

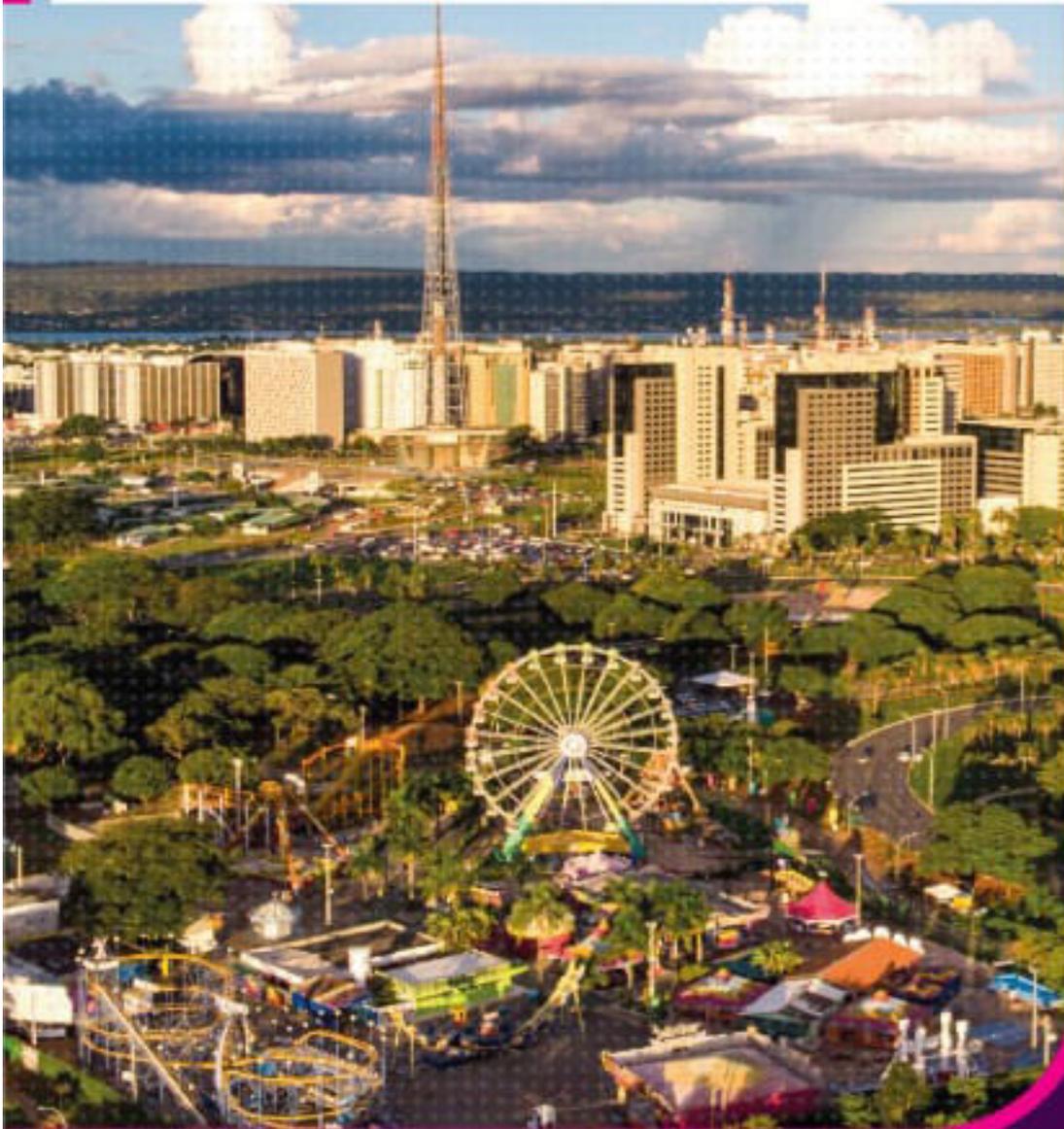
CEUB

EDUCAÇÃO SUPERIOR

ISSN: 2763-7298

REVISTA DA ARQUITETURA:

CIDADE E HABITAÇÃO



Execução de um projeto estrutural de edificação em concretos de diferentes resistências à compressão: um estudo de caso comparativo de custos com base no uso do software Eberick

Case study with comparative cost for the execution of a structural project for building in concrete of different compression resistance using Eberick software

Wanderson de Andrade Simplicio

VOLUME 2 - NÚMERO 1 - JAN./JUN. 2022

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
A ADMISSÃO DA REURB NO DISTRITO FEDERAL: LEI COMPLEMENTAR Nº 986, DE 2021, E SEU DECRETO REGULAMENTADOR	11
Fabiana Ferrari Dias	
A GENTRIFICAÇÃO NA MALHA CICLOVIÁRIA DO DISTRITO FEDERAL	23
Daniele Sales Valentini e Leonardo Pierre Firme	
ESTUDO DA ERGONOMIA EM ATELIÊS DE ARQUITETURA E EM HOME OFFICE DURANTE E PÓS-PANDEMIA COVID-19	39
Joyce de Araujo Mendonça	
EXECUÇÃO DE UM PROJETO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETOS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO DE CUSTOS COM BASE NO USO DO SOFTWARE EBERICK	49
Wanderson de Andrade Simplicio	
HABITAÇÕES COLETIVAS PARA PESSOAS PORTADORAS DE CÂNCER	61
João Renato Carneiro de Aguiar e Eliete de Pinho Araujo	
OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: ANÁLISE DE TIPOS, MODELOS, EFICIÊNCIA E ESTUDO DE CASO	71
Bruna Montarroyos Brito	
O DIREITO DE CONSTRUIR E SEUS LIMITES	83
Joyce de Araujo Mendonça	
O DIREITO DO USO E OCUPAÇÃO DO SUBSOLO EM PRAÇA PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DA PRAÇA DA ESTAÇÃO DE METRÔ CENTRAL ÁGUAS CLARAS, DISTRITO FEDERAL	90
Rodrigo Bonna Nogueira	
PLANEJAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS PROFISSIONAIS EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	103
Wanderson de Andrade Simplicio	
PRIMÓRDIOS DA CASA RURAL NA ILHA DE SANTA CATARINA E SUA EVOLUÇÃO NA GLOBALIZAÇÃO	110
Milton Luz da Conceição	

Execução de um projeto estrutural de edificação em concretos de diferentes resistências à compressão: um estudo de caso comparativo de custos com base no uso do software Eberick *

Case study with comparative cost for the execution of a structural project for building in concrete of different compression resistance using Eberick software

Wanderson de Andrade Simplicio**

Resumo

Este artigo constitui um estudo de caso com o objetivo de comparar o custo para a execução de um projeto estrutural de edificação em concretos de diferentes resistências à compressão por meio do uso de software Eberick. Para análise, foi utilizado o projeto de um edifício de 10 pavimentos, com área total de 3094,79m², para concretos com resistência à compressão de C25, C30, C35, C40, C45 e C50. O programa AltoQi Eberick é um sistema destinado ao projeto de edificações em concreto armado, que dimensiona os elementos estruturais baseados nos limites de resistência à compressão do concreto prescritos pela norma NBR 6118:2014 e que faz parte dos softwares com plataforma BIM (*Building Information Modeling*) que é um processo de criação do modelo virtual com informações técnicas da edificação. Ele permite a colaboração de diferentes profissionais durante o estudo de viabilidade técnica, projeto, planejamento, execução e operação do edifício. O software Eberick possui diversas configurações que permitem ao usuário personalizar o processo de dimensionamento dos elementos estruturais de concreto armado bem como emite diversos relatórios, sendo um deles o de quantitativos de concreto, aço e formas com seus respectivos custos para execução. Após o dimensionamento, foram atualizados os custos dos insumos, material e mão de obra, no software, utilizando como referência o Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, tabela sem desoneração para região do Distrito Federal. Assim, conclui-se que há outras variáveis quanto à economicidade, além do aumento da resistência à compressão do concreto, ea partir de uma determinada alteração da resistência à compressão, a execução deixa de ser viável economicamente.

Palavras-chave: tecnologia; estrutura; projeto; edificação; viabilidade econômica.

* Recebido em 15/03/2023
Aprovado em 28/03/2023

** Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Objetivo e em Tecnologia em Planejamento e Construção de Edifícios pelo CEFET-GO - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Possui pós-graduação em Estruturas e Fundações pelo IPOG - Instituto de Pós-graduação e Graduação e Administração Pública e Gerência de Cidades pela UNINTER - Centro Universitário Internacional. Mestrando em Arquitetura e Urbanismo no CEUB - Centro de Ensino Unificado de Brasília. Servidor público na área de Infraestrutura Urbana do Departamento de Estradas de Rodagens do Distrito Federal.

Abstract

This article constitutes a case study with the objective of comparing the cost for the execution of a structural building project in concrete of different compressive strengths through the use of Eberick software. For analysis, the design of a building with 10 floors was used, with a total area of 3094.79m², for concrete with compressive strength of C25, C30, C35, C40, C45 and C50. The AltoQi Eberick program is a system designed for the design of buildings in reinforced concrete, which sizes the structural elements based on the compressive strength limits of concrete prescribed by the NBR 6118:2014 standard and which is part of the software with the BIM platform (Building Information Modeling) which is a process of creating a virtual model with technical information about the building. It allows the collaboration of different professionals during the technical feasibility study, design, planning, execution and operation of the building. The Eberick software has several settings that allow the user to customize the design process of reinforced concrete structural elements, as well as issuing several reports, one of which is the quantity of concrete, steel and forms with their respective costs for execution. After sizing, the costs of inputs, material and labor were updated in the software, using as a reference the National System of Surveys of Costs and Civil Construction Indexes - SINAPI, a table without exemption for the Federal District region. Thus, it is concluded that there are other variables in terms of economy, in addition to the increase in the compressive strength of the concrete, and from a certain change in the compressive strength, the execution ceases to be economically viable.

Keywords: technology; structure; project; edification; economic viability.

1 Introdução

O dimensionamento das peças estruturais com a escolha dos materiais a serem utilizados reflete, diretamente, no custo da execução da obra, pois os projetos estruturais representam em média 20% do

total da obra, podendo viabilizar, ou não, economicamente um empreendimento.

A tecnologia permite a produção de concretos de maiores resistências, o que, por sua vez, implica, cada vez mais, o uso de concretos mais resistentes.

Há várias vantagens em relação ao uso de concretos de alta resistência, como a otimização de espaços internos nas edificações, proporcionados pela redução das seções de concreto, diminuição da área de aço necessária para a estrutura e aumento da durabilidade. Porém, o comparativo direto do custo do metro cúbico dos concretos faz com que haja, ainda, bastante receio por parte das construtoras na sua aplicação.

Assim, é necessário um estudo da variação da resistência à compressão do concreto (f_{ck}), para dimensionamento de um projeto estrutural, comparando-se os custos da estrutura dos pilares, vigas e lajes para diferentes classes de concreto.

O propósito deste trabalho é, por meio de um modelo simplificado, com uso do software Eberick, verificar as variações no custo da estrutura, quando dimensionada com concretos de diferentes resistências à compressão. Conforme a NBR 6118:2014, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento regulamenta concretos de resistência de 25Mpa a 50Mpa. Nesse sentido, esta foi a margem utilizada como parâmetros no dimensionamento da estrutura.

O trabalho foi delimitado a estruturas em concreto armado, com vãos de vigas convencionais (três a quatro metros), 10 pavimentos, carga de utilização de dormitórios em hotéis (1KN/m²), pé direito de 272cm, não incluso escada e fundações, construído em Brasília.

O projeto estrutural é um projeto complementar ao arquitetônico, e, no Brasil, as estruturas mais comuns para a construção civil são: concreto armado, estrutura metálica e madeira a depender do estado. Porém, muitos projetistas desconhecem a influência da variação de custo a depender da resistência e da característica do concreto à compressão.

A diferença de custo para as diferentes resistências e características do concreto à compressão requer um estudo preliminar para a elaboração do projeto estrutural.

É na fase da concepção de projeto que se define o custo da edificação, o que revela a importância do estudo dos materiais a serem utilizados, como a definição do concreto.

O objetivo da pesquisa é demonstrar o comparativo de custo para a execução de uma estrutura em concreto armado com diferentes resistências à compressão.

O estudo comparativo para diversas resistências à compressão do concreto definirá o custo para execução da estrutura. Assim, para o desenvolvimento do projeto, será necessário dimensionar as peças estruturais e precificá-las, considerando-se as diferentes resistências características do concreto à compressão.

Partindo da premissa de que há diversas tecnologias para as estruturas de concreto, e que a maioria das construções são projetadas com métodos similares como vigas, pilares e lajes, foi considerado o programa Eberick para o desenvolvimento do projeto, dimensionando a estruturas para diferentes resistências à compressão em que será demonstrada a alteração no custo da estrutura, à medida que a resistência característica do concreto é modificada.

A análise poderá demonstrar que, conforme aumenta a resistência à compressão do concreto, o valor da estrutura tende a reduzir, devido à redução do aço e dimensões das peças estruturais. Nesse sentido, em um certo ponto, o aumento da resistência à compressão poderá aumentar o custo da estrutura, visto não ser mais possível reduzir a armadura bem como a seção das peças estruturais.

Para este estudo, primeiramente, foi realizada a pesquisa bibliográfica, para aprofundamento do tema, para o estudo das considerações relativas ao dimensionamento no software escolhido para o cálculo. Na segunda etapa, foram determinados os parâmetros para cálculo necessários ao dimensionamento da estrutura. Foram definidas as ações de carregamentos, parâmetros de não linearidade física, reduções de torção, plastificação e redistribuições de esforços. Foram, também, definidos dados relacionados à durabilidade da estrutura classe de agressividade, cobrimentos e abertura máxima de fissuras, dados necessários para a determinação dos esforços de vento, entre eles a velocidade característica e os coeficientes de arrasto.

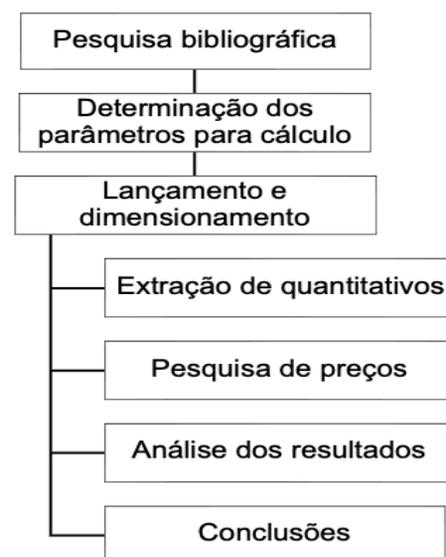
Em seguida, foi realizado o lançamento e o dimensionamento, que envolveram a inclusão do modelo proposto no software escolhido, com 10 pavimentos. Também foi feita a verificação dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) nos estados limites últimos e de serviço, para estruturas dimensionadas com apenas um fck, e para algumas combinações de resistências propostas.

Na etapa de extração de quantitativos, o volume de concreto, a área de fôrmas e o peso de aço foram quantificados para cada situação de cálculo conforme o fck lançado do software. Na etapa de pesquisa de preços, foram determinados os valores do metro cúbico do concreto, para cada resistência estudada, assim como do metro quadrado de forma de madeira e do quilo de aço pela tabela SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

De posse dos resultados adquiridos, foi possível determinar o custo da estrutura para cada um dos modelos propostos, e posteriormente, fazer uma análise dos resultados, por meio da comparação dos custos da estrutura como um todo, e dos elementos que a compõem, com pilares, vigas e lajes.

Por fim, nas conclusões é descrita qual a influência da alteração de fck para o custo da estrutura, dos pilares, vigas e lajes, para um edifício comercial de 10 pavimentos. Na figura 1, demonstra-se o passo a passo do desenvolvimento para este estudo.

Figura 1 – etapas da pesquisa



Fonte: elaborada pelo autor.

Como a NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, em seu item 1.2, informa que essa norma se aplica às estruturas de concretos normais, identificados por massa específica seca maior do que 2 000 kg/m³, não excedendo 2 800 kg/m³, do grupo I de resistência (C20 a C50) e do grupo II de resistência (C55 a C90), conforme classificação da ABNT NBR 8953, foram utilizados os concretos com resistência à compressão de C25, C30, C35, C40, C45 e C50.

É importante que o arquiteto, por meio da criação da estrutura, elabore um arranjo estrutural antes de passar à etapa de pré-dimensionamento, definindo geometria, posição e interligação dos elementos estruturais. Na sequência, a concepção do projeto arquitetônico levará em conta a estrutura pré-dimensionada, gerando um projeto consistente, o que, também, facilita a elaboração posterior dos projetos técnicos de engenharia, em particular o projeto estrutural.

2 Desenvolvimento

O concreto armado é sem dúvida o material de construção mais usado nas estruturas dos edifícios no Brasil, sobrepondo-se ao aço e à madeira, não apenas por apresentar menor custo, mas também, conforme Ruschel (1974), por apresentar qualidades inigualáveis como material de construção.

Alta resistência, boa trabalhabilidade, estrutura monolíticas, técnicas de execução dominadas em todo o país, material durável, durabilidade e resistência ao fogo, possibilidade de utilização da pré-moldagem para maior rapidez, facilidade de execução e resistência a choques e vibrações são algumas das qualidades e vantagens do concreto armado apresentadas por Carvalho e Figueiredo Filho (2007).

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007), a principal característica do concreto é sua resistência à compressão. Porém, o concreto simples, sem adição de aço, não resiste bem às tensões de tração, correspondendo, aproximadamente, a um décimo da resistência à compressão. Para sanar este problema, surge, então, o concreto armado. Com a introdução de barras de aço no seu interior, em termos gerais, o aço resiste às tensões de tração. E, por sua

vez, o concreto resiste aos esforços de compressão. Isto é possível devido à aderência entre o concreto e a armadura, pela proximidade dos coeficientes de dilatação dos dois materiais e pela ausência de oxidação das armaduras quando o concreto possuir uma quantidade adequada de cimento e for adequadamente adensado (RUSCHEL, 1974).

O concreto armado é o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior. Em virtude da baixa resistência à tração do concreto (cerca de 10% da resistência à compressão), as barras de aço cumprem a função de absorver os esforços de tração na estrutura. As barras de aço, também, servem para aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas.

O cálculo de uma estrutura de concreto é feito com base no projeto arquitetônico da obra e no valor de algumas variáveis, como a resistência do concreto que será utilizado na estrutura. Portanto, a resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) é um dos dados utilizados no cálculo estrutural. Sua unidade de medida é o MPa (Mega Pascal). Pascal é a pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, perpendicular à direção da força. Mega Pascal (MPa) = 1 milhão de Pascal = 10,1972 Kgf/cm².

O f_{ck} é definido pela ABNT NBR 6.118:2014 como a resistência característica do concreto à compressão. É uma variável de grande importância para a correta elaboração de projetos estruturais.

Conforme essa norma, quando não for especificada a data, o f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias após à concretagem. Além do f_{ck} , é utilizado também em projetos de dosagem de concreto o f_{cj} , que se refere à resistência do concreto à compressão em j dias de idade.

O valor dessa resistência (f_{ck}) é um dado importante e será necessário em diversas etapas da obra, como para cotar os preços do concreto juntamente ao mercado, pois o valor do metro cúbico de concreto varia conforme a resistência (f_{ck}).

Os atributos mais importantes do concreto são, além da resistência à compressão, a durabilidade e a permeabilidade, contudo, neste trabalho, será

analisada com mais detalhe, apenas, a resistência à compressão (fck). Segundo Ruschel (1974, p. 3), “o aumento da resistência do concreto se processa em função do tempo de uma maneira assintótica, podendo se dizer que a máxima resistência somente é alcançada após vários anos de idade.”

Conforme Neville (1997), a resistência de um concreto a certa idade, curado em água a uma temperatura estabelecida, depende, apenas, de dois fatores: a relação água/cimento e o grau de adensamento. Neville (1997, p. 197) afirma que “a presença de vazios diminui muito a resistência do concreto: 5% podem reduzir a resistência em até 30%, e mesmo 2% de vazios podem resultar em uma perda de 10% de resistência”. Porém, Mehta e Monteiro (1994, p. 46) destacam, ainda, que:

[...] fatores como adensamento, condições de cura (grau de hidratação do cimento) dimensões e mineralogia do agregado, aditivos, geometria e condições de umidade do corpo de prova, tipo de tensão, e velocidade de carregamento podem também ter um efeito importante sobre a resistência. (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 46).

Os vazios no concreto são função dos espaços deixados depois de retirado o excesso de água, a qual foi necessária para dar trabalhabilidade ao concreto. O volume dessa água depende da relação água/cimento da mistura. A presença de bolhas de ar é determinada pela granulometria das partículas mais finas da mistura e estas são mais facilmente expelidas de uma mistura mais molhada do que de outra mais seca. Portanto, para cada método de adensamento, há um teor ótimo de água (NEVILLE, 1997). Quando o concreto está plenamente adensado, considera-se que sua resistência é inversamente proporcional à relação água/cimento.

Nos últimos anos, o Concreto de Alto Desempenho (CAD) teve seu uso difundido no Brasil, principalmente pela capacidade das empresas de concreto pré-misturado e dos centros de pesquisa. Esses concretos são usados em estruturas de edifícios, pontes e, principalmente, em estruturas pré-moldadas, e necessitam de cuidados relativamente simples na sua aplicação, pois são muito semelhantes aos concretos com resistências usuais (HELENE; HARTMANN, 2004)

Segundo Jucá et al. (2001), houve a necessidade de uma revisão profunda nos conceitos de durabilidade e desempenho dos materiais, em virtude das inúmeras manifestações patológicas que ocorrem nas construções. Nos dias de hoje, é aceito que desempenho e durabilidade são fatores básicos para qualificar um material, pois o desempenho está relacionado ao seu comportamento em uso, e a durabilidade, ao seu desempenho durante toda a vida útil.

Nesse novo conceito, as demais propriedades do concreto, principalmente as relativas à durabilidade, são consideradas tão importantes quanto as suas características mecânicas. No mundo, a preocupação com a durabilidade das estruturas de concreto já existe há bastante tempo, principalmente devido aos custos envolvidos para repará-las.

A resistência à compressão e à durabilidade do concreto estão diretamente relacionadas à relação água/cimento e conseqüente quantidade de poros. É consenso dentre muitos pesquisadores de CAD que o principal fator que determina o alto desempenho de um concreto é o emprego de uma baixa relação água/cimento, de 0,2 a 0,35 (NEVILLE, 1997).

Há diversas maneiras de produzir concretos com elevada resistência à compressão. Entre elas, se destacam as adições de aditivos superplastificantes, adições de minerais e baixas relações água/cimento. Conforme Freire (2003, p. 1), “além da alta resistência, esse material tende a ter maior trabalhabilidade, menor porosidade e maior aderência e módulo de elasticidade.”

Segundo a NBR 6118/2013, durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.”. Visando garantir a durabilidade da estrutura com adequada segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, devem ser adotados critérios em relação à classe de agressividade ambiental, abertura máxima de fissuras, valores de cobrimentos das armaduras e fluência do concreto.

Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada conforme

a Tabela 1, e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 – classe de agressividade

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

Fonte: NBR 6118:2014.

Atendidas as demais condições estabelecidas nesta seção, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Para atender aos requisitos estabelecidos nessa norma, o cobrimento mínimo da armadura constitui o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado. Isto constitui um critério de aceitação.

Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes, e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na Tabela 2. Para o estudo, os cálculos foram realizados considerando a classe de agressividade II.

Tabela 2 – classe de agressividade

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤0.65	≤0.6	≤0.55	≤0.45
	CP	≤0.60	≤0.55	≤0.50	≤0.45
Classe de concreto	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40

Fonte: NBR 6118:2014.

Para cobrimento, foram utilizados os parâmetros da Tabela 3, extraída da NBR 6118:2014.

Tabela 3 – cobrimento

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
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

Fonte: NBR 6118:2014.

A norma NBR 6118:2014 se aplica aos concretos compreendidos nas classes de resistência dos grupos I e II, da ABNT NBR 8953, até a classe C90. A classe C20, ou superior, se aplica ao concreto com armadura passiva e a classe C25, ou superior, ao concreto com armadura ativa. A classe C15 pode ser usada, apenas, em obras provisórias ou em concreto sem fins estruturais, conforme a ABNT NBR 8953.

As prescrições da NBR 6118:2014 referem-se à resistência à compressão obtida em ensaios de corpos de prova cilíndricos, moldados segundo a ABNT NBR 5738 e rompidos como estabelece a ABNT NBR 5739. Quando não for indicada a idade, as resistências referem-se à idade de 28 dias. A estimativa da resistência à compressão média, f_{cmj} , correspondente a uma resistência f_{ckj} especificada, e deve ser feita conforme a ABNT NBR 12655. A evolução da resistência à compressão com a idade deve ser obtida por ensaios especialmente executados para tal.

3 Análise de resultados

Assim, a geometria do projeto em estudo foi pensada de forma semelhante à maior parte dos edifícios comerciais. Concebido com uma estrutura em concreto armado, composta por lajes maciças com espessuras fixadas em 8cm, vigas com vãos entre três e cinco metros, desnível entre pavimentos de 272cm e com área total de 3.094,79m², conforme tabela 4.

Tabela 4 – propriedades da edificação

Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)
Pavimento tipo 9	272	2448
Pavimento tipo 8	272	2176
Pavimento tipo 7	272	1904
Pavimento tipo 6	272	1632
Pavimento tipo 5	272	1360
Pavimento tipo 4	272	1088
Pavimento tipo 3	272	816
Pavimento tipo 2	272	544
Pavimento tipo 1	272	272
Térreo	272	0

Fonte: elaborada pelo autor.

A geometria retangular proporcionou maior confiabilidade no cálculo e análise dos esforços devido ao vento. A orientação dos pilares procurou dar rigidez necessária para que a estrutura resistisse a esses esforços horizontais.

A espessura de oito centímetros para laje, bem com as dimensões dos pilares e vigas, foi determinada nos estados limites últimos e de serviços com base na verificação desses elementos estruturais, para combinações últimas normais e combinações quase permanentes.

Após a modelagem com 5 diferentes tipos de resistência à compressão, pode-se observar, na tabela 5, a diferença de valores para o peso próprio, carga adicional e conseqüentemente a relação kgf/m².

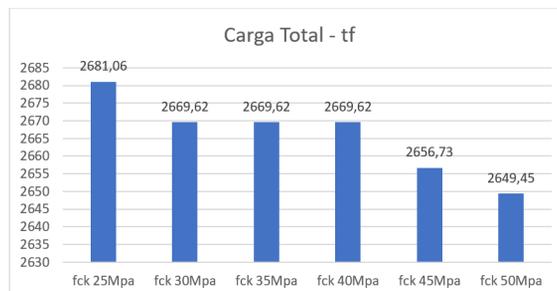
Tabela 5 – comparativo de cargas

Resistência	Peso próprio - tf	Adicional - tf	Acidental - tf	Carga Total - tf	Área aproximada - m ²	Relação kgf/m ²
fck 25Mpa	1078.84	1009.17	593.05	2681.06	3,094.79	866.31
fck 30Mpa	1063.59	1012.98	593.05	2669.62	3,094.79	862.62
fck 35Mpa	1063.59	1012.98	593.05	2669.62	3,094.79	862.62
fck 40Mpa	1063.59	1012.98	593.05	2669.62	3,094.79	862.62
fck 45Mpa	1046.38	1017.3	593.05	2656.73	3,094.79	858.45
fck 50Mpa	1036.64	1019.76	593.05	2649.45	3,094.79	856.10

Fonte: elaborada pelo autor.

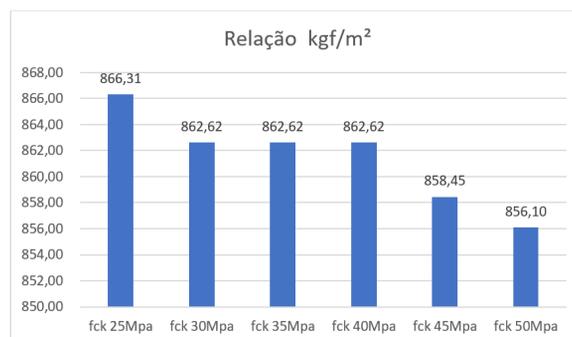
Nas figuras 2 e 3, foi verificada uma leve redução na relação kgf/m² devido ao aumento da resistência à compressão do concreto. O concreto com fck de 25Mpa apresentou 10,21kgf/m² (1,19%) de carga a mais que o concreto com fck de 50Mpa.

Figura 2 – carga total



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3 – relação kgf/m²



Fonte: elaborada pelo autor.

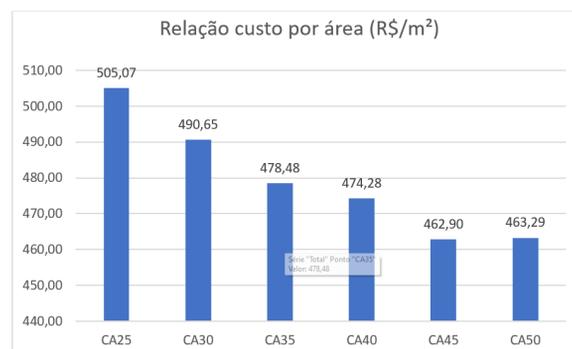
Na tabela 6, e figura 4, foi verificada uma leve redução no custo por área no concreto CA45.

Tabela 6 – relação custo por área (R\$/m²)

Pavimento	Material	Execução	Total
CA25	447.15	57.92	505.07
CA30	434.19	56.46	490.65
CA35	422.61	55.87	478.48
CA40	418.52	55.76	474.28
CA45	408.71	54.19	462.90
CA50	412.19	51.10	463.29

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 4 – relação custo por área (R\$/m²)



Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 7, verifica-se que a espessura média, para o projeto estudado, permanece a mesma para diferentes tipos de resistência à compressão do concreto.

Tabela 7 – espessura média de projeto

Pavimento	Total (cm)
CA25	13.00
CA30	13.00
CA35	13.00
CA40	13.00
CA45	13.00
CA50	13.00

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 8 e figura 5, percebe-se uma leve redução nos valores referentes a material e mão de obra para execução da estrutura.

Tabela 8 – relação custo por elemento (R\$)

Relação custo por elemento (R\$)			
Elemento	Material	Execução	TOTAL
CA25	1,338,810.38	172,230.85	1,511,041.23
CA30	1,311,878.31	169,717.38	1,481,595.69
CA35	1,276,047.98	167,900.24	1,443,948.22



Fonte: elaborada pelo autor.

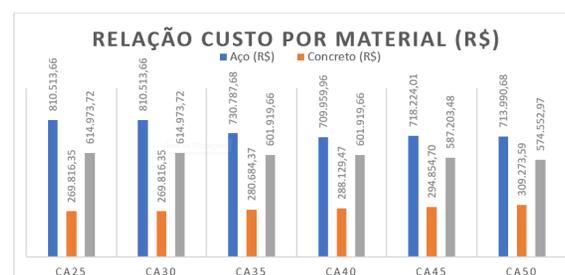
Na tabela 9 e figura 6, apresenta-se a variação de valores que os materiais aço, concreto e forma sofreram conforme aumento da resistência à compressão do concreto.

Tabela 9 – relação custo por material (R\$)

Resistência	Aço	Concreto	Forma
CA25	810,513.66	269,816.35	614,973.72
CA30	810,513.66	269,816.35	614,973.72
CA35	730,787.68	280,684.37	601,919.66
CA40	709,959.96	288,129.47	601,919.66
CA45	718,224.01	294,854.70	587,203.48
CA50	713,990.68	309,273.59	574,552.97

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 6 – relação custo por material (R\$)



Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 10 e figura 7, apresenta-se a variação do consumo por área que os materiais aço, concreto e forma sofreram conforme aumento da resistência à compressão do concreto.

Tabela 10 – consumo por área

Resistência	Concreto (m ³ /m ²)	Forma (m ² /m ²)	Aço (kg/m ²)
CA25	0.13	1.68	15.86
CA30	0.13	1.66	15.24
CA35	0.13	1.66	14.08
CA40	0.13	1.66	13.46
CA45	0.13	1.62	13.60
CA50	0.13	1.61	13.68

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 7 – consumo por área (R\$)



Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 11, expõe-se o percentual que os materiais aço, concreto e forma representam no orçamento.

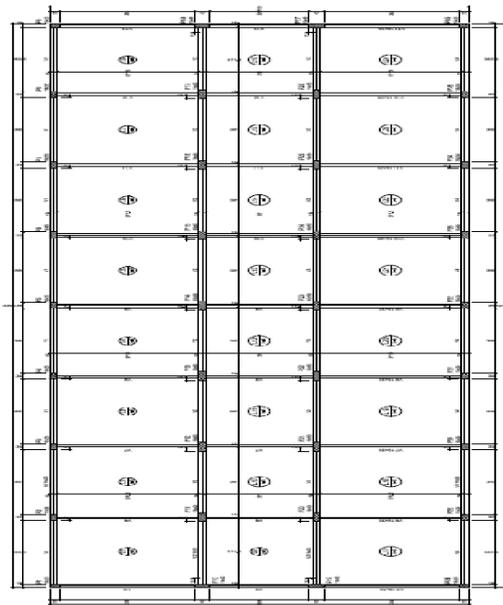
Tabela 11 – percentagem em relação ao orçamento

Resistência	Aço	Concreto	Forma
CA25	47.81%	15.92%	36.28%
CA30	47.81%	15.92%	36.28%
CA35	45.30%	17.40%	37.31%
CA40	44.37%	18.01%	37.62%
CA45	44.88%	18.43%	36.69%
CA50	44.69%	19.36%	35.96%

Fonte: elaborada pelo autor.

Definidos os parâmetros necessários para o dimensionamento das estruturas, o primeiro passo foi lançar as estruturas propostas no software Eberick, verificando, posteriormente, os elementos estruturais, pilares, vigas e lajes. Foram analisadas taxas de armaduras, deformações, e a estabilidade global das estruturas alterando as dimensões dos pilares, vigas e lajes até alcançar os resultados desejados e estabelecidos em normas. Na figura 8, está representado o modelo estrutural do pavimento tipo.

Figura 8 – pavimento tipo



Fonte: elaborada pelo autor.

O modelo adotado corresponde a um edifício de 10 pavimentos e foram testadas resistências à compressão de 25, 30, 35, 40, 45 e 50Mpa.

Na tabela 12, apresentam-se os valores obtidos dos custos por tipo de peças estruturais e por resistência à compressão.

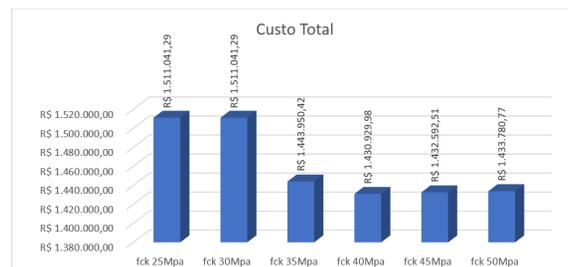
Tabela 12 – custo (Pilares, vigas e lajes)

Resistência	Custo Pilares	Custo Vigas	Custo Lajes	Custo Total
fck 25Mpa	R\$ 414,015.98	R\$ 478,092.22	R\$ 618,933.09	R\$ 1,511,041.29
fck 30Mpa	R\$ 414,015.98	R\$ 478,092.22	R\$ 618,933.09	R\$ 1,511,041.29
fck 35Mpa	R\$ 341,583.30	R\$ 467,166.37	R\$ 635,200.75	R\$ 1,443,950.42
fck 40Mpa	R\$ 328,392.89	R\$ 463,675.40	R\$ 638,861.69	R\$ 1,430,929.98
fck 45Mpa	R\$ 305,146.64	R\$ 453,874.30	R\$ 673,571.57	R\$ 1,432,592.51
fck 50Mpa	R\$ 295,371.90	R\$ 458,062.74	R\$ 680,346.13	R\$ 1,433,780.77

Fonte: elaborada pelo autor.

Na figura 9, representam-se, graficamente, a redução e o aumento de custo devido à variação da escolha da resistência à compressão utilizada em projeto. O concreto de 40Mpa apresentou menor custo total para a estrutura e o de 25Mpa apresentou o maior custo. Diferença de 8,5% no custo total para execução da estrutura em concreto comparando o uso do CA25 e CA40 para execução deste projeto.

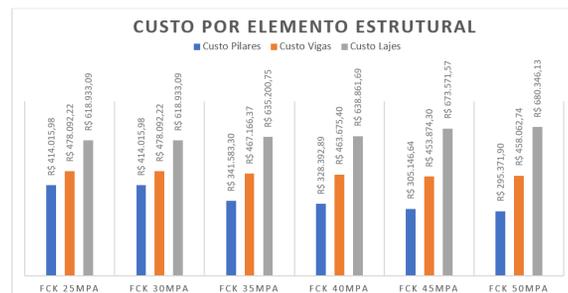
Figura 9 – custo total



Fonte: elaborada pelo autor.

Na figura 10, representa-se, graficamente, o custo por peça conforme a resistência à compressão escolhida para projeto.

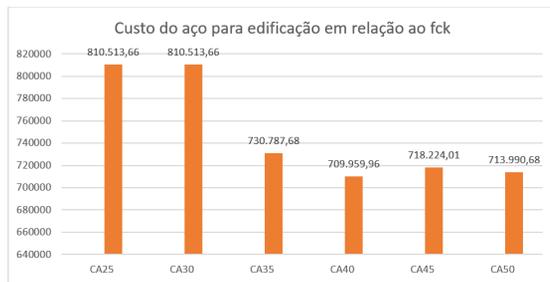
Figura 10 – custo por elemento estrutural



Fonte: elaborada pelo autor.

Na figura 11, representa-se o custo do aço para a edificação em relação ao fck. do concreto de C25 a C40, o custo do aço para a edificação tende a reduzir quando aumenta a resistência à compressão do concreto, porém, a partir do C40 até C50, o custo tende a subir com o aumento da resistência à compressão do concreto.

Figura 11 – custo do aço para edificação em relação ao fck



Fonte: elaborado pelo autor

Na figura 12, representa-se o custo do concreto para a edificação, em relação ao fck. O gráfico não possui uma linearidade a respeito do aumento ou redução do custo, porém pode-se verificar que o concreto CA45 tem menor custo e CA50 o maior custo.

Figura 12 – custo do concreto para edificação em relação ao fck



Fonte: elaborada pelo autor.

Na figura 13, representa-se o custo da forma para a edificação em relação ao fck. Do concreto C25 a C50, o custo da forma tem uma leve redução. Para o concreto CA25, devido ao maior volume das peças estruturais, a área de forma é maior; o que eleva o custo. Logo, para o concreto CA50, o custo é menor. Quanto maior a resistência à compressão do concreto, pode-se conseguir peças mais esbeltas, reduzindo o quantitativo e o custo das formas.

Figura 13 – custo do concreto para edificação em relação ao fck



Fonte: elaborada pelo autor.

No modelo estudado, a resistência que apresentou menor custo total da estrutura foi o concreto com resistência à compressão de 40Mpa. Quanto aos custos por elemento estrutural, a tabela mostra uma tendência de aumento do custo das lajes com o aumento da resistência. Para as vigas, os resultados apresentam pequena diferença e, para os pilares, uma redução do custo com o aumento da resistência. O estudo foi realizado alterando a resistência à compressão de toda a estrutura, mesmo os elementos estruturais não sofrendo alterações em suas seções devido à alteração do Fck, como foi o caso das lajes.

4 Conclusões

A partir dos resultados da análise de custo, foi possível avaliar os impactos provocados pelo uso de concretos com diferentes resistências, obtendo o que havia sido prescrito na hipótese da pesquisa, pois verificou-se uma tendência de redução do custo com o aumento da resistência do concreto até a resistência à compressão de 40Mpa, e voltando a ter um custo mais elevado nos concretos com resistência à compressão de 45 a 50Mpa. Nesse sentido, conclui-se que seria bastante interessante, e recomendável, a execução da estrutura com concreto de resistência à compressão de 40Mpa.

O objetivo proposto para a pesquisa pode ser alcançado visto que conseguiu-se demonstrar o comparativo de custo para execução de uma estrutura em concreto armado com diferentes resistências à compressão.

Para a estrutura proposta, o dimensionamento dos pilares e vigas esteve mais condicionado aos

esforços horizontais do que verticais, sendo determinante para a seção de concreto o limite dos deslocamentos horizontais no topo da edificação. Com baixas taxas de armadura, o custo dos pilares ficou diretamente relacionado ao volume e custo do concreto.

Para as lajes o resultado foi inverso ao dos pilares. Com o aumento da resistência, ocorreu o aumento do custo desse elemento estrutural. Porém, salienta-se que a espessura foi fixada em 8cm. Logo, não houve ganho em volume do concreto com o aumento da resistência. A espessura de 8cm foi escolhida por ser satisfatória para o tipo de vinculação, carregamento do vão. As lajes dimensionadas com essa espessura também apresentaram deslocamentos admissíveis. É importante frisar que, para vãos ou cargas maiores pode ser interessante o uso de concretos mais resistentes para não ultrapassar os deslocamentos admissíveis.

Para a estrutura proposta o concreto de 25Mpa resultou em menores custos para as lajes, o de 45Mpa menores custos para as vigas e o de 50Mpa menores custos para os pilares. Porém, adotando-se o mesmo concreto para toda a estrutura, o concreto de 40Mpa resultou em menor custo.

O concreto de 25Mpa apresentou o custo mais elevado para os pilares e vigas e o concreto de 50Mpa apresentou o custo mais elevado para lajes.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14724*: formatação de trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118*: projeto de estrutura de concreto - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6123*: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8681*: ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. *Concreto armado segundo a NBR 6118:2003*. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007. v. 1.

JUCÁ, T. P. *et al.* Estudo da dosagem de concreto de alto desempenho: comparativo de custos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43. Foz do Iguaçu, 2001. *Anais [...]*. São Paulo: IBRACON, 2001. p. 1-11.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. *Tecnologia do concreto*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RUSCHEL, R. *Curso básico de concreto armado*. Porto Alegre: Globo, 1974.