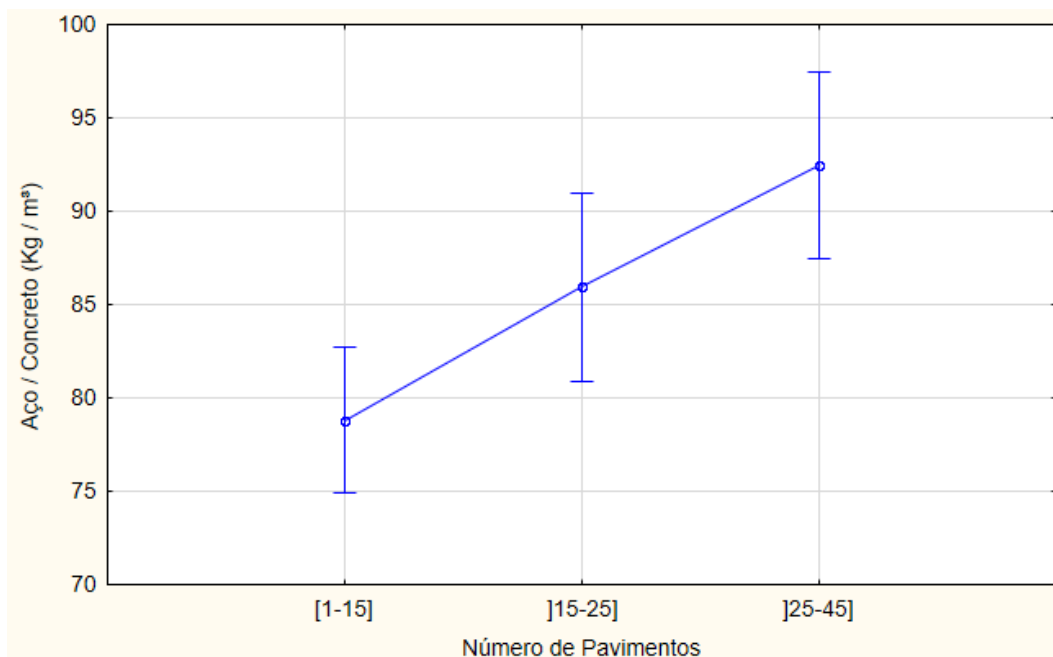


Gráfico 16: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o número de pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

Nota-se que para todos os índices existe variação significativa para edifícios com número de pavimentos até 15 e acima de 25, entretanto pode-se afirmar que para edifícios com média altura (número de pavimentos entre 15 e 25) os consumos de materiais não apresentam variações significativas quando comparados com os demais edifícios. Sendo assim, pode-se utilizar a Tabela 2 para obter indicadores médios de acordo com o número de pavimentos do edifício.

| Número de Pavimentos | | |
|--|--------------|---------------|
| | [0-25] | [15-45] |
| Índices de aço (kg / m ²) | 15,5 – 24 | 18,5 - 29 |
| Índices de Fôrma (m ² / m ²) | 1,92 - 2,12 | 1,98 - 2,4 |
| Índices de Concreto (m ³ / m ²) | 0,21 - 0,275 | 0,225 - 0,305 |
| Massa de aço/Volume de Concreto (kg/ m ³) | 75 – 91 | 87 - 98 |

Tabela 2: Índices médios em relação ao número de pavimentos
Fonte: Autor, 2018.

É importante lembrar que assim como para o índice de esbelteza, as obras analisadas apresentaram número de pavimentos máximo de 45, logo para mais pavimentos ou edificações unifamiliares deve-se utilizar indicadores compatíveis com as características da edificação.

Yamura ([2015]) analisou os indicadores globais para estruturas de residências de dois pavimentos, onde o pavimento térreo, superior e cobertura foram edificados com laje, apresentando laje pré-moldada em concreto armado e apenas nos beirais e marquises lajes maciças. Os projetos analisados foram edificados no município de Porto Velho sem considerar a ação do vento. Para estas informações encontrou para índice de concreto um valor médio de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$, índice de fôrma $1,02 \text{ m}^2/\text{m}^2$, índice de aço $7,99 \text{ kg}/\text{m}^2$ e relação massa de aço por volume de concreto $78,45 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Nota-se que quando comparados os valores encontrados por Yamura ([2015]) com os do presente trabalho existe uma discrepância significativa, uma vez que as obras analisadas apresentam características completamente diferentes, por se tratarem de edificações multifamiliares neste caso e unifamiliares no outro. Sendo assim, é esperado que os resultados obtidos nesta pesquisa apresentem valores expressivamente maiores.

4.3 TIPO DE LAJE

Da mesma maneira como realizado para o índice de esbeltez, as obras foram divididas em tipos de lajes, onde a partir dos Gráfico 17, Gráfico 18, Gráfico 19 e Gráfico 20 (dados obtidos a partir do apêndice A), notou-se a diferença entre as médias encontradas para os indicadores com base em lajes maciças e nervuradas.

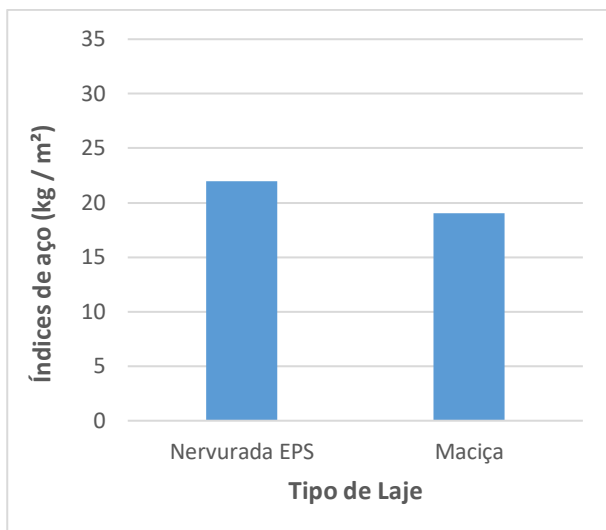


Gráfico 17: Média para os índices de aço em relação ao tipo de laje.
Fonte: Autor, 2018.

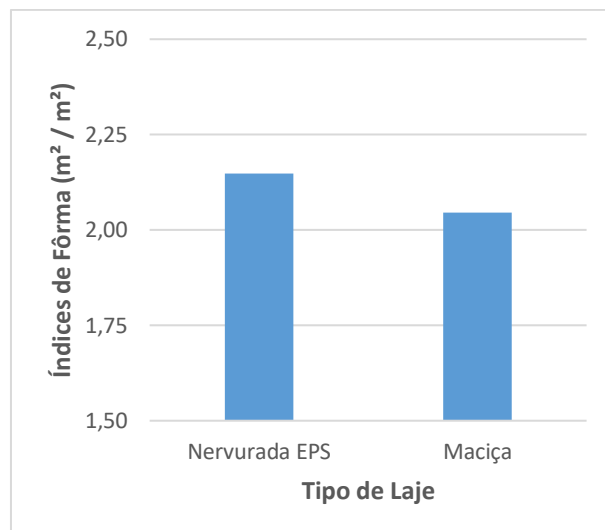


Gráfico 18: Média para os índices de fôrma em relação ao tipo de laje.
Fonte: Autor, 2018.

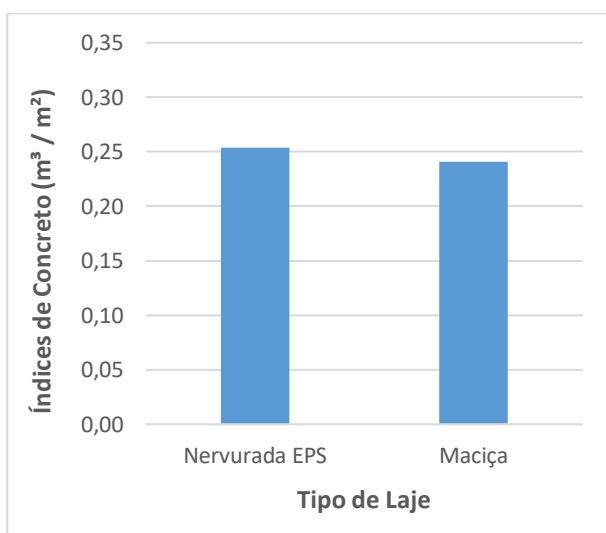


Gráfico 19: Média para os índices de concreto em relação ao tipo de laje.
Fonte: Autor, 2018.

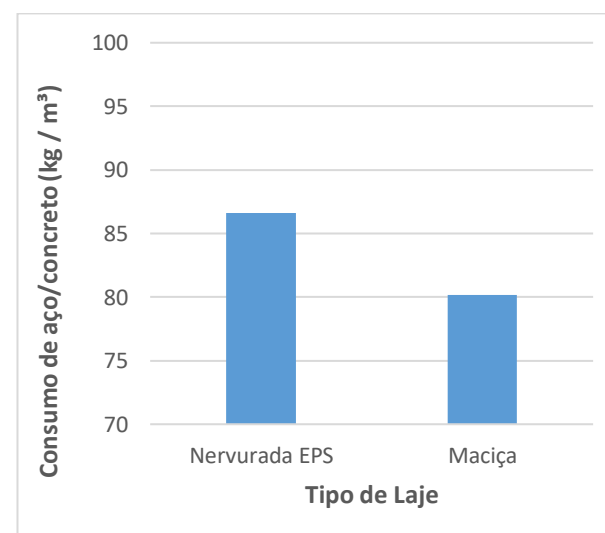


Gráfico 20: Média para a relação massa de aço/ volume de concreto em relação ao tipo de laje.
Fonte: Autor, 2018.

Uma vez notada esta diferença entre as médias realizou-se a análise de variância (ANOVA) para verificar se existe diferença considerável para os consumos de aço, fôrma e concreto, e relação entre massa de aço/volume de concreto, quando variado o tipo de laje.

Nas Tabela 14 a Tabela 17 do apêndice D é possível perceber que como, F é menor que $F_{\text{crítico}}$, assim como p valor é maior que 0,05 (α), estatisticamente os índices de aço, concreto, fôrmas e relação consumo de aço por consumo de concreto, não

apresentam variação significativa de valores. Assim, pode-se considerar que independentemente do tipo de laje, seja ela maciça ou nervurada, os consumos são semelhantes.

Quando variado o tipo de laje das edificações, independente do indicador analisado, notou-se uma pequena variação nos consumos, sendo que a partir de análises estatísticas mais aprofundadas confirmou-se que esta pequena variação não pode ser considerada significativa. Desta forma, quando estudadas obras com lajes nervuradas ou maciças, pode-se considerar que independentemente do tipo de laje que elas apresentem esse não é um fator que irá interferir no consumo.

Como verificado a partir do teste ANOVA, pode-se considerar estatisticamente os consumos semelhantes, independentemente do tipo de laje, assim a partir das médias obteve-se os valores da Tabela 3:

| Indicadores médios | |
|--|---------------|
| Índices de aço (kg / m ²) | 15,8 - 24,1 |
| Índices de Fôrma (m ² / m ²) | 1,92 - 2,24 |
| Índices de Concreto (m ³ / m ²) | 0,217 - 0,271 |
| Aço / Concreto (kg / m ³) | 74,5 - 91 |

Tabela 3: Índices médios, tanto para lajes maciças quanto nervuradas
Fonte: Autor, 2018.

Para a relação massa de aço por volume de concreto, deste trabalho, encontrou-se valores muito próximos independentemente do tipo de laje, os quais não apresentaram variação significativa na análise estatística, entretanto com consumo maior nas nervuradas do que nas maciças, o que foi verificado também por Silva (2011).

Morais *et al.* (2015) em seu estudo analisou lajes nervuradas e lajes maciças, onde encontrou nas primeiras que o consumo de aço foi um pouco inferior ao das lajes maciças, entretanto com valores bem próximos entre ambas. Já para os consumos de concreto e de fôrmas, quando comparando os dois modelos estruturais notou um acréscimo de consumo nas lajes nervuradas.

Analisando as informações obtidas por Silva (2011) e Moraes *et al.* (2015), com os valores do presente trabalho, confirma-se que a utilização de lajes maciças ou nervuradas não influencia consideravelmente em consumos maiores ou menores de materiais estruturais. Com relação ao índice de concreto Silva (2011) encontrou

valores médios, tanto para lajes maciças quanto para nervuradas, de $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Seu trabalho analisou apenas os pavimentos tipo de edificações na região de Criciúma – SC. Ainda, Tubino (2004) em seu estudo obteve para índice de concreto valores em torno de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$, no qual analisou edifícios com laje pré-moldada e laje maciça, apresentando valores superiores de consumo de concreto nas lajes maciças quando comparadas às pré-fabricadas. Também, verificando que o índice de concreto aumentou conforme o aumento do f_{ck} , embora esta relação não tenha se comprovado estatisticamente.

Já o intervalo encontrado neste estudo apresenta valores entre $0,22$ e $0,27 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Essa diferença de valor pode ser justificada pela alteração das normas utilizadas para base de cálculo, na qual para ambos os autores a NBR 6118 de referência foi a de 2003, uma vez que os projetos analisados por eles foram anteriores a 2014, e no presente trabalho a norma de referência foi a NBR 6118: 2014, bem como pela diferença de área e localização das edificações.

4.4 F_{ck}

Como realizado para os demais casos, a partir das médias para cada um dos índices, obteve-se os Gráfico 21 a Gráfico 24 (dados do apêndice A), onde pode-se notar uma semelhança entre o comportamento dos índices. Observa-se que até o valor de resistência do concreto chegar a 35 Mpa houve uma diminuição nos consumos, entretanto quando os valores de f_{ck} ultrapassam essa marca existe um aumento conforme aumenta-se a resistência.

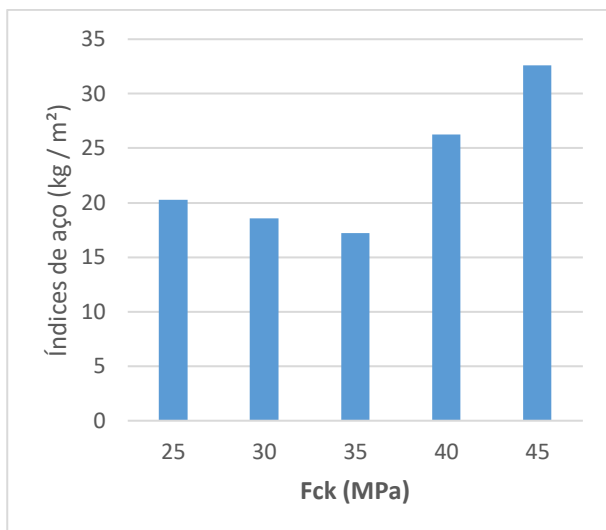


Gráfico 21: Média para os índices de aço em relação ao f_{ck} .
Fonte: Autor, 2018.

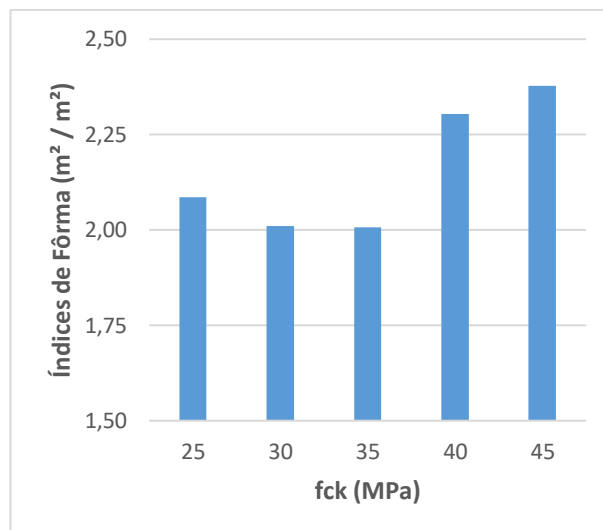


Gráfico 22: Média para os índices de fôrma em relação ao f_{ck} .
Fonte: Autor, 2018.

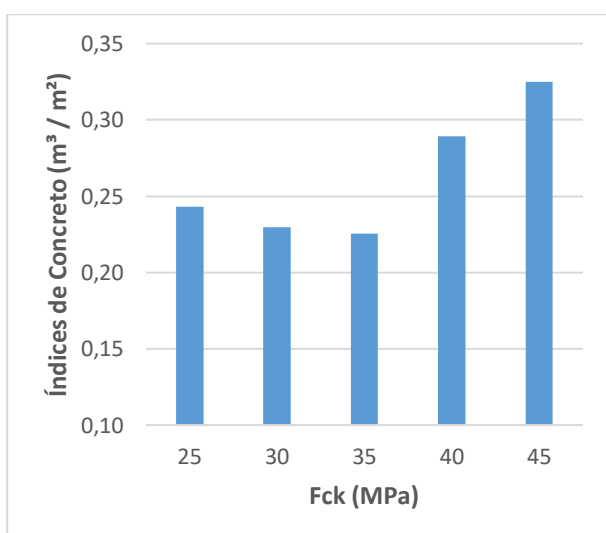


Gráfico 23: Média para os índices de concreto em relação ao f_{ck} .
Fonte: Autor, 2018.

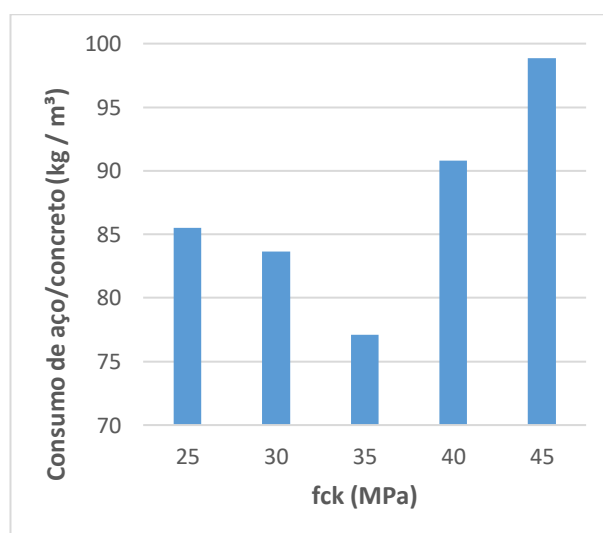


Gráfico 24: Média para a relação massa de aço/volume de concreto em relação ao f_{ck} .
Fonte: Autor, 2018.

Para se verificar esta variação nos valores, foi necessário realizar a mesma análise estatística aplicada nos demais casos. Novamente foi empregado o teste de hipóteses ANOVA separadamente para cada um dos índices como é possível verificar no apêndice E.

A partir dos resultados obtidos da análise de variância notou-se que existe variação significativa entre os valores encontrados para os índices, logo aplicou-se o teste de *Tukey* para verificar em quais casos existe esta variação e como ela ocorre.

Como observado nos gráficos contendo apenas as médias, os valores apresentam-se decrescentes até 35 MPa e crescentes a partir de então, entretanto a partir da análise de *Tukey*, para índices de aço, considera-se que para valores de f_{ck} inferiores a 40 MPa o consumo de aço obedece a um mesmo intervalo, não existindo variação significativa. Já para valores iguais ou superiores a 40, o consumo de aço obedece outro intervalo de consumo, como pode ser verificado no Gráfico 25.

Esta variação pode ser justificada, uma vez que, para as obras analisadas, as que possuem concreto com f_{ck} de 40 MPa apresentam valores de índices de esbeltez superiores aquelas com f_{ck} de 30 e 35 MPa. E para as edificações que apresentaram maiores índices de esbeltez (superior a 6) foram encontrados grandes consumos devidos as considerações dos efeitos de 2ª ordem, logo verifica-se este aumento de consumo quando comparadas de acordo com a resistência característica.

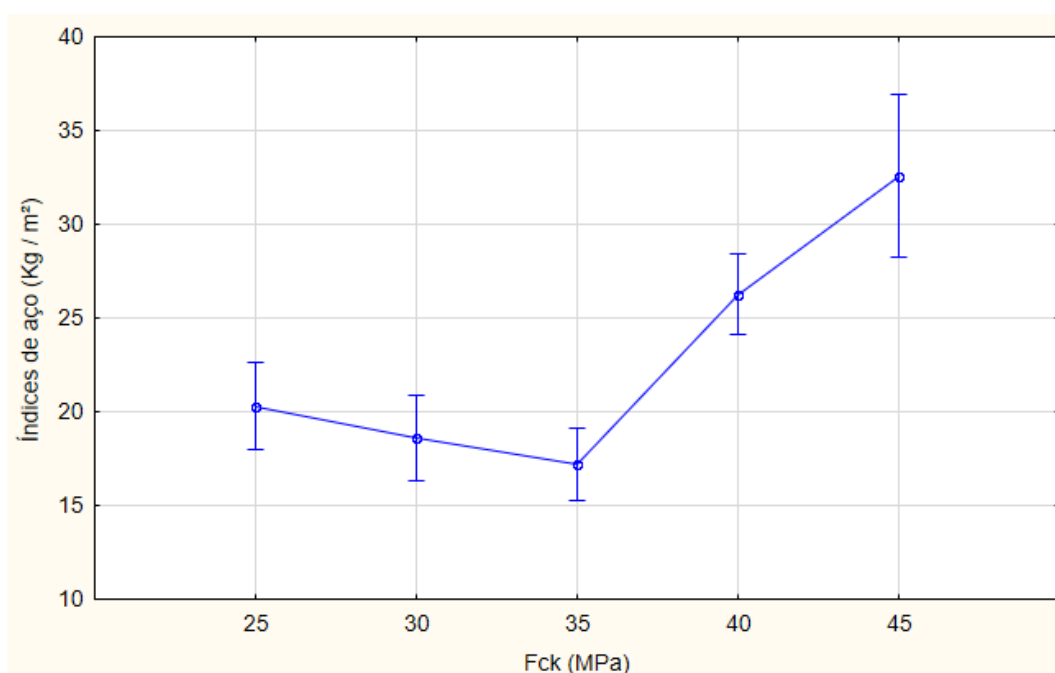


Gráfico 25: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de aço, variando o f_{ck}
Fonte: Autor, 2018.

Um pouco diferente do caso dos índices de aço, nos índices de fôrma, pode-se considerar que existe variação significativa apenas quando se compara resistências de 30 e 35 MPa com de 40 e 45 MPa. Nota-se que para fôrmas de obras com f_{ck} de 25 MPa existe um intervalo de consumo que coincide tanto com os intervalos de 30 e 35, bem como com os intervalos de 40 e 45, como fica visível no Gráfico 26.

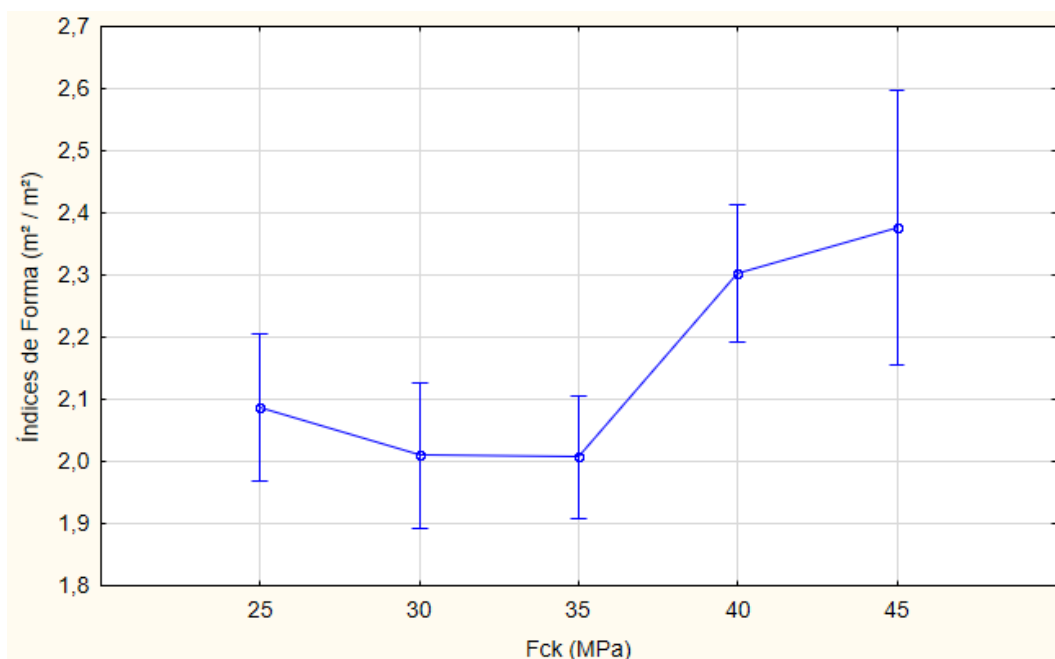


Gráfico 26: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de fôrma, variando o f_{ck}
Fonte: Autor, 2018.

Para os índices de concreto, assim como os índices de aço observa-se uma variação significativa nos consumos apenas quando alteram-se os valores de resistência característica do concreto de 35 para 40 MPa. Esta variação pode ser justificada uma vez que para as obras analisadas, as que possuem concreto com f_{ck} de 40 MPa apresentam valores de índices de esbeltez bem superiores aquelas com f_{ck} de 30 e 35 MPa, e como para edificações de alta esbeltez verificou-se um aumento significativo no consumo de concreto, logo verifica-se este aumento quando comparadas de acordo com a resistência característica (Gráfico 27).

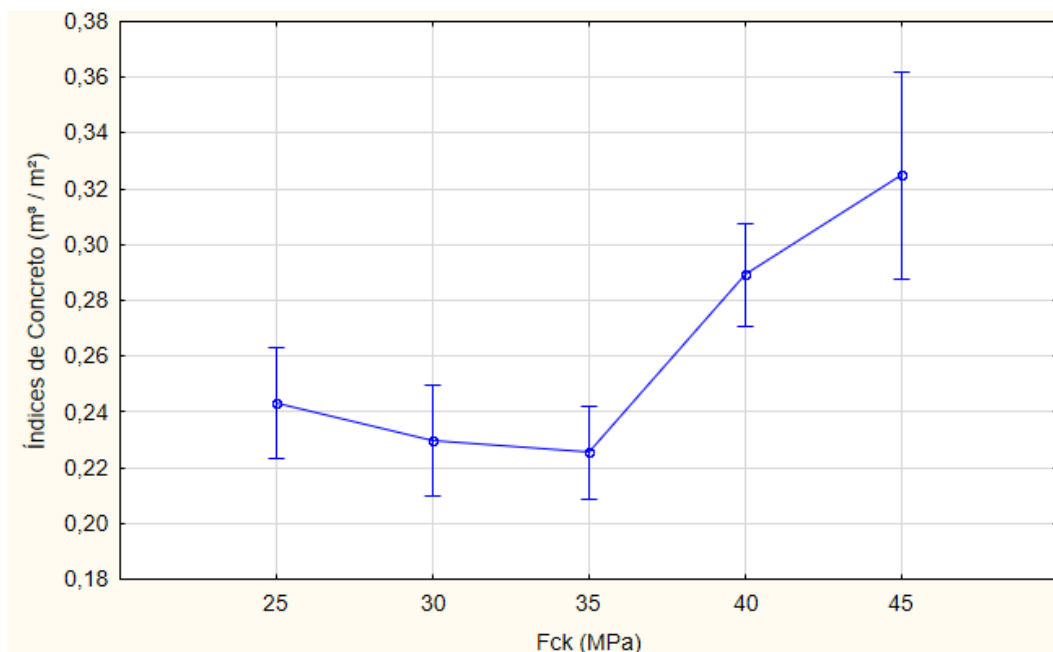


Gráfico 27: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para índices de concreto, variando o f_{CK}
Fonte: Autor, 2018.

Quando considerada a massa de aço por volume de concreto a única variação significativa observada foi para a resistência do concreto de 35 para 40 MPa, como mostra o Gráfico 28, a qual pode também ser analisada de acordo com o índice de esbeltez.

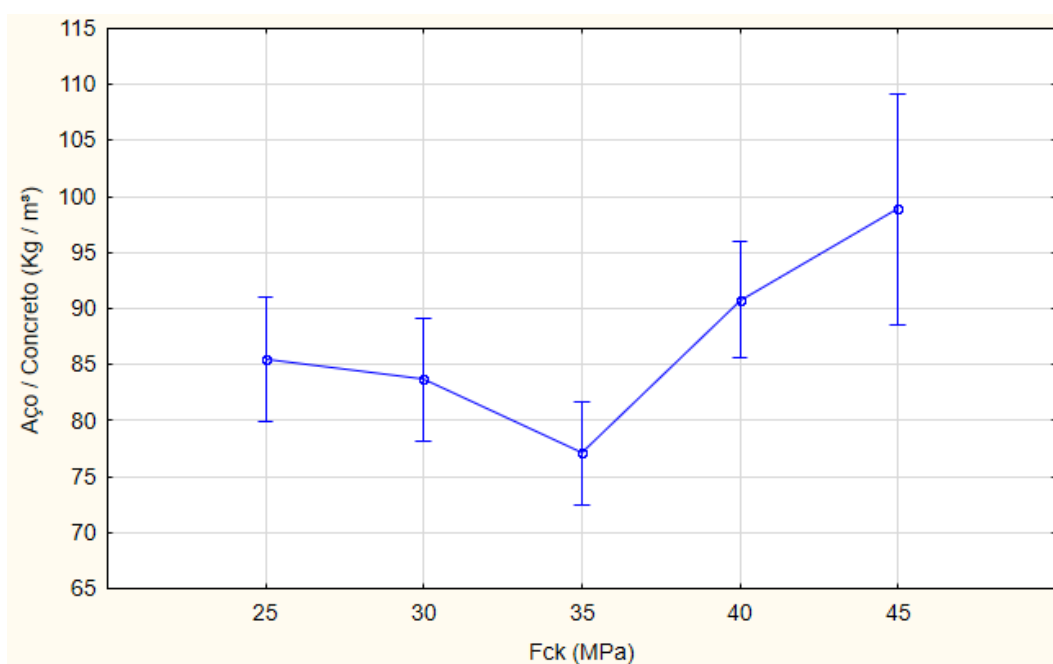


Gráfico 28: Teste de Tukey para um intervalo de confiança de 95% para consumo de aço em relação ao consumo de concreto, variando o f_{CK}
Fonte: Autor, 2018.

Naturalmente espera-se que aumentando o f_{ck} do concreto em uma obra, note-se uma diminuição no consumo de concreto. Para o caso em questão, devido as diversas variáveis envolvidas e por não se tratar de um mesmo projeto, observou-se uma variação nesse padrão.

Como verificado a partir do teste ANOVA para todos os indicadores estudados existe uma variação significativa quando alterado o f_{ck} , entretanto para cada um desses indicadores a variação aconteceu em diferentes valores característicos, como pode ser observado nos gráficos obtidos a partir do teste de *Tukey*. Sendo assim, para indicadores de referência pode-se utilizar a Tabela 4:

| f_{ck} (Mpa) | | |
|--|--------------------|------------------------|
| | 25, 30 e 35 | 40 e 45 |
| Índices de aço (kg / m ²) | 15 - 23 | 24 - 37 |
| Índices de Concreto (m ³ / m ²) | 0,21 - 0,265 | 0,27 - 0,36 |
| | 25, 30 e 35 | 25, 40 e 45 |
| Índices de Fôrma (m ² / m ²) | 1,89 - 2,2 | 1,97 - 2,6 |
| | 25, 30 e 35 | 25, 30, 40 e 45 |
| Massa de aço/Volume de Concreto (kg/ m ³) | 72 - 92 | 78 - 109 |

Tabela 4: Índices médios em relação ao número de pavimentos

Fonte: Autor, 2018.

Na pesquisa de Tubino (2004), realizada a partir da análise de edifícios do Paraná, Rio Grande do Sul e Rio Grande do Norte, onde a NBR 6118 utilizada foi a de 2003, no qual os valores de f_{ck} variaram de 15 a 21 MPa, os valores médios para índices de aço variaram entre 16 e 20 kg/m². Ainda, Tubino (2004) encontrou valores onde o índice de aço tende a diminuir conforme aumenta o valor do f_{ck} , entretanto esta variação não se mostrou significativa na análise estatística.

Considerando o fator resistência característica a compressão do concreto, para todos os índices estudados e analisando-se os resultados a partir do teste de *Tukey*, pode-se verificar que mesmo existindo variação entre os resultados, esta só foi significativa quando o f_{ck} variou de 35 para 40 Mpa, como já era esperado analisando-se os Gráfico 21 a Gráfico 24. Pode se considerar que a mudança significativa de consumo para obras com f_{ck} acima de 35 MPa se dá devido a essas edificações apresentarem índices de esbeltez e números de pavimentos significativamente elevados quando comparados com obras edificadas com f_{ck} igual ou inferior a 35 MPa. Ainda as obras com resistência a compressão característica do

concreto igual a 45 MPa não apresentam uma quantidade significativa de amostras, por se tratarem de apenas dois exemplares.

Outro fator que apresenta relevância nos valores encontrados é a não utilização de dois valores de f_{ck} em um mesmo edifício. De acordo com a NBR 6118:2014 pode-se reduzir a resistência característica a compressão do concreto conforme aumenta-se a altura do edifício, entretanto em nenhuma das obras analisadas este fator foi considerado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo avaliar os indicadores de projeto considerando diferentes variáveis, na qual as informações foram obtidas a partir de projetos estruturais realizados para edificações do município de Balneário Camboriú. Sendo assim, pode-se obter as seguintes considerações:

A relação volume de concreto por área construída da edificação compõe o índice de concreto, para este a maior amplitude de resultados foi de 0,2 a 0,36 m³/m². Esses valores podem ser utilizados como referência, possibilitando um melhor ajuste de acordo com as características da edificação que se queira avaliar. Deve-se lembrar que quanto menor for o resultado deste indicador, maior o grau de otimização do projeto estrutural, uma vez que o concreto ocupa grande espaço nas edificações, reduzindo conseqüentemente as áreas úteis.

Já o índice de aço relaciona a massa de aço por área edificada, buscando verificar o sub ou superdimensionamento das estruturas. Para o presente estudo foram encontrados valores de referência entre 15 a 37 kg/m², valores os quais podem apresentar variações quando analisadas as estruturas por diferentes características como o tipo de laje, número de pavimentos da edificação ou índice de esbeltez, por exemplo.

Para edifícios que apresentam estruturas mais complexas admite-se que os valores de consumo possam chegar próximos aos limites superiores do indicador. Nos casos em que esta complexidade é menor, busca-se manter os consumos próximos ao meio e limite inferior do intervalo.

O índice de fôrma apresenta um fator também bastante importante, tanto para os custos da obra como para a sustentabilidade. A reutilização das fôrmas está diretamente ligada com o material pelo qual elas são constituídas e a forma com que as mesmas são manuseadas. Para o presente trabalho encontrou-se valores médios de 1,89 a 2,6 m² de fôrma por m² de edificação, sendo este um valor elevado, entretanto quando considerado o reaproveitamento das fôrmas este indicador reduz significativamente seu valor. Vale lembrar que projetos estruturais bem planejados podem facilitar o reaproveitamento das fôrmas, diminuindo gastos e consumos desnecessários.

Assim como os demais indicadores a relação entre a massa de aço por volume de concreto pode ser utilizada para estimativas de custo e otimização de projetos, onde os valores encontrados no presente trabalho para estes indicadores variaram de 72 a 109 kg/m³. Botelho e Marchetti (2004) apresentaram valores de referência em torno de 100 kg/m³, logo nota-se que, mesmo com as novas recomendações no dimensionamento e execução de estruturas em concreto armado, os valores apresentados para este índice encontram-se semelhantes.

Para os índices de fôrma, concreto e aço, percebe-se que existe um padrão, onde nota-se que edifícios com esbeltez superior a 6 possuem consumos estatisticamente superiores a edifícios de menor esbeltez. Já quando comparado o consumo de aço em relação ao consumo de concreto nota-se que apenas existe diferença significativa entre os edifícios de pequena para alta esbeltez.

Notou-se que com o aumento da resistência característica a compressão do concreto até o valor de 35 MPa ocorreu uma diminuição dos consumos, tanto de aço, como de concreto e de fôrma, já, quando os valores superaram 35 MPa esses consumos apresentaram um aumento significativo. Quando analisadas as obras de acordo com o número de pavimentos e índice de esbeltez, observou-se que ao aumentar a altura e esbeltez dos edifícios ocorreu um aumento também dos consumos de materiais estruturais, sendo este aumento mais significativo em obras com maior índice de esbeltez. Por fim, quando analisados os indicadores em relação ao tipo de laje em que as obras foram edificadas, observou-se que, apesar de obras em lajes nervuradas apresentarem consumos superiores as lajes maciças quando analisadas por média, não existe diferença estatística entre esses consumos.

As Tabela 1 a Tabela 4 apresentadas no item 4, possibilitam uma comparação entre os diversos indicadores levantados. Cabe ao projetista em parceria com os demais envolvidos com a obra, eleger aqueles valores mais significativos que apontam para o sistema mais adequado para a sua realidade.

Vale lembrar que os indicadores encontrados estão ligados aos critérios utilizados pelo engenheiro responsável pelas obras analisadas, logo podem existir divergências de valores quando se trata de outras edificações, projetadas por outros profissionais e com condições diferentes. Entretanto, por se tratar de valores atualizados, podem ser utilizados como subsídio para decisões nas fases do processo de projeto.

Os índices servem tanto como base ao engenheiro calculista, quanto à empresa empreendedora, a qual pode utilizar os valores para analisar a viabilidade do empreendimento a partir do projeto arquitetônico. Ainda, os mesmos podem ser utilizados pela empresa construtora, a qual pode ter um controle dos consumos de materiais na edificação.

Os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados por estudantes e profissionais que necessitam de um levantamento quantitativo rápido e de boa precisão, para edifícios de diferentes portes.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os indicadores estruturais servem como auxílio para diversos profissionais, principalmente em seus primeiros projetos, logo recomenda-se para trabalhos futuros o estudo de:

- Indicadores de projeto para edificações de outras regiões;
- Indicadores de projeto por elementos estruturais, lajes, vigas e pilar;
- Indicadores de projeto para edificações em concreto protendido;
- Indicadores de projeto para edificações de diferentes portes;
- Considerar a influência de parâmetros combinados;
- Considerar a influência de índices combinados; e
- Analisar a partir de quais valores existe a mudança de consumos, considerando assim outros intervalos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

BARBETTA, Pedro Alberto, REIS, Marcelo Menezes, BORNIA, Antonio Cezar. Estatística: para cursos de engenharia e informática. – 3ª.ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. Notas de aula da disciplina de Estruturas de concreto I na Universidade Estadual Paulista. Disponível em: Acesso em: 05 mai. 2018.

BITTENCOURT, T. N. et al. PEF 2303 - Estruturas de Concreto 1. São Paulo: USP, 2015. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/pef2303/pef2303_concepcao%20t.pdf>. Acesso em: 05 mai .2018.

BORGES, A. C. L., et al. **Análise do comportamento estrutural de um edifício esbelto de 42 pavimentos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Recife. Anais. Recife: IBRACON, 2009. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/2354326/1270629065/name/Edifícios%2BAltos_51CB_C0250.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2018.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. Concreto armado, eu te amo, Volume 2. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014** / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. – 4ª ed. São Carlos: EdUFSCar, 2017. 415 p.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: volume 2** / Roberto Chust Carvalho, Carvalho, Libânio Miranda Pinheiro. 2ª edição -São Paulo: Pini, 2013. 617 p.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação** / João Carlos Teatini de Souza Clímaco – 2ª edição. Revisada, 1ª reimpressão. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013. 410 p.

CERCI JR, Amantino. **Ações para melhoria na qualidade do projeto estrutural**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado / Francisco Paulo Graziano**. – São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2005. (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras – ISBN 85-86872-06-7)

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social** / Antonio Carlos Gil. – 6ª ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

JABLONSKI, Luana. **Índices e taxas de consumo de materiais em função da tipologia estrutural**. 2013. 72f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal do Pampa – Alegrete, 2013.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado** – Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini, 2007.

KUSTER, V.K.J.P. **Estudo do comportamento estrutural de prédios de concreto armado contraventados por núcleo rígido tendo em vista o esforço de torção**

originado pela ação do vento. 2014.113f. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4698/6140.pdf?sequence=1&isAll owed=y>>. Acesso em: 19 mai, 2018.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MONTGOMERY, Douglas C., RUNGER, George C., Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução e revisão técnica Verônica Calado. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MORAIS, Wemerson Gomes de. & MORAIS, Wendeson Gomes de. *Comparativo técnico financeiro das lajes nervuradas X lajes maciças.* 2015. 30f. Artigo de Graduação. Universidade Católica de Brasília. Brasília. 2015.

NEVILLE, A. M., Tecnologia do Concreto / A. M. Neville, J. J. Brooks; tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 2ª.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Tarcisio Dorn de; NEUMANN, Marcio André; WIECZOREK, Lucas Gemelli. Verticalização urbana: um quantitativo de edificações verticais na Rua do Comércio em Ijuí – RS. Passo Fundo, v. 10, p. 86 – 94. 2018.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construção**, São Paulo. V. n. 53 p. 14-23, jan. / mar., 2009

PINHEIRO, Marco Antônio. **Análise estrutural de edificações de pequeno porte - estudo de caso** / Marco Antônio Pinheiro. -São Carlos : UFSCar, 2008. 147 f.

SANTOS, Ramon Delfino dos. **Os impactos econômicos das concessões de crédito com recursos do SBPE e BNDES no setor da construção civil no Brasil**

(2002 – 2016). 2017. 54 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Ciências Econômicas, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, 2017.

SCADELAI, M.A. (2004). **Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003**. São Carlos, 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVA, C. (2011). **Determinação de índices de consumo para diferentes sistemas estruturais em concreto armado para edifícios residenciais na Região de Criciúma**. Criciúma, 2011. 43 p. Monografia (Pós-graduação) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC.

SOUZA, E. (2003) **Índices médios para consumo para a elaboração de projetos em concreto armado**. Londrina, 2003. 36p. Monografia (Disciplina TCC) – Universidade Estadual de Londrina – UEL.

SÜSSEKIND, José Carlos. Curso de Análise Estrutural: Estruturas Isostáticas. Vol. I. 11ª ed. São Paulo, Globo, 1991.

TUBINO, R. (2004). **Sistema de Indicadores de Projeto**. Goiânia, 2004. 22p. Programa de melhoria da comunidade da construção – Projeto.

VIEIRA, Otávio de Borba. Fibra de carbono no reforço ao cisalhamento em vigas de concreto. **Concreto & Construção**, São Paulo. V. n. 53 p. 14-23, jan. / mar., 2009.

YAMURA, Fábio Kikuchi. Indicadores de Consumo para Projetos em Concreto Armado [online]. Disponível em: https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=indicadores-de-consumo-para-projetos-em-concreto-armado-fabio-kikuchi Acesso em 1 set. 2018.

APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS ANALISADAS

| Obra | Tipo de Laje | Índice de esbeltez | Nº de Pavimentos | Ano | f_{ck} (Mpa) | Área (m²) |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Amostra 1 | Nerv. EPS | 2,68 | 10 | 2017 | 25 | 1984,17 |
| Amostra 2 | Nerv. EPS | 10,86 | 43 | 2014 | 40 | 12487,31 |
| Amostra 3 | Nerv. EPS | 4,84 | 28 | 2017 | 35 | 11331,18 |
| Amostra 4 | Nerv. EPS | 3,04 | 15 | 2015 | 30 | 5585,43 |
| Amostra 5 | Maciça | 8,16 | 23 | 2014 | 45 | 6472,80 |
| Amostra 6 | Nerv. EPS | 1,44 | 8 | 2016 | 35 | 2821,02 |
| Amostra 7 | Nerv. EPS | 3,32 | 16 | 2015 | 25 | 5318,16 |
| Amostra 8 | Maciça | 1,29 | 8 | 2016 | 35 | 5661,98 |
| Amostra 9 | Maciça | 5,65 | 28 | 2014 | 30 | 11370,69 |
| Amostra 10 | Nerv. EPS | 1,69 | 8 | 2015 | 35 | 3195,10 |
| Amostra 11 | Maciça | 2,38 | 14 | 2014 | 30 | 4380,65 |
| Amostra 12 | Nerv. EPS | 4,69 | 16 | 2014 | 25 | 4363,27 |
| Amostra 13 | Nerv. EPS | 2,49 | 12 | 2014 | 25 | 3895,31 |
| Amostra 14 | Nerv. EPS | 9,67 | 44 | 2014 | 40 | 22270,26 |
| Amostra 15 | Nerv. EPS | 3,31 | 18 | 2016 | 25 | 9529,55 |
| Amostra 16 | Nerv. EPS | 8,77 | 38 | 2014 | 40 | 20920,04 |
| Amostra 17 | Maciça | 2,57 | 17 | 2015 | 30 | 9971,02 |
| Amostra 18 | Maciça | 1,71 | 8 | 2015 | 35 | 5880,64 |
| Amostra 19 | Nerv. EPS | 9,1 | 26 | 2014 | 40 | 11689,18 |
| Amostra 20 | Nerv. EPS | 1,29 | 8 | 2014 | 25 | 3347,47 |
| Amostra 21 | Maciça | 1,66 | 8 | 2015 | 35 | 3098,94 |
| Amostra 22 | Nerv. EPS | 2,56 | 14 | 2014 | 30 | 5655,86 |
| Amostra 23 | Maciça | 5,25 | 23 | 2015 | 30 | 8138,22 |
| Amostra 24 | Nerv. EPS | 1,49 | 8 | 2017 | 35 | 2755,55 |
| Amostra 25 | Maciça | 6,35 | 15 | 2016 | 40 | 5136,63 |
| Amostra 26 | Nerv. EPS | 3,49 | 17 | 2014 | 30 | 5274,88 |
| Amostra 27 | Nerv. EPS | 8,94 | 31 | 2016 | 40 | 6861,71 |
| Amostra 28 | Nerv. EPS | 6,91 | 27 | 2014 | 40 | 5783,21 |
| Amostra 29 | Nerv. EPS | 9,18 | 30 | 2016 | 40 | 15311,68 |
| Amostra 30 | Maciça | 1,11 | 7 | 2014 | 25 | 2639,98 |
| Amostra 31 | Maciça | 3,49 | 16 | 2016 | 35 | 6451,77 |
| Amostra 32 | Nerv. EPS | 3,42 | 13 | 2017 | 35 | 5315,77 |

| | | | | | | |
|-------------------|-----------|------|----|------|----|----------|
| Amostra 33 | Nerv. EPS | 9,32 | 35 | 2015 | 45 | 10196,20 |
| Amostra 34 | Nerv. EPS | 5,93 | 22 | 2017 | 35 | 4941,81 |

Tabela 5: Nome das obras estudadas e características relevantes.
Fonte: Autor, 2018.

APÊNDICE B – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE ESBELTEZ

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 558,426 | 2 | 279,213 | 24,185 | 0,00000056 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 346,343 | 30 | 11,545 | | | |
| Total | 904,768 | 32 | | | | |

Tabela 6: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m²) em relação ao Índice e Esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,612 | 2 | 0,306 | 13,513 | 0,00006542 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 0,679 | 30 | 0,023 | | | |
| Total | 1,291 | 32 | | | | |

Tabela 7: ANOVA Fator único para o Índice de fôrma (m²/m²) em relação ao Índice e Esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,028 | 2 | 0,014 | 18,635 | 0,00000549 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 0,022 | 30 | 0,001 | | | |
| Total | 0,050 | 32 | | | | |

Tabela 8: ANOVA Fator único para o Índice de concreto (m³/m²) em relação ao Índice e Esbeltez
Fonte: Autor, 2018.

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 877,135 | 2 | 438,568 | 7,147 | 0,00289542 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 1840,974 | 30 | 61,366 | | | |
| Total | 2718,110 | 32 | | | | |

Tabela 9: ANOVA Fator único para o Índice de aço / concreto (kg/m³) em relação ao Índice e Esbeltez

Fonte: Autor, 2018.

Na qual:

SQ é a soma dos quadrados;

gl é o tamanho amostral;

MQ são as variâncias também chamadas de quadrados médios.

APÊNDICE C – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE
PAVIMENTOS

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 400,225 | 2 | 200,113 | 11,899 | 0,00015683 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 504,543 | 30 | 16,818 | | | |
| Total | 904,768 | 32 | | | | |

Tabela 10: ANOVA Fator único para o Índice de aço (kg/m²) em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,360 | 2 | 0,180 | 5,807 | 0,00738398 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 0,931 | 30 | 0,031 | | | |
| Total | 1,291 | 32 | | | | |

Tabela 11: ANOVA Fator único para o Índice de fôrma (m²/m²) em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,015 | 2 | 0,007 | 6,334 | 0,00507363 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 0,035 | 30 | 0,001 | | | |
| Total | 0,050 | 32 | | | | |

Tabela 12: ANOVA Fator único para o Índice de concreto (m³/m²) em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 1076,808 | 2 | 538,404 | 9,841 | 0,00051739 | 3,316 |
| Dentro dos grupos | 1641,302 | 30 | 54,710 | | | |
| Total | 2718,110 | 32 | | | | |

Tabela 13: ANOVA Fator único para o Índice de aço / concreto (kg/m³) em relação ao Número de Pavimentos
Fonte: Autor, 2018

APÊNDICE D – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO TIPO DE LAJE

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 61,864 | 1 | 61,864 | 2,275 | 0,14158407 | 4,160 |
| Dentro dos grupos | 842,905 | 31 | 27,190 | | | |
| Total | 904,768 | 32 | | | | |

Tabela 14: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m²) em relação ao Tipo de Laje
Fonte: Autor, 2018.

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,076 | 1 | 0,076 | 1,944 | 0,17316188 | 4,160 |
| Dentro dos grupos | 1,215 | 31 | 0,039 | | | |
| Total | 1,291 | 32 | | | | |

Tabela 15: ANOVA Fator simples para o Índice de fôrma (m²/m²) em relação ao Tipo de Laje
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,001 | 1 | 0,001 | 0,765 | 0,38836211 | 4,160 |
| Dentro dos grupos | 0,049 | 31 | 0,002 | | | |
| Total | 0,050 | 32 | | | | |

Tabela 16: ANOVA Fator simples para o Índice de concreto (m³/m²) em relação ao Tipo de Laje
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 304,468 | 1 | 304,468 | 3,910 | 0,05693569 | 4,160 |
| Dentro dos grupos | 2413,642 | 31 | 77,859 | | | |
| Total | 2718,110 | 32 | | | | |

Tabela 17: ANOVA Fator simples para o Índice de aço / concreto (kg/m³) em relação ao Tipo de Laje
Fonte: Autor, 2018

APÊNDICE E – ANÁLISE ESTATÍSTICA EM RELAÇÃO AO F_{CK}

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 678,922 | 4 | 169,731 | 19,058 | 0,000000088 | 2,701 |
| Dentro dos grupos | 258,281 | 29 | 8,906 | | | |
| Total | 937,203 | 33 | | | | |

Tabela 18: ANOVA Fator simples para o Índice de aço (kg/m²) em relação ao f_{ck}
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,622 | 4 | 0,155 | 6,685 | 0,00061102 | 2,701 |
| Dentro dos grupos | 0,674 | 29 | 0,023 | | | |
| Total | 1,296 | 33 | | | | |

Tabela 19: ANOVA Fator simples para o Índice de fôrma (m²/m²) em relação ao f_{ck}
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,033 | 4 | 0,008 | 12,502 | 0,00000497 | 2,701 |
| Dentro dos grupos | 0,019 | 29 | 0,001 | | | |
| Total | 0,052 | 33 | | | | |

Tabela 20: ANOVA Fator simples para o Índice de concreto (m³/m²) em relação ao f_{ck}
Fonte: Autor, 2018

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 1287,989 | 4 | 321,997 | 6,311 | 0,00088287 | 2,701 |
| Dentro dos grupos | 1479,645 | 29 | 51,022 | | | |
| Total | 2767,634 | 33 | | | | |

Tabela 21: ANOVA Fator simples para o Índice de aço / concreto (kg/m³) em relação ao f_{ck}
Fonte: Autor, 2018

