

1 **ESTRUTURA METÁLICA *VERSUS* ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO**
2 **COMPARATIVO ORÇAMENTÁRIO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL**

3 ⁽¹⁾ Hugo Elias Bernini Campos

4 ⁽²⁾ Leonardo Carvalho Mesquita

5
6 ⁽¹⁾ Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba
7 ⁽²⁾ Professor Assistente do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

8
9 Presidente da banca: Leonardo Carvalho Mesquita

10 Membro: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

11 Membro: Arthur Filipe Freire Gomes

12 **01 de novembro de 2018**

13 **RESUMO**

14 O mercado da construção civil é um dos maiores propulsores da economia no mundo todo,
15 desafiando, cada vez mais, os engenheiros a realizarem melhores e eficazes obras, utilizando menos
16 recursos e aplicando técnicas modernas e mais eficientes, sempre dimensionando as estruturas,
17 segundo as normas regulamentadores vigentes, de forma segura, funcional e durável. Com a evolução
18 de técnicas e a utilização de diferentes materiais, como o aço, é imprescindível que novos estudos
19 sejam realizados, a fim de comparar as técnicas e os materiais. O Brasil teve um investimento tardio
20 na indústria do aço, mas esse método construtivo está sendo cada vez mais utilizado nos dias de hoje,
21 a fim de eliminar algumas limitações que outros métodos construtivos possuem, porém ainda encontra
22 uma barreira: alto custo da matéria-prima. O presente estudo propõe realizar um comparativo
23 orçamentário entre a estrutura metálica e a estrutura de concreto armado que dispõe do mesmo projeto
24 arquitetônico, buscando sempre otimizar o dimensionamento das duas estruturas através de softwares
25 para o auxílio do cálculo estrutural. A princípio, foi realizado o projeto arquitetônico de acordo com
26 o terreno proposto, seguido pelos dimensionamentos das estruturas, aplicando o sistema TQS (TQS
27 Informática, 2017) para o projeto estrutural em concreto armado e o sistema RAM Structural Analysis
28 V8i (Bentley Systems Inc.,2013) para estrutura metálica. Após a retirada dos quantitativos gerados
29 pelos softwares, deu-se início ao processo orçamentário, além da elaboração do Quadro de Cálculo
30 do Efetivo de Mão-de-Obra (QCEMO), consultando a base de dados do SINAPI (Sistema Nacional
31 de Aferição de Preços e Índices da Construção Civil), da SETOP (Secretaria de Estado de Transporte
32 e Obras Públicas), TCPO (Tabelas de composição de Preços para Orçamentos) e consultas no
33 mercado local. Na fase final do estudo, foi realizado o cronograma, utilizando o software Microsoft
34 Project (Microsoft Corporation, 2012). Observou-se um menor custo para fundações e lajes quando
35 utilizado o sistema estrutural em estrutura metálica, enquanto que, para pilares e vigas, obteve-se
36 menores valores para o concreto armado. No orçamento geral, a estrutura convencional apresentou

37 uma economia de 25,23%. Porém, levando em consideração o cronograma, a estrutura metálica
38 reduziu o tempo de execução em 88 dias, permitindo então um retorno financeiro mais rápido. Sendo
39 assim, é possível inferir que a utilização da estrutura metálica como sistema estrutural é vantajosa em
40 qualquer localidade onde o valor de aluguel de uma sala comercial seja acima de R\$2.900,00/mês.

41

42 **PALAVRAS-CHAVE:** Cronograma. Custo. RAM Structural Analysis. TQS.

43

44 **STEEL FRAME *VERSUS* REINFORCED CONCRETE: A COST COMPARISION STUDY**
45 **OF AN OFFICE BUILDING**

46

47 **ABSTRACT**

48 The construction industry is one of the biggest drivers of the economy in the world, increasingly
49 challenging engineers to perform their works in the best possible way, seeking to build with fewer
50 resources and in a most efficient way, always designing the structures according to the regulations,
51 in a safe, functional and durable way. The evolution of construction techniques and the use of new
52 materials such as steel has made imperative that new studies need to be carried out, in order to
53 compare these techniques and materials. Brazil has delayed investing in the steel industry, but this
54 constructive technique is increasing and is now being used to eliminate some of the limitations that
55 other construction techniques have, but there is still a high cost to pay. This study proposes to make
56 a cost comparison between the steel frame structure and the conventional reinforced concrete
57 structure, both has the same architectural design, always seeking to optimize the design of the two
58 structures through software, responsible to support the calculations. The architectural design was
59 developed according to the terrain, followed by the structural design using the TQS system (TQS
60 Informática, 2017) for structural reinforced concrete design and RAM Structural Analysis V8i
61 (Bentley Systems Inc., 2013) for steel frame. After analyzing the quantitative data generated by the
62 software, the budgeting process was started in addition to the elaboration of the Workforce
63 Calculation Chart (QCEMO), consulting the following databases: SINAPI (National System for
64 Pricing and Indices of Civil Construction), SETOP (Secretariat of State for Transport and Public
65 Works), TCPO (Tables of composition of Prices for Budgets) and consultations in the local market.
66 The study concluded with the building scheduling using the Microsoft Project software (Microsoft
67 Corporation, 2012). It was observed that foundations and slabs are cheaper when using steel frame,
68 pillars and the beams are cheaper when reinforced concrete is used. In the total budget, the
69 conventional structure presented a saving of 25.23%, but taking timing into account, the steel frame
70 reduces the execution time in 88 days, resulting in a faster financial return and allowing to infer that

71 steel frame is gainful in any locality where the value of rent of the commercial office in which is
72 possible to charge above R\$ 2,900.00/month.

73

74 **KEYWORDS:** Cost. Schedule. RAM Strucutral Analysis. TQS.

75

76 **1 INTRODUÇÃO**

77 A constante evolução tecnológica na engenharia civil permitiu que, ao longo dos tempos, novos
78 materiais e métodos fossem introduzidos ao mercado, um grande exemplo disso foi a revolucionária
79 implantação da estrutura metálica. Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), a primeira obra de grande
80 importância e com considerável dimensão, foi a ponte sobre o Rio Severn em Coalbrookdale, na
81 Inglaterra, em 1779. Formada por um arco de elementos de ferro fundido, a ponte tem um vão de 42
82 metros e existe até hoje em condições de utilização.

83 Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), o Brasil começou a desenvolver a indústria siderúrgica,
84 na década de 20, mais especificamente em 1940, quando foi instituída a Comissão Executiva do Plano
85 Siderúrgico Nacional, responsável pela criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), com a
86 finalidade de produzir perfis, trilhos e chapas nas bitolas americanas. A partir desse momento, outras
87 siderúrgicas entraram no mercado, como a Usiminas, Cosipa e Gerdau e começou-se a expansão da
88 construção em estrutura metálica no país.

89 As vantagens da estrutura metálica são inúmeras. O aço tem alta resistência comparada com
90 outros materiais, permitindo a utilização de menores seções, se adequando mais ao projeto
91 arquitetônico. Possui alto controle tecnológico, por isso os elementos da estrutura metálica podem ser
92 substituídos, desmontados e até mesmo reforçados com certa facilidade, podendo até mesmo ter o
93 reuso do material. As dimensões de fundações são menores, devido a menores cargas, além de outros
94 benefícios advindos do processo construtivo. O prazo para execução, comparando, por exemplo, com
95 o concreto armado, é menor, o que inclusive é objeto deste estudo.

96 Segundo Rossatto (2015), o método construtivo em aço está sendo cada vez mais utilizado por
97 eliminar algumas limitações que outros métodos construtivos possuem, possibilitando a elaboração
98 de projetos cada vez mais arrojados. Embora estas vantagens sejam interessantes, a construção em
99 concreto armado é predominante no país, bem tradicional e de certa forma até mesmo cultural, pois
100 além do custo do material, a um primeiro momento, ser mais atrativo do que a da estrutura metálica,
101 o construtor enfrenta problemas em encontrar mão-de-obra especializada com as estruturas metálicas.

102 Esta análise de custo, porém, não pode considerar apenas o material, há muitos fatores
103 envolvendo o processo construtivo e até imobiliário que devem ser analisados de forma detalhada,
104 considerando todas as alternativas plausíveis que irão alterar o orçamento final da obra. O prazo de

105 execução é um destes fatores, pois um prazo mais conciso e controlado acarreta na diminuição de
106 custos, como mão-de-obra, aluguel de equipamentos e máquinas e um retorno financeiro mais rápido
107 dependendo do tipo de utilização do empreendimento.

108 Portanto, este trabalho buscou demonstrar um comparativo orçamentário de uma edificação em
109 concreto armado e em estrutura metálica de forma detalhada, utilizando a plataforma BIM com
110 softwares avançados no dimensionamento destas estruturas e realização de cronograma, visando
111 documentar os resultados que ainda são carentes no meio acadêmico.

112

113 2 REFERENCIAL TEÓRICO

114 Um estudo de caso realizado por Rossatto (2015), pela Universidade Federal de Santa Maria,
115 cujo tema foi “Estudo comparativo de uma edificação em estrutura metálica/concreto armado: Estudo
116 de caso”, teve como objeto de estudo a estrutura de um laboratório de conforto de 3 pavimentos,
117 pertencente à Universidade Franciscana, localizada na cidade de Santa Maria. O dimensionamento
118 em estrutura metálica foi realizado por cálculos manuais e o de concreto armado, através do software
119 Eberick V8.

120 Os resultados dos orçamentos das duas estruturas demonstrados são referentes apenas ao custo
121 dos materiais e não foi considerado o custo das fundações nem das atividades que envolvem os
122 materiais e procedimentos construtivos. O custo da estrutura metálica foi de R\$151.435,22,
123 representando, em percentual, 330% do custo da estrutura em concreto armado: R\$45.850,47.

124 Oldham e Wolstenholme (2012) em “*Steel Insight: Multi-storey offices*” faz um comparativo
125 de custo completo, utilizando dois tipos de edifícios comerciais. O primeiro é um edifício comercial
126 de 3 pavimentos com estacionamento externo e o segundo, também é um *business center* típico de
127 grandes centros urbanos com 8 pavimentos. O estudo levou em consideração não somente o custo,
128 mas também a programação/cronograma e a construtibilidade. A fundação adotada foi a de sapatas
129 para todos os sistemas estruturais.

130 No primeiro edifício realizou-se o estudo com quatro opções de sistemas estruturais:

- 131 • Estrutura metálica e lajes *Steel Deck*.
- 132 • Estrutura metálica e lajes pré-moldadas.
- 133 • Concreto armado e lajes lisas.
- 134 • Concreto armado e lajes protendidas.

135 Os resultados são separados por custo das fundações, estruturas e custo total do edifício e são
136 demonstrados na Tabela 1

137

Tabela 1 – Custo do Edifício 1 por metro quadrado de área construída

	Estrutura metálica e lajes <i>Steel Deck</i>		Estrutura metálica e lajes pré-moldadas		Concreto armado e lajes lisas		Concreto armado e lajes protendidas	
Fundação	£	52.00	£	55.00	£	67.00	£	62.00
Estrutura	£	140.00	£	151.00	£	155.00	£	150.00
Total	£	1,535.00	£	1,561.00	£	1,631.00	£	1,610.00

138 Fonte: Oldham e Wolstenholme (2012)

139

140 Para o segundo edifício, há apenas o estudo da estrutura metálica com lajes *Steel Deck* e da
 141 estrutura em concreto armado com vigas e lajes protendidos. Os resultados estão apresentados na
 142 Tabela 2.

143

Tabela 2 – Custo do Edifício 2 por metro quadrado de área construída

	Estrutura metálica com vigas celulares e lajes <i>Steel Deck</i>		Concreto armado com vigas e lajes protendidas	
Fundação	£	56.00	£	60.00
Estrutura	£	194.00	£	210.00
Total	£	1,861.00	£	1,922.00

144 Fonte: Oldham e Wolstenholme (2012)

145

146 Com o estudo de Oldham e Wolstenholme (2012), pode-se concluir que a fundação no edifício
 147 1, quando utilizado o sistema estrutural de estrutura metálica, é 22,38% mais barato que quando
 148 utilizado o concreto armado. Essa economia é de 6,67% para o edifício 2. O conjunto fundação e
 149 estrutura apresentam economia de 13,51% no edifício 1, e de 7,41% no edifício 2 também utilizando
 150 a estrutura metálica. O estudo conclui também que a duração da construção das soluções em estrutura
 151 metálica é menor que as de concreto armado, cerca de 13% para o edifício 1 e 11% para o edifício 2.

152 Um outro estudo de caso realizado por Schmidt (2014) pela Universidade Católica de Brasília,
 153 cujo tema foi “Comparativo orçamentário dos sistemas construtivos em estrutura metálica versus
 154 estruturas convencionais em edifícios de pequeno porte”, teve como objeto de estudo a estrutura de
 155 um edifício habitacional de 4 pavimentos, totalizando uma área construída de 1708,64 m², localizado
 156 na região norte de Taguatinga. Para os dois dimensionamentos foi utilizado o software para cálculo
 157 estrutural denominado CYPECAD.

158 Os resultados dos orçamentos das duas estruturas demonstrados são referentes apenas ao custo
 159 dos materiais e de algumas atividades relativas à execução, não considerando também o custo das
 160 fundações. O custo da estrutura metálica foi de R\$491.823,46 e a estrutura em concreto armado,
 161 R\$306.558,17, representando então uma economia de 37,67%.

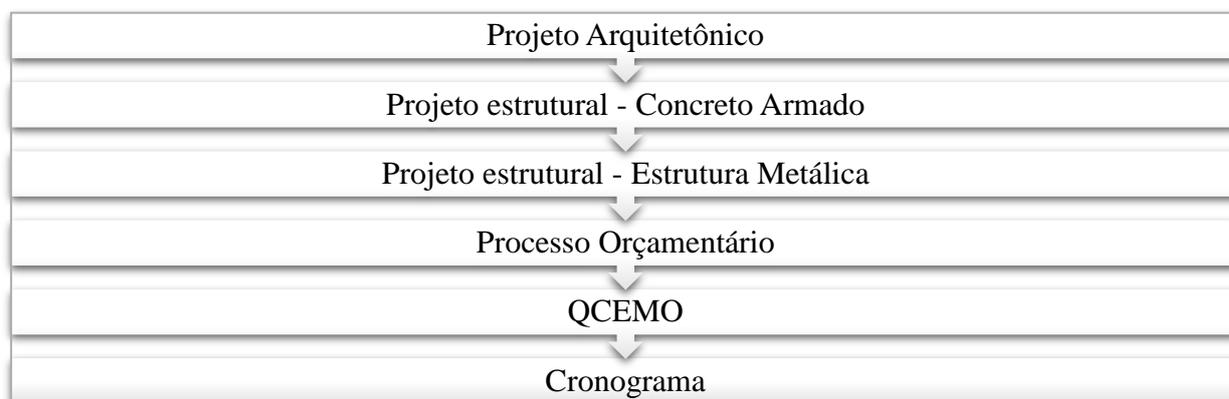
162 O estudo de Schimidt (2014) também aborda os prazos de execução das duas estruturas. A
163 estrutura metálica demandaria 75 dias para ser executada, enquanto a estrutura convencional de
164 concreto armado requereria 121 dias, logo há uma redução de 46 dias no cronograma, resultando
165 então em um percentual de 38,02%, quando utilizada a estrutura metálica. Uma análise do retorno
166 financeiro também foi realizada, atingindo o valor de R\$ 49.066.67, porém, ainda assim, a estrutura
167 em concreto armado ficaria 27,69% mais barata.

168

169 3 METODOLOGIA

170 A proposta deste trabalho foi analisar o orçamento e cronograma para a execução da obra
171 utilizando duas formas de execuções diferentes: concreto armado e estrutura metálica, utilizadas pelo
172 mercado, cada qual com as suas dificuldades, facilidades, técnicas e dimensionamentos diferentes. O
173 estudo de caso compreende na elaboração de um projeto arquitetônico que atende às exigências
174 comerciais, seguido pelo dimensionamento da estrutura de acordo com o material. Com os presentes
175 dados quantitativos, dá-se seguimento ao processo orçamentário, à elaboração do Quadro de Cálculo
176 do Efetivo de Mão-de-Obra (QCEMO) e à realização do cronograma das atividades.

177 As etapas da elaboração da análise são apresentadas na Figura 1:



178

179 Figura 1 - Etapas da elaboração da análise

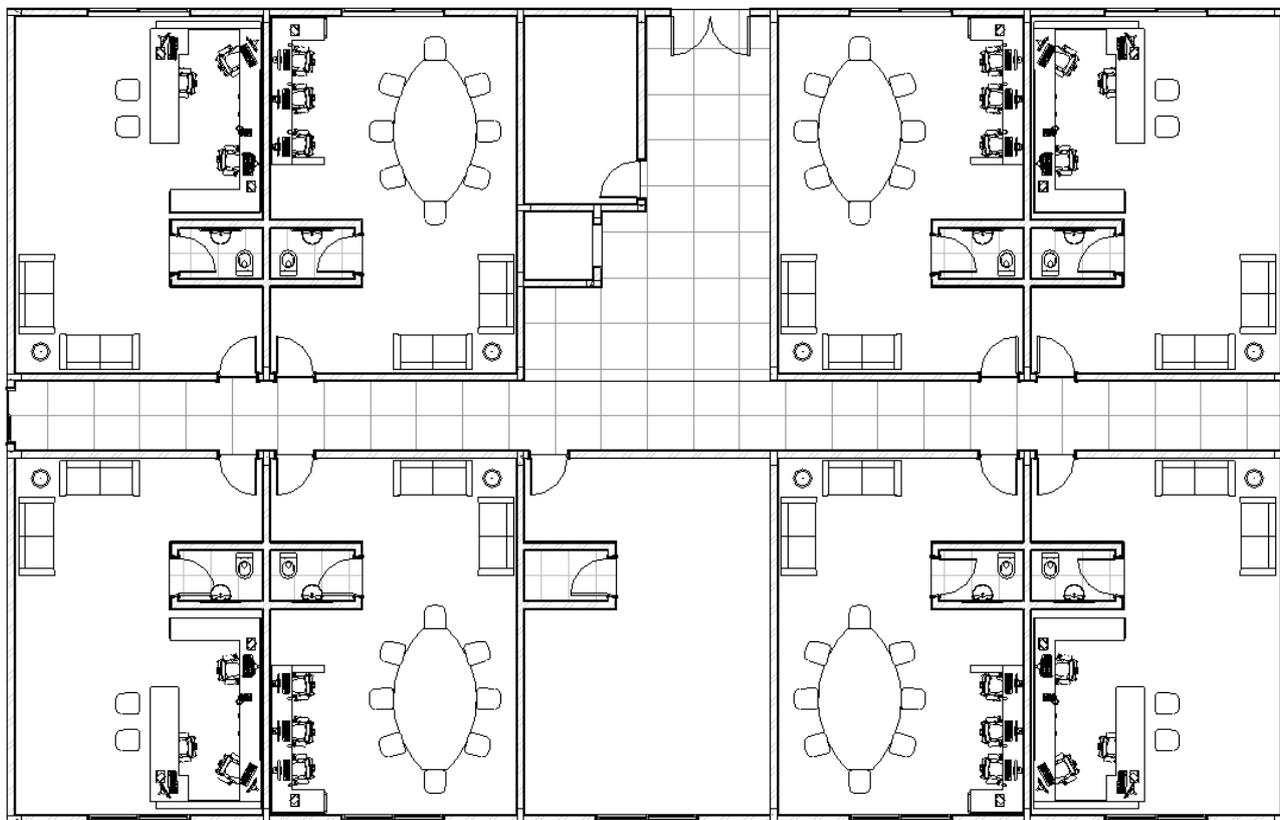
180

181 3.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

182 O terreno para a construção de um edifício comercial foi suposto como um terreno de esquina,
183 com 35 metros de profundidade e 25 metros de largura, na região do triângulo mineiro. A situação do
184 empreendimento foi desenvolvida, respeitando-se a distância mínima de 1,5 metros com o muro
185 vizinho. A garagem externa visa à economia com a construção de garagem no subsolo, evitando a
186 implementação de vigas de transição para alocar melhor as vagas, economizando-se na estrutura.

187 O empreendimento conta com 9 salas comerciais de cerca de 38 m², com banheiro em cada
188 pavimento. São 3 pavimentos com a mesma configuração, contando ainda com escada, elevador e um

189 lobby de recepção, além da circulação com acesso a todas as salas. Ao todo, o projeto arquitetônico
190 tem 1433.31 m² de área construída. O layout arquitetônico está apresentado na Figura 2, e a planta
191 baixa detalhada se encontra no Apêndice A.
192



193

194

Figura 2 – Layout Arquitetônico

195

196

3.2 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

197

198

199

200

201

De posse do projeto arquitetônico, iniciou-se o dimensionamento da estrutura em concreto armado. Para a realização deste dimensionamento, foi considerado como premissa o uso do concreto com resistência de 25 MPa (C25) para fundações, pilares, vigas e lajes, para as armações o aço CA-50. Importante ressaltar que para simplificação de projeto e limitação do software utilizado, não houve dimensionamento das escadas.

202

203

204

205

O dimensionamento da estrutura foi realizado com o auxílio do software TQS V20 (TQS Informática, 2018), a análise estrutural foi realizada através de um modelo estrutural, composto por grelhas e pórticos espaciais e o dimensionamento através dos ELU's (Estados Limites Últimos) e ELS's (Estados Limites de Serviço), respeitando os deslocamentos máximos.

206

207

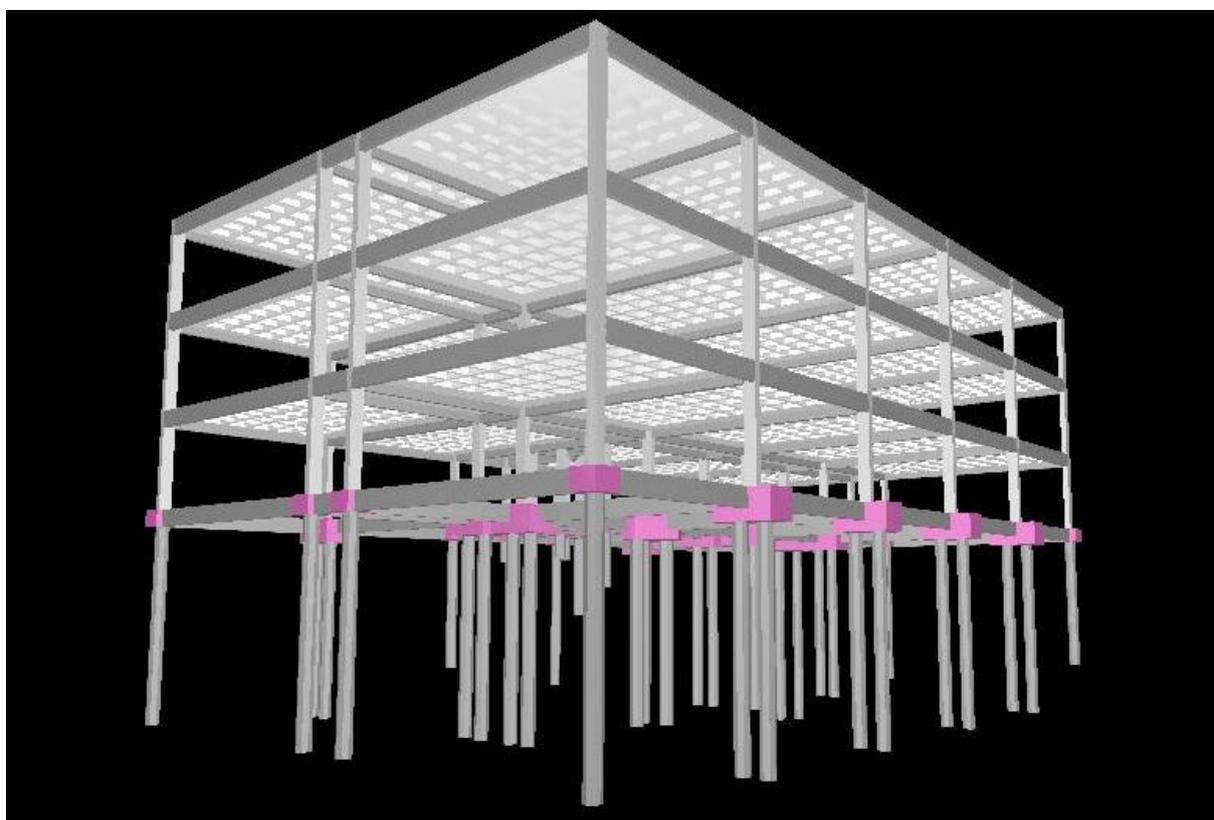
208

A análise de estabilidade global a partir do coeficiente γ_z (Gama Z), de acordo com a NBR 6118:2014, não deve ser utilizada para estruturas abaixo de 4 pavimentos, porém as ações do vento foram consideradas, a fim de um dimensionamento mais real da estrutura. A classe de agressividade

209 ambiental foi adotada como moderada (CAA II), de acordo com a tabela 6.1 da norma NBR
210 6118:2014.

211 O sistema estrutural adotado foi respeitando as recomendações de pré-dimensionamento de
212 Carvalho e Figueiredo Filho (2014). Foram adotadas lajes nervuradas devido aos grandes vãos a
213 serem vencidos, obtendo assim uma otimização da estrutura.

214 Para as fundações, foi adotado o sistema de bloco com estacas. Em um pré-dimensionamento
215 verificou-se que o sistema de sapatas não atenderia, devido à baixa capacidade de suporte do solo,
216 que pode ser verificada no ensaio de *Standard Penetration Test* (SPT), adotado no Anexo A. Foi
217 utilizada uma planilha de auxilio, desenvolvida nesta pesquisa, para dimensionamento das estacas
218 com seu referencial apoiado no livro de Cintra e Aoki (2010). A planilha de dimensionamento de
219 estacas se encontra no Apêndice B.



220
221 Figura 3 – Estrutura em Concreto Armado 3D no Software TQS (TQS Informática,2017).
222

223 3.3 PROJETO ESTRUTURAL EM ESTRUTURA METÁLICA

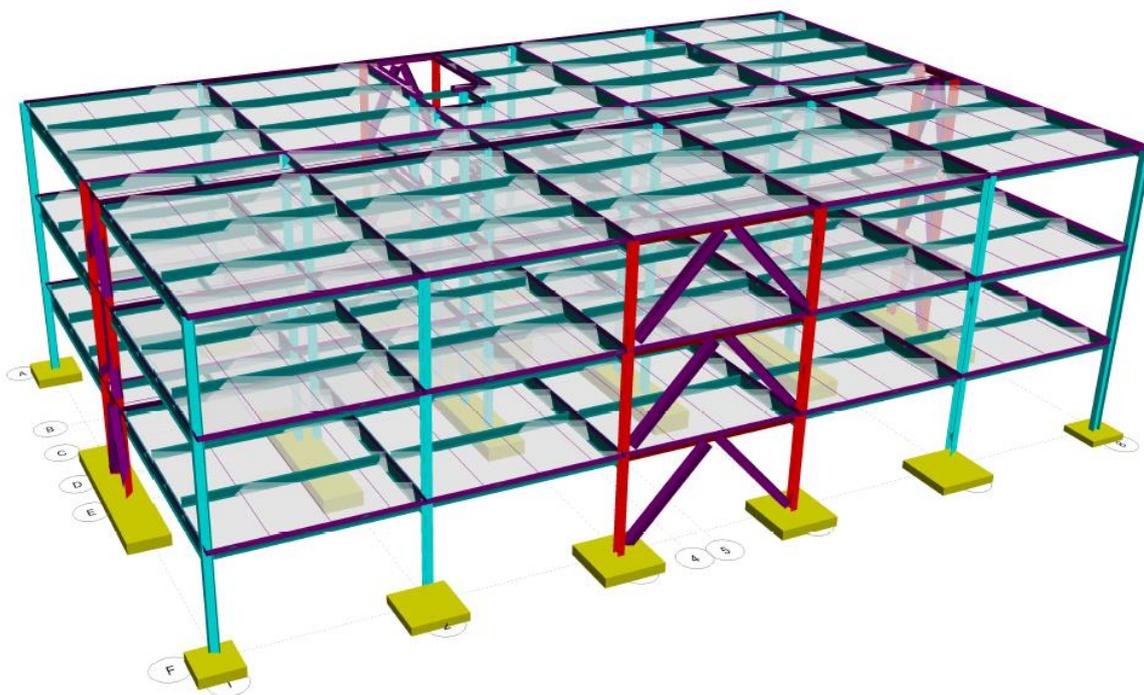
224 O dimensionamento da estrutura em estrutura metálica se iniciou também, utilizando o projeto
225 arquitetônico como referência. Para este tipo de dimensionamento foi utilizado o software RAM
226 Structural System V8i (Bentley Systems Inc., 2013), que utiliza o *International Building Code* (IBC)
227 como a norma vigente para as características gerais da estrutura e o ANSI/AISC 360-10 LRFD

228 (American Institute of Steel Construction – Load and Resistance Factor Design) para
229 dimensionamento dos pilares, vigas e lajes.

230 Foram adotadas lajes pré-fabricadas tipo Steel Deck de 15 centímetros de espessura, com capa
231 de concreto de $f_{ck} = 25$ MPa e espessura de chapa 0,80 centímetros. Também foi adotado espaçamento
232 entre vigas secundárias, em que as lajes estão apoiadas nos tramos internos, valores inferiores a 3,40
233 metros para não necessitar da utilização de escoramento para a concretagem, seguindo as
234 recomendações do fabricante (MIXFER, 2018), otimizando o orçamento e cronograma.

235 As cargas de vento foram adaptadas para a norma brasileira NBR 6128:1988 (Forças devidas
236 ao vento em edificações) para melhor representar as condições locais, assim como as cargas nas
237 estruturas, seguindo a NBR 6120:2018 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações).

238 Para as fundações, foi adotado o sistema de sapatas isoladas e sapatas corridas. Esse tipo de
239 sistema pôde ser adotado mesmo com a baixa capacidade de carga do solo, o *Standard Penetration*
240 *Test* (SPT) adotado se encontra no Anexo A. Ressalta-se que para a estrutura metálica foi necessário
241 implementar contraventamentos nas duas direções da estrutura para se minimizarem os
242 deslocamentos da estrutura, em conformidade com a norma vigente NBR 8800:2008.



243
244 Figura 4 – Estrutura Metálica 3D no Software RAM Structural System (Bentley Systems
245 Inc.,2013).

246 247 3.4 ORÇAMENTO

248 Após a finalização e otimização dos projetos estruturais, foram retirados os quantitativos
249 gerados pelos softwares para a elaboração do orçamento. Foram utilizadas as bases de dados do

250 SINAPI (Sistema Nacional de Aferição de Preços e Índices da Construção Civil), da SETOP
251 (Secretaria de Estado de Transporte e Obras Públicas), TCPO (Tabelas de composição de Preços para
252 Orçamentos) e consultas no mercado local. Todos os preços foram considerados na região do
253 Triângulo Mineiro com desoneração.

254 O preço é retirado na forma unitária e multiplicado pelo quantitativo de acordo com a sua
255 respectiva unidade. Este valor ainda é multiplicado pelo BDI (Benefícios e Despesas Indiretas),
256 também retirado da SETOP conforme adotado. O BDI é considerado o mesmo para as duas estruturas
257 e a respectiva tabela se encontra no Apêndice C.

258 Os orçamentos da estrutura metálica e da estrutura em concreto armado podem ser verificados,
259 respectivamente, nos Apêndices D1 e D2.

260

261 3.5 QUADRO DE CÁLCULO DO EFETIVO DE MÃO-DE-OBRA (QCEMO)

262 Esta etapa pode ser desenvolvida, paralelamente, ao processo orçamentário, uma vez que
263 necessita apenas da atividade a ser realizada e os quantitativos referentes a elas. Com estes dados
264 coletados, realiza-se a consulta as composições nas bases de dados da TCPO (Tabelas de composição
265 de Preços para Orçamentos), SINAPI (Sistema Nacional de Aferição de Preços e Índices da
266 Construção Civil) e da SETOP (Secretaria de Estado de Transporte e Obras Públicas), para extrair os
267 índices e calcular a produtividade desta atividade para cada trabalhador envolvido com a mesma.

268 Assim é possível montar uma equipe básica, de forma a otimizar a atividade, verificando-se a
269 quantidade de dias em que cada atividade irá se desenvolver com a equipe adotada. Este processo foi
270 adotado para ambas as estruturas.

271 Os quadros de cálculos do efetivo de mão-de-obra da estrutura metálica e da estrutura em
272 concreto armado se encontram nos Apêndices E1 e E2, respectivamente.

273

274 3.6 CRONOGRAMA

275 Com os dias e equipes definidos para cada atividade de cada estrutura (concreto armado e
276 estrutura metálica), foi realizado então o cronograma, inserindo os respectivos dados no software
277 Microsoft Project (Microsoft Corporation, 2012). As atividades foram vinculadas de acordo com a
278 ordem cronológica, respeitando os períodos de latência, quando necessário, e a disponibilidade da
279 equipe. As equipes também foram alocadas para suas respectivas atividades e realocadas assim que
280 disponível, quando havia interferência entre atividades.

281 A utilização do gráfico de Gantt, ferramenta desenvolvida por Henry Gantt que permite
282 verificar visualmente o avanço e as interdependências das etapas de um projeto, foi de fundamental
283 importância para vincular as atividades e verificar interferências. O cronograma da estrutura metálica

284 e do concreto armado com seus respectivos gráficos de Gantt podem ser verificados, respectivamente,
285 nos Apêndices F1 e F2.

286

287 **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

288 Os resultados apresentados a seguir foram extraídos das planilhas orçamentárias e do
289 cronograma desenvolvido no software Microsoft Project e as informações, geradas pelos softwares
290 de dimensionamento. Para melhor observação, a análise dos resultados será realizada de forma a
291 comparar as etapas da construção entre a estrutura metálica e a estrutura dimensionada em concreto
292 armado.

293 É importante evidenciar que alguns itens orçados para um tipo de estrutura não têm como serem
294 comparados com outros, ou seja, algumas etapas de construção não são comuns aos dois tipos de
295 estrutura. Isso se deve ao fato de que os diferentes tipos de materiais permitem/necessitam de
296 diferentes sistemas estruturais e métodos construtivos. Um exemplo claro disso é a utilização de
297 contraventamento na estrutura metálica. Estas etapas podem ser verificadas na Tabela 3 e serão
298 comparadas quando levar-se em conta o orçamento final.

299 Tabela 3 – Comparativo orçamentário das etapas de construção (Estrutura Metálica e Concreto
300 Armado)

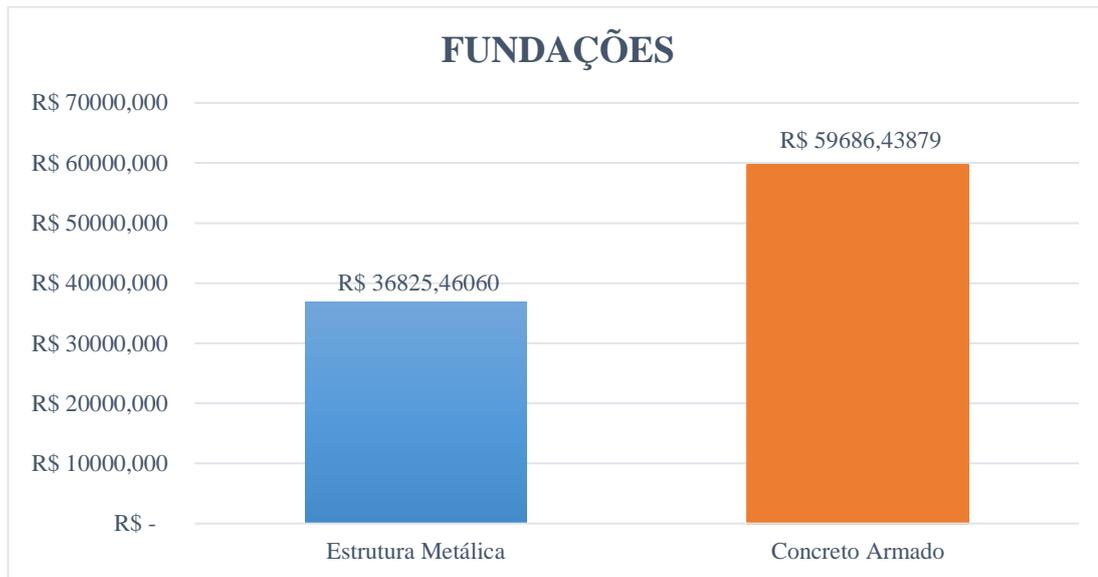
Etapas	Estrutura Metálica	Concreto Armado
Fundações	R\$ 36,825.46	R\$ 59,686.44
Vigas Baldrame	R\$ -	R\$ 27,917.41
Pilares Térreo	R\$ 57,010.67	R\$ 22,267.65
Contraventamento Térreo	R\$ 43,751.98	R\$ -
Vigas Térreo	R\$ 109,216.79	R\$ 35,034.34
Lajes Térreo	R\$ 87,760.98	R\$ 147,558.92
Pilares Pav.1	R\$ 57,010.67	R\$ 15,343.76
Contraventamento Pav.1	R\$ 43,751.98	R\$ -
Vigas Pav.1	R\$ 109,216.79	R\$ 48,755.29
Lajes Pav.1	R\$ 87,760.98	R\$ 143,764.45
Pilares Pav.2	R\$ 57,010.67	R\$ 14,683.58
Contraventamento Pav.2	R\$ 43,751.98	R\$ -
Vigas Pav.2	R\$ 109,216.79	R\$ 41,006.18
Lajes Pav.2	R\$ 87,760.98	R\$ 139,408.45
Total	R\$ 930,046.72	R\$ 695,426.48

301

302 **4.1 FUNDAÇÕES**

303 A Figura 5 apresenta o orçamento das fundações das duas estruturas, incluindo custo de
304 materiais, mão-de-obra e de todas as atividades envolvidas no processo. Ressalta-se que as vigas

305 baldrame não foram consideradas partes da fundação em concreto armado, apenas os blocos e estacas
306 estão inseridos neste item, assim como as atividades referentes a estas.



307
308 Figura 5 – Comparativo orçamentário das fundações

309

310 De acordo com a Figura 5 e levando em consideração as observações acima, verifica-se que as
311 fundações quando dimensionadas para atender uma superestrutura metálica tem o valor de
312 R\$36.825,46 e para a estrutura em concreto armado, R\$59.686,44. Este fato condiz com Freire
313 (2018), que diz que em terrenos de condições normais as reduções nos custos podem chegar em até
314 30%, em terrenos com baixa resistência, os valores poderão ser maiores, que inclusive é o caso deste
315 estudo e, portanto, a economia foi R\$22.860,98, que representa 38,3%.

316

317 4.2 PILARES

318 Na Figura 6, é apresentado o orçamento da construção dos pilares, envolvendo os custos de
319 materiais, mão-de-obra e as atividades desta etapa, demonstrando os orçamentos separados por
320 pavimento.

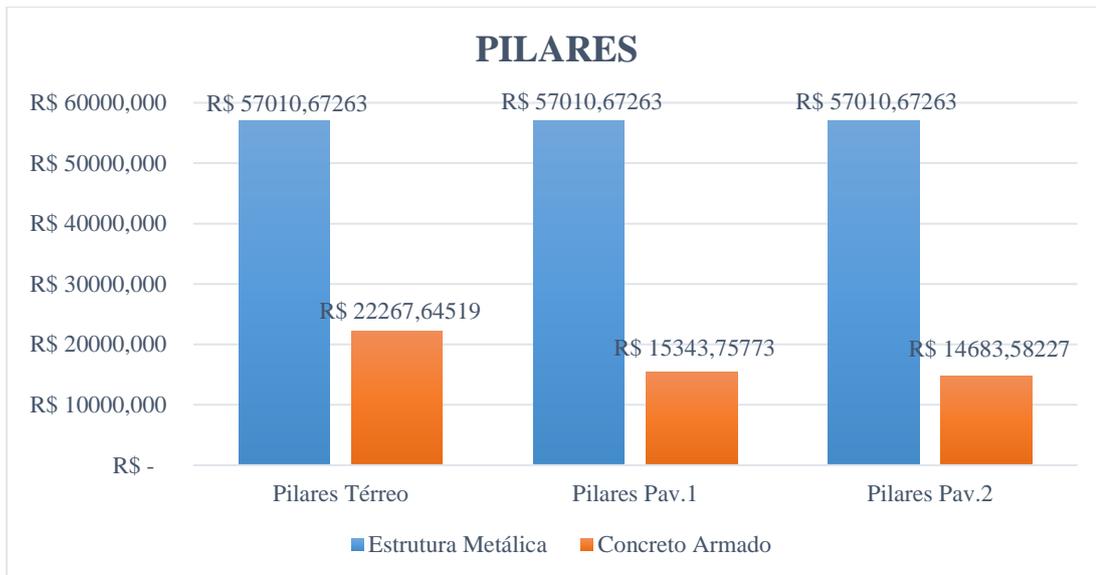


Figura 6 – Comparativo orçamentário dos Pilares

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

Através da Figura 6, percebe-se que o custo dos pilares em estrutura metálica é superior do que os de concreto armado em todos os pavimentos. Em média, os pilares em concreto armado estão oferecendo uma economia de 69,4%. Percebe-se que com o aumento do número de andares, há uma tendência na redução do custo, isso se deve ao fato de que os pilares vão ficando menos solicitados e, conseqüentemente, sua taxa de armadura diminui, interferindo positivamente no orçamento.

Os pilares de aço se mantêm com os mesmos valores, pois não se alteram à medida em que a estrutura se ergue. Isso se deve ao fato de que não é proveitoso, quanto ao aspecto construtivo, diminuir uma seção de pilar. Como este pilar é homogêneo, não há alteração no seu peso e nem em outras características, portanto o orçamento não será alterado.

4.3 VIGAS

A Figura 7 exibe o orçamento da construção das vigas, envolvendo os custos de materiais, mão-de-obra e as atividades que envolvem esta etapa. É importante evidenciar que as vigas baldrame não estão incluídas nesta etapa devido a estas estarem incluídas apenas na estrutura de concreto armado. Os orçamentos também estão separados por pavimento.

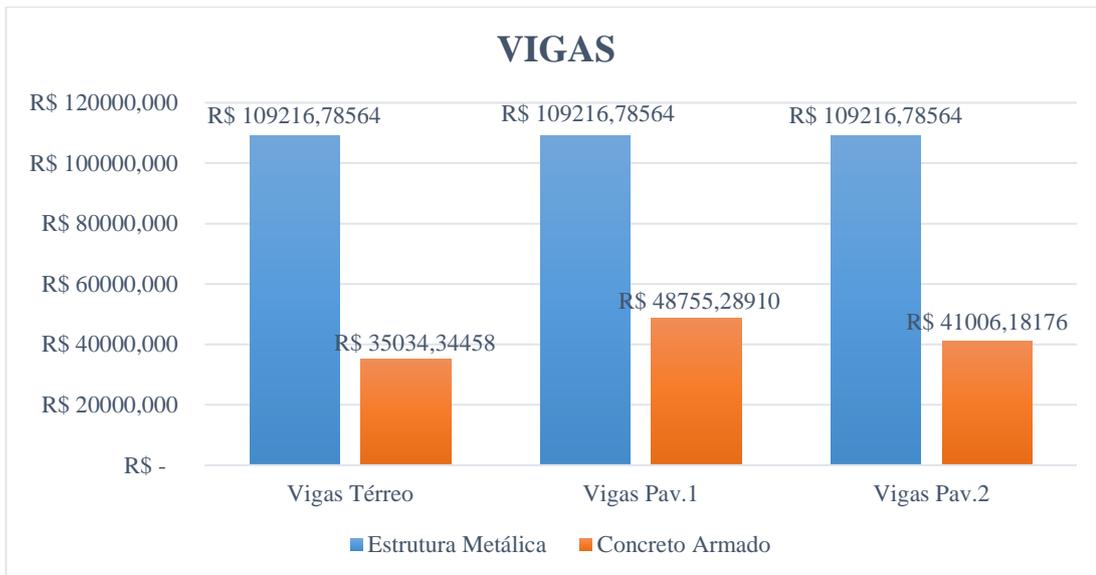


Figura 7 – Comparativo orçamentário das Vigas.

339

340

341

342 Na Figura 7 fica evidente que as vigas metálicas têm um orçamento superior, devido à
 343 diferença de sistemas estruturais, conforme Figura 4 e como citado no item 3.3. O sistema estrutural
 344 em estrutura metálica exige o uso de vigas secundárias em que a laje tipo *steel deck* será apoiada.
 345 Tendo mais vigas, o orçamento certamente será mais oneroso. Em termos de valores, as vigas em
 346 concreto armado ficaram em média 61.9% mais baratas que as vigas metálicas.

347

348 4.4 LAJES

349 A Figura 8 apresenta o orçamento, separado por pavimentos, da construção das lajes,
 350 envolvendo os custos de materiais, mão-de-obra e as atividades que envolvem esta etapa.

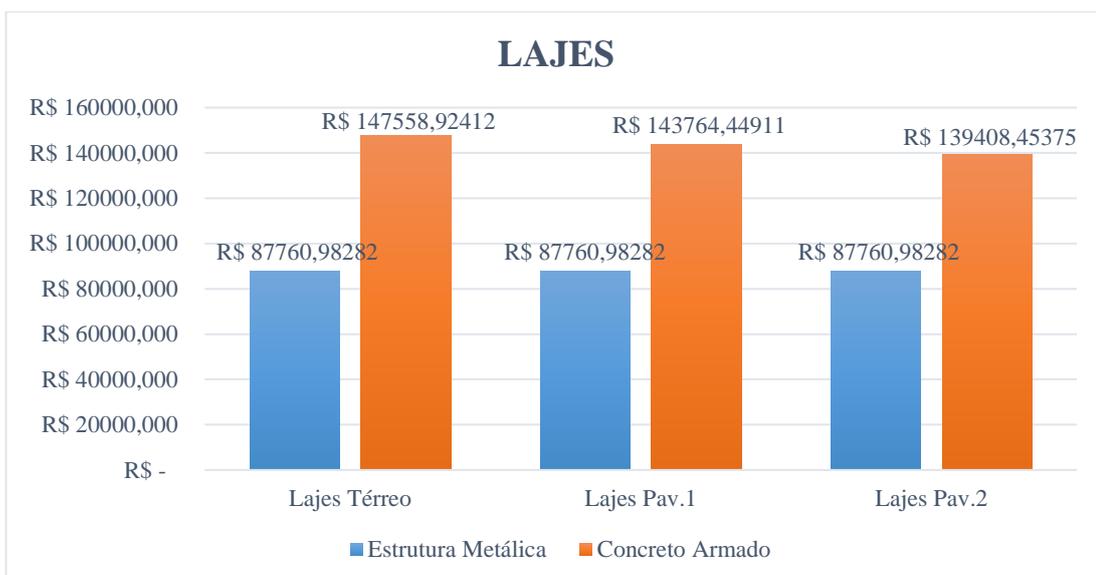


Figura 8 – Comparativo orçamentário das Lajes.

351

352

353

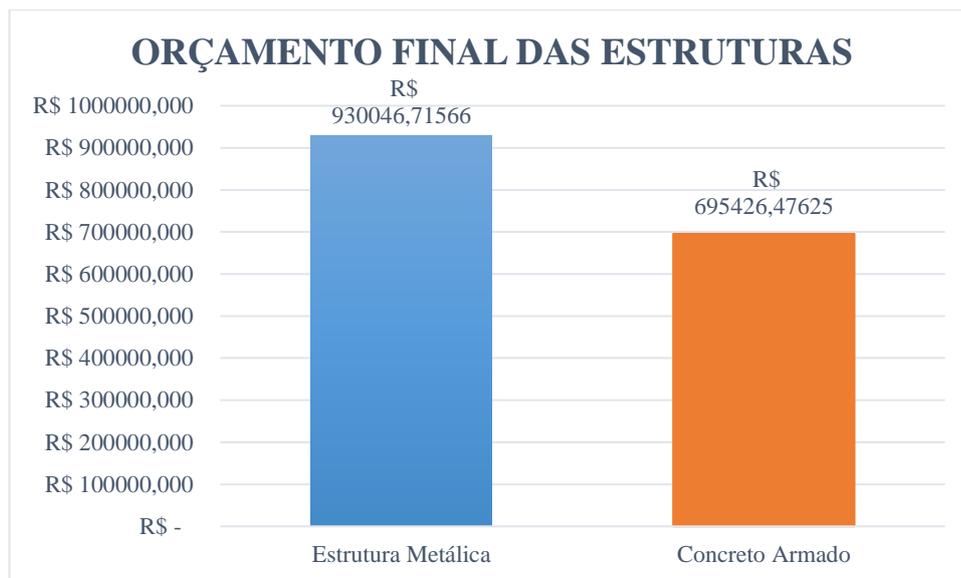
354 Conforme Figura 8, as lajes tipo *steel deck* proporcionam grande economia para o
355 empreendimento, principalmente pelo alto valor que elas representam no orçamento geral da obra.
356 Esta diferença se deve ao fato da menor utilização de concreto, material com alto valor influenciando
357 no orçamento desta etapa. As lajes em estrutura metálica tiveram uma economia média de 38,8%.

358 A utilização das lajes nervuradas permitiu uma redução no orçamento da estrutura em concreto
359 armado. O emprego de lajes lisas acarretaria custos maiores. Para a estrutura metálica, o uso de *slim*
360 *floor*, de acordo com De Mesquita Santos, Machado de Lima e Harger Sakyama (2017), teria
361 vantagens econômicas comparadas com as de *steel deck*, porém o *slim floor* não é aplicado
362 comercialmente no Brasil.

363

364 4.5 ORÇAMENTO GERAL DAS ESTRUTURAS

365 Na Figura 9 e na Tabela 3, está apresentado o orçamento final das duas estruturas, levando em
366 consideração todas as etapas de seus respectivos processos construtivos, materiais, mão-de-obra,
367 equipamento e demais produtos necessários.



368

369 Figura 9 – Comparativo orçamentário entre a estrutura metálica e a em concreto armado

370

371 De acordo com a Figura 9, a estrutura metálica é R\$234.620,24 mais cara e, portanto, a estrutura
372 em concreto armado é 25,23% mais barata, o que condiz com Schmidt (2014) que concluiu através
373 de seu estudo que a estrutura em concreto armado foi 37,67% mais barata. Importante ressaltar que o
374 estudo de Schmidt (2014) não abordou a etapa de fundações e que, de fato, foi comprovado ser um
375 grande diferencial no orçamento final.

376 Os dados demonstraram também resultados que se diferem dos de Rossato (2015). Este afirmou
377 em seu estudo de caso que a estrutura em concreto armado teve uma economia de 69,72%. Importante

378 evidenciar que o estudo de Rossato (2015) levou em conta apenas o custo de materiais, o que não
379 apresenta fidelidade a um orçamento real.

380 Os resultados contrastam com os de Oldham e Wolstenholme (2012), que afirmam que a
381 estrutura metálica pode chegar a uma economia de 13,51%, quando comparada com o concreto. Isso
382 evidencia que os custos das estruturas são bem diferentes entre o Brasil e a Inglaterra, portanto fica
383 difícil fazer um comparativo orçamentário entre os estudos.

384

385 4.6 CRONOGRAMA

386 Na Figura 10, apresenta-se o comparativo entre os cronogramas das duas estruturas separados
387 por etapas e sub-etapas, a atividade “vigas baldrames” foi incorporada na etapa de fundações, pois
388 como na estrutura metálica não se dispôs desta atividade a mesma interfere diretamente nos dias
389 trabalhados para a conclusão da etapa e, conseqüentemente, no início da próxima. As atividades
390 referentes ao contraventamento na estrutura metálica também não está no comparativo, pois não é
391 comum aos dois cronogramas, mas está contabilizada na sua atividade resumo.

392 Importante salientar que as etapas e sub-etapas incorporam todos os dias necessários para
393 executar todas as atividades englobadas neste item, portanto itens que podem ser executados antes da
394 atividade em si começar, são contabilizados neste cronograma, como por exemplo o item 2.2 (Corte,
395 dobra e armação de aço CA-50 para as vigas baldrames) pode iniciar assim que o item 1.3 (Corte,
396 dobra e armação de aço CA-50 para a fundação) estiver finalizado, pois os armadores estarão
397 liberados.

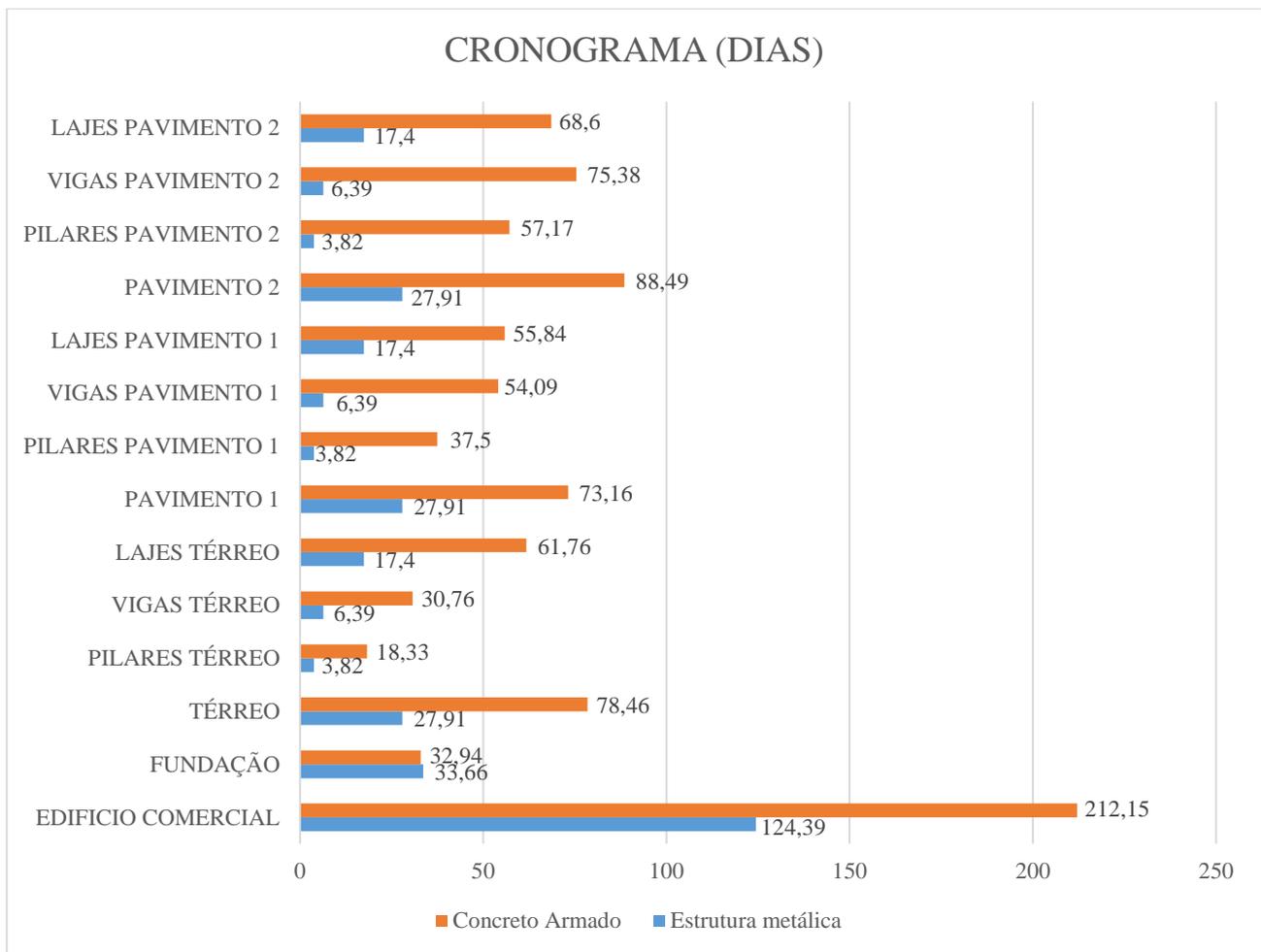


Figura 10 – Comparativo de cronograma entre a estrutura metálica e a em concreto armado

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

De acordo com a Figura 10, todas as atividades executadas em estrutura metálica, com exceção das fundações que também são em concreto armado, possuem um prazo menor do que as atividades executadas em concreto armado, demonstrando claramente a eficiência em termos de produtividade.

A estrutura metálica ficaria pronta aproximadamente 88 dias antes do prazo previsto para a estrutura em concreto armado. Isso representa 41.37% de economia no tempo de execução, o que condiz com Freire (2018), que afirma que o tempo de obra pode ser reduzido em até 40%, se comparado com os sistemas convencionais. Os resultados também condizem com Schmidt (2014), quando afirma que a utilização da estrutura metálica em seu estudo resultou na redução de 38,02% na execução.

Este resultado é superior ao demonstrado por Oldham e Wolstenholme (2012), que afirma que a duração da construção com soluções em estrutura metálica é menor do que as de concreto armado e o prazo pode ser reduzido em até 13%, demonstrando que as técnicas de construção utilizadas para estruturas de concreto em seu estudo podem ser mais avançadas.

415 4.7 RETORNO FINANCEIRO

416 Uma análise mais apurada a respeito do retorno financeiro pode ser feita, uma vez que a redução
417 no prazo de 88 dias, podendo se aproximar para três meses, resulta em um faturamento adiantado
418 advindo dos aluguéis das salas comerciais. Após uma pesquisa com os agentes imobiliários locais,
419 verificou-se que o aluguel de uma sala comercial com estas dimensões, em lugares estratégicos, chega
420 a custar R\$3.000,00 por mês. Como o edifício possui 27 salas, sendo 9 por pavimento, isso resultaria
421 em um total de R\$243.000,00.

422 Schimidt (2014), em sua análise de retorno financeiro, atingiu um valor de R\$49.066.67, que
423 representa em percentual 9.98% do orçamento da estrutura metálica. Valor abaixo dos resultados
424 obtidos neste estudo, uma vez que, o retorno financeiro (R\$243.000,00) representa 26.13% do
425 orçamento da estrutura metálica (R\$930.046,72). Destaca-se que a diferente utilização dos edifícios,
426 um habitacional e outro comercial, impacta diretamente nestes valores, assim como a localização dos
427 mesmos.

428 Este retorno no valor de R\$243.000,00 pode ser descontado do orçamento total da estrutura
429 metálica, uma vez que seria recuperado antes da finalização da edificação, enquanto que o
430 empreendimento em concreto armado ainda estaria em execução, portanto o orçamento final seria de
431 R\$700.046,72. Logo, a estrutura em estrutura metálica seria 0,66% mais barata.

432 Realizando o cálculo reverso, através da diferença de valor entre os orçamentos (R\$234.620,24)
433 dividindo pela quantidade de meses adiantados e pela quantidade de salas comerciais, pode-se inferir
434 que qualquer valor de aluguel acima de R\$2.896,55/mês, podendo arredondar para R\$2.900,00/mês
435 para efeitos práticos de mercado, se torna atrativa a escolha da estrutura metálica como sistema
436 estrutural mais vantajoso.

437

438 5 CONCLUSÕES

439 Este estudo teve como base um edifício comercial fictício que foi dimensionado em dois tipos
440 diferentes de materiais: em estrutura metálica e em concreto armado, ambos conforme as normas
441 regulamentadoras. O dimensionamento foi realizado através de softwares e otimizado quando
442 possível. Os orçamentos e os cronogramas foram calculados para a região do Triângulo Mineiro,
443 utilizando a base de dados do SINAPI, da SETOP (Secretaria de Estado de Transporte e Obras
444 Públicas), TCPO (Tabelas de composição de Preços para Orçamentos) e consultando o mercado local
445 sempre que necessário.

446 De acordo com os cálculos dos orçamentos efetuados e descritos do item 4.1 ao item 4.4, as
447 fundações de fato ficaram mais baratas (38,3%), utilizando a estrutura metálica, devido à redução das
448 cargas da estrutura. Pilares e vigas tiveram o orçamento mais oneroso em estrutura metálica, a

449 economia média é de 69,4% e 61,9% respectivamente. As lajes, item mais caro em concreto armado,
450 ficaram em média 38,8% mais baratas em estrutura metálica.

451 O orçamento geral das estruturas, principal objeto de estudo, localizado no item 4.5,
452 demonstrou que a estrutura metálica apresenta um preço mais elevado, e que a utilização do concreto
453 armado resultaria em uma economia de R\$234.620,24, representando um percentual de 25,23%.
454 Portanto constatou-se que, em um primeiro momento, a estrutura metálica, mesmo levando em
455 consideração o orçamento de todas as atividades e os diferentes tipos de materiais e sistemas
456 estruturais, é mais cara que a estrutura construída em concreto armado.

457 O cronograma, demonstrado no item 4.6, apresentou que a estrutura metálica tem suas
458 atividades desenvolvidas de forma mais rápida. A finalização da estrutura ocorre com
459 aproximadamente 125 dias, 88 dias mais rápido que a de concreto armado, representando 41,37% de
460 economia no tempo de execução.

461 Destaca-se que o empreendimento por ser comercial e as salas contidas neles serem alugáveis,
462 poderia render, de acordo com as análises no item 4.7, uma quantia de até R\$243.000,00. Com isso,
463 a economia de R\$234.620,24 utilizando o concreto armado não fica mais atraente e, portanto, a
464 estrutura metálica seria a melhor opção considerando não somente o prazo, mas também o custo da
465 obra. Pode-se inferir de maneira mais genérica que a escolha da estrutura metálica como sistema
466 estrutural é mais vantajosa em qualquer localidade onde o valor atribuído ao aluguel da sala comercial
467 seja acima de R\$2.900,00.

468 Ressalta-se também que há uma carência de estudos acadêmicos que analisam os orçamentos e
469 realizam comparativos de estruturas no geral e que o custo do aço no Brasil ainda é muito superior
470 que o de outros países. O orçamento é uma das partes mais trabalhosas da engenharia e novos estudos
471 nesta área seriam de grande valia tanto para o mercado público quanto para o mercado privado.

472

473 **6 REFERÊNCIAS**

474 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de**
475 **estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

476
477 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o**
478 **cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2018.

479
480 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao**
481 **vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

482
483 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de**
484 **estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

485
486 BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de Múltiplos Andares em**
487 **Aço**. 2. ed. São Paulo: PINI Ltda., 2008. 556 p.

488
489 BENTLEY SYSTEMS INCORPORATED. **RAM Structural System V8i (Select Series 6) - RAM**
490 **Manager User Manual**. Pennsylvania, 2014.
491
492 CARVALHO, Robert Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento**
493 **de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: Segundo NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: Edufscar,
494 2014. 415 p.
495
496 **CATÁLOGO Steel Deck R60**. São Paulo: MIXFER, 2018. Disponível em:
497 <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/mix_lajes/catalogo_steeldeck_2016.PDF>. Acesso em:
498 10 jul. 2018.
499
500 CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por Estacas: Projeto Geotécnico**. 1. ed. São
501 Paulo: Oficina de Textos, 2010. 96 p.
502
503 **CUSTO de Composições - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção**
504 **Civil (SINAPI)**. São Paulo: CAIXA, 2018. Disponível em:
505 <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648>. Acesso em: 10 jul. 2018.
506
507 DE MESQUITA SANTOS, Vander Júnior; MACHADO DE LIMA, Débora; HARGER
508 SAKIYAMA, Felipe Isamu. **SLIM FLOOR: MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO E ESTUDO**
509 **PARAMÉTRICO**. 2017. 12 f. Artigo (Bacharel em Engenharia Civil)- Universidade Federal de
510 Goiás, [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41447/pdf>>.
511 Acesso em: 04 nov. 2018.
512
513 FREIRE, Carlos. **Análise comparativa: Custos Estrutura metálica x Estrutura de concreto**.
514 Disponível em: <[http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-](http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/)
515 [estrutura-de-concreto/](http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/)>. Acesso em: 15 jul. 2018.
516
517 OLDHAM, Rachel; WOLSTENHOLME, Alastair. **Steel Insight: Multi-storey offices**. 3. ed.
518 Inglaterra: Building Magazine, 2012. 13 p. Disponível em:
519 <https://www.steelconstruction.info/images/b/bb/Steel_Insight-3.pdf>. Acesso em: 14 out. 2018.
520
521 PINI LTDA., Editora (Org.). **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO)**. 13.
522 ed. São Paulo: PINI Ltda., 2010. 316 p.
523
524 **PREÇOS SETOP** - Região Triângulo - c/ desoneração. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de
525 Transportes e Obras Públicas, 2018. Disponível em:
526 <[http://www.transportes.mg.gov.br/ajuda/page/2245-consulta-a-planilha-preco-setop-regiao-](http://www.transportes.mg.gov.br/ajuda/page/2245-consulta-a-planilha-preco-setop-regiao-triangulo-e-alto-paranaiba)
527 [triangulo-e-alto-paranaiba](http://www.transportes.mg.gov.br/ajuda/page/2245-consulta-a-planilha-preco-setop-regiao-triangulo-e-alto-paranaiba)>. Acesso em: 18 jun. 2018.
528
529 ROSSATTO, Bárbara Maier. **Estudo comparativo de uma edificação em estrutura**
530 **metálica/concreto armado: Estudo de caso**. 2015. 90 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia
531 Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
532
533 SCHIMIDT, Leonardo Cordeiro. **Comparativo Orçamentário dos Sistemas Construtivos em**
534 **Estruturas Metálicas Versus Estruturas Convencionais em Edifícios de Pequeno Porte**. 2014.
535 25 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.
536
537 TQS INFORMÁTICA. **Sistema CAD/TQS – Manual do Usuário**. São Paulo, 2017.