



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUIS FELIPE DE MELO MACÊDO

**MODELO DE ESTIMATIVA PARAMÉTRICO PARA ORÇAMENTAÇÃO DE OBRA
EM ETAPA DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Recife
2021

LUIS FELIPE DE MELO MACÊDO

**MODELO DE ESTIMATIVA PARAMÉTRICO PARA ORÇAMENTAÇÃO DE OBRA
EM ETAPA DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil em 2021.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Renato de Siqueira Motta

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4/2222

M141m Macêdo, Luis Felipe de Melo.

Modelo de estimativa paramétrico para orçamentação de obra em etapa de viabilidade econômica / Luis Felipe de Melo Macêdo.

98 f.; figs., quads., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Siqueira Motta.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Departamento de Engenharia Civil, Recife, 2021.

Inclui referências e anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Regressão linear. 3. Análise de dados. 4. Viabilidade econômica. 5. Construção civil. 6. Orçamento paramétrico. I. Motta, Renato Siqueira (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022 - 140

LUIS FELIPE DE MELO MACÊDO

**MODELO DE ESTIMATIVA PARAMÉTRICO PARA ORÇAMENTAÇÃO DE OBRA
EM ETAPA DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil em 2021. Área de concentração: Construção Civil

Aprovada em: 29/12/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato de Siqueira Motta (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Rachel Perez Palha (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que nunca mediram esforços para investir na minha educação, e que sempre estiveram do meu lado quando precisei. Tudo que sou hoje devo a eles.

Ao meu orientador, professor Renato de Siqueira Motta, o qual me aceitou como orientando e não mediu esforços para me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Maurício Oliveira de Andrade e Rachel Perez Palha pela avaliação criteriosa do presente trabalho, o que resultou em uma melhoria importante deste.

À Barbara Eloá Gonçalves de Lima, que forneceu os orçamentos fundamentais para obtenção dos modelos aqui descritos.

Ao engenheiro Henrique Suassuna, pelo fornecimento de orçamentos utilizados para testar o modelo obtido.

À Universidade Federal de Pernambuco e todos os membros do corpo docente do curso de Engenharia Civil que de alguma maneira contribuíram com minha formação ao longo da graduação.

A toda minha família e amigos que sempre estiveram comigo nesta longa caminhada.

RESUMO

Atualmente em empresas ligadas ao setor de construção civil são utilizados métodos para elaboração de estimativas sobre o custo total de um empreendimento. Porém, eles se mostram ineficientes pelo que já foi comprovado em diversas fontes de literatura. Um dos modelos mais utilizados no Brasil é o Custo Unitário Básico (CUB), este pode apresentar uma imprecisão considerável quando comparado ao orçamento executivo da obra, mas geralmente é utilizado para se ter uma possível ideia do custo total do empreendimento. O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo simples de orçamento baseado em diversos orçamentos executivos de edifícios residenciais para utilização na fase de análise da viabilidade econômica de uma obra. Para avaliar o melhor desempenho foram gerados dois modelos que utilizam a mesma variável independente, porém diferentes procedimentos. O primeiro, baseou-se no método de regressão linear simples entre o custo de cada etapa da obra e a área equivalente total da edificação, totalizando 12 regressões lineares. Entretanto, o segundo modelo empregou apenas uma regressão linear simples entre o custo global da obra e a área equivalente do empreendimento. Em termos de resultado, estes foram bastante parecidos, contanto o segundo modelo se mostrou o mais preciso, variando em média, 7.73 % em relação ao orçamento executivo, e com um erro padrão de R\$ 1,169,321.48. Além disso, foi realizada uma comparação utilizando a área equivalente e a área total para o modelo 02 com o objetivo de determinar o melhor parâmetro a ser utilizado. Como esperado, a variável independente que melhor performou foi a área equivalente do empreendimento. O modelo 02 utilizando este parâmetro superou o CUB para uma mesma amostra teste. Como amostra para gerar os modelos 01 e 02, foram utilizados 7 edifícios, 6 de padrão de acabamento de nível alto e 1 de padrão de acabamento de nível médio. Esse estudo demonstra a necessidade de as empresas investirem em análise de dados, e manterem um banco de dados atualizados sobre suas obras, para que com isso possa ser feita uma análise de viabilidade de obra cada vez mais eficiente e precisa, gerando menos gastos desnecessários ao empreendimento.

Palavras-chave: regressão linear; análise de dados; viabilidade econômica; construção civil; orçamento paramétrico.

ABSTRACT

Nowadays, businesses in the civil construction domain are utilizing methods to estimate the total cost of a building. However, those methods are proven by many sources of literature to be inefficient. One of the most used models for cost estimating in Brazil is named CUB (Basic Unit of Cost in Portuguese). This method can be very imprecise when compared with the detailed cost estimate, although it is largely applied to estimate what might be the total cost for constructing a building. The goal of this research is to elaborate a simple model based on a few detailed cost estimates of residential buildings to apply it in the phase of financial appraisal. In order to evaluate the best performance, two models were generated utilizing the same independent variable but with different procedures. The first one, is based on the simple linear regression method between the cost of every step of the construction and the equivalent area of the building (this type of area is obtained multiplying the floor area by a specific factor according to the region of the building), it entails 12 linear regressions. Although, the second model utilize only one linear regression between the total cost of the building and the equivalent area. According to results, these models performed very similarly, however, the second model was proven to be the most precise, with an average percent change of 7.73% compared with its the detailed cost estimate, and with a standard error of R\$1,169,321.48. Moreover, it was made a comparison with the model 02 using the equivalent area and the total area of a building to determine the best parameter. As expected, the best independent variable was the equivalent area. The model 02 with the equivalent area showed a greater result than the CUB for a same testing sample. In order to generate the models 01 and 02 was used a sample of 7 buildings, 6 with a high standard, and 1 with a medium standard. This research demonstrates the necessity for the construction firms to invest in data analysis, and also to maintain a database updated about their construction projects. Doing these, a financial appraisal can be done more efficiently and precisely, generating less unnecessary expenditures to construction companies' businesses.

Keywords: linear regression; data analysis; civil construction; economic viability; parametric budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Número de empregos com carteira assinada no setor de construção civil entre 2003 – 2012.....	15
Figura 2 -	Evolução do empreendimento x orçamento.....	23
Figura 3 -	Variação do perímetro com o aumento da área.....	28
Figura 4 -	Variação de custos em função das fases do projeto.....	39
Figura 5 -	Fases do projeto de uma construção.....	39
Figura 6 -	Custo de interferências ou modificações nos projetos ao longo do tempo....	40
Figura 7 -	Representação dos tipos de desvios relativos a um ponto genérico.....	43
Figura 8 -	Curva normal com média $\bar{x}$	45
Figura 9 -	Formatos de curva normal para combinações de duas médias e dois desvios padrões.....	46
Figura 10 -	Variação na curva da distribuição t-student devido a quantidade de dados da amostra.....	47
Figura 11 -	Gráfico com as maiores diferenças absolutas entre os itens das obras.....	49
Figura 12 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo da administração local (R\$) e área equivalente da obra (m^2)	58
Figura 13 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo da fundação (R\$) e área equivalente da obra (m^2)	59
Figura 14 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo da estrutura (R\$) e área equivalente da obra (m^2)	60
Figura 15 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo de alvenaria/fechamento(R\$) e área equivalente da obra (m^2)	61
Figura 16 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento externo e a área equivalente da obra (m^2)	62
Figura 17 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo das esquadrias e a área equivalente da obra (m^2)	63
Figura 18 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo de pintura e a área equivalente da obra (m^2).....	64

Figura 19 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo de instalações e a área equivalente da obra (m ²).....	65
Figura 20 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo de serviços complementares e a área equivalente da obra (m ²)	66
Figura 21 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo de impermeabilização e a área equivalente da obra (m ²)	67
Figura 22 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento de piso e a área equivalente da obra (m ²)	69
Figura 23 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento de parede e teto e a área equivalente da obra (m ²)	70
Figura 24 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo global da obra e a área equivalente da edificação (m ²)	71
Figura 25 -	Representação gráfica da regressão linear entre custo global da obra e a área total construída da edificação (m ²)	72
Figura 26 -	Intervalo com 95% de confiança para o coeficiente angular com valores reais dos orçamentos das obras H e I	76
Figura 27 -	Distribuição t-student para uma obra de mesma área equivalente da obra H	77
Figura 28 -	Distribuição t-student para uma obra de mesma área equivalente da obra I	78
Figura 29 -	Modelo empregando 9 dados como amostra (reta em azul)	78
Figura C 1 -	Fotografia da obra A (Tr.16Tp.Al.Cm.G , 5Q.5S.D.V-16)	93
Figura C 2 -	Fotografia da obra B (Tr.31Tp.Al.Cm.3G, 2Q/3Q.2S/3S.V-93)	94
Figura C 3 -	Fotografia da obra C (Tr.13Tp.Al.Cm.G, 1Q/2Q-52)	94
Figura C 4 -	Fotografia da obra E (Tr.11Tp.1Atp.Al.Cm.G.Gs.Cb, 4Q.4S.D.V-24)	95
Figura C 5 -	Fotografia da obra F (Tr.4Tp.Al.Cm.G.Cb, 1Q1S/2Q1S/3Q1S/3Q2S.V-16)	97
Figura C 6 -	Fotografia da obra G (Tr.30Tp.Al.Cm.G, 3Q.1S/2S.V-120)	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Custo (%) de cada elemento, em percentagem do total de despesas diretas, para diversos tipos de edifícios.....	26
Quadro 2 -	Formas da planta com área fixa e perímetro variado.....	27
Quadro 3 -	Percentual do item de acordo com o tipo de obra.....	50
Quadro 4 -	Caracterização geral dos edifícios da amostra.....	51
Quadro 5 -	Todos os itens dos orçamentos da empresa A e B conforme consta nos seus orçamentos detalhados.....	53
Quadro 6 -	Tabela Geral de itens e obras.....	54
Quadro 7 -	Itens selecionados para o modelo de orçamentação segundo anomenclatura da empresa A.....	54
Quadro 8 -	Resultado da regressão entre custo da administração local da obra e área equivalente.....	57
Quadro 9 -	Resultado da regressão entre custo da fundação e área equivalente.....	58
Quadro10-	Resultado da regressão entre custo da estrutura e área equivalente.....	60
Quadro11-	Resultado da regressão entre custo de alvenaria/fechamento e área equivalente.....	61
Quadro12-	Resultado da regressão entre custo do revestimento externo e área equivalente.....	62
Quadro13-	Resultado da regressão entre custo das esquadrias e área equivalente.....	63
Quadro14-	Resultado da regressão entre custo de pintura e área equivalente.....	64
Quadro15-	Resultado da regressão entre custo de instalações e área equivalente.....	65
Quadro16-	Resultado da regressão entre custo de serviços complementares e área equivalente.....	66
Quadro17-	Resultado da regressão entre custo de impermeabilização e área equivalente.....	67
Quadro18-	Resultado da regressão entre custo do revestimento de piso e área equivalente.....	68

Quadro19-	Resultado da regressão entre custo do revestimento de parede e teto e área equivalente.....	70
Quadro20-	Resultado da regressão entre custo global da obra e área equivalente.....	71
Quadro21-	Resultado da regressão entre custo global da obra e área total construída...	72
Quadro22-	Principais características das obras H e I.....	74
Quadro23-	Resultados obtidos pelos modelos que utilizam a área equivalente como direcionador de custos.....	74
Quadro24-	Resultados obtidos pelos modelos de estimativa.....	75
Quadro25-	As obras H e I com seus respectivos pontos conforme os modelos do gráfico anterior.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Diferenças e características das avaliações, estimativas e orçamentos.....	24
Tabela 2 -	Tipos de projeto padrão utilizados no CUB.....	34
Tabela 3 -	Índice Nacional de Custo da Construção – INCC Ponderações Municipais...	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	17
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	ORÇAMENTAÇÃO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	21
2.1.1	Conceitos.....	22
2.1.2	Tipos de orçamentos.....	23
2.1.2.1	Orçamentos estimados.....	24
2.1.2.2	Estimativa de custo pelo percentual de etapa da obra.....	25
2.1.2.3	Estimativa de custo baseada nas características geométricas da obra.....	27
2.1.2.4	Estimativa de custo paramétrica.....	31
2.1.2.5	Estimativa de custo pela relação entre a área da construção e o custo total.....	32
2.1.2.6	Estimativa de custo pelo custo unitário básico (CUB).....	32
2.1.3	Indexadores.....	36
2.2	ETAPAS DE UM EMPRENDIMENTO.....	38
2.3	ESTATÍSTICA INFERENCIAL.....	40
2.3.1	Diagrama de dispersão.....	41
2.3.2	Medidas de variabilidade.....	42
2.3.3	Equações paramétricas.....	44
2.3.4	Distribuições normal e t-student.....	45
2.3.5	Intervalo de confiança.....	47
3	METODOLOGIA.....	49
3.1	EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS.....	49
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	50
3.3	METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS.....	51
3.4	DEFINIÇÃO DO MODELO.....	54

4	ANÁLISE DOS DADOS.....	57
4.1	ANÁLISE PARA OBTENÇÃO DAS RELAÇÕES PARAMÉTRICAS DOS ITENS.....	57
4.1.1	Item 01: Administração local da obra.....	57
4.1.2	Item 02: Fundação.....	58
4.1.3	Item 03: Estrutura.....	59
4.1.4	Item 04: Alvenaria/Fechamento.....	60
4.1.5	Item 05: Revestimento Externo.....	61
4.1.6	Item 06: Esquadrias.....	63
4.1.7	Item 07: Pintura.....	64
4.1.8	Item 08: Instalações.....	65
4.1.9	Item 09: Serviços Complementares.....	66
4.1.10	Item 10: Impermeabilização.....	67
4.1.11	Item 11: Revestimento de Piso.....	68
4.1.12	Item 12: Revestimento de Parede e Teto.....	69
4.2	MODELO 02 REGRESSÃO ENTRE ÁREA EQUIVALENTE E O CUSTO TOTAL DA EDIFICAÇÃO.....	70
4.3	MODELO DE REGRESSÃO ENTRE ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA E CUSTO TOTAL DA EDIFICAÇÃO.....	71
4.4	CUSTO UNITÁRIO BÁSICO (CUB).....	72
5	RESULTADOS OBTIDOS.....	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAS.....	79
6.1	CONCLUSÕES.....	79
6.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	78
	REFERÊNCIAS.....	83
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS PADRÕES (NBR 12.721:2006)	86
	ANEXO B – CUB – SETEMBRO/2018 (SINDUSCON-PE, 2018)	92
	ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DE AMOSTRA.....	93

ANEXO D – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ITENS NO MODELO

01.....	98
----------------	-----------

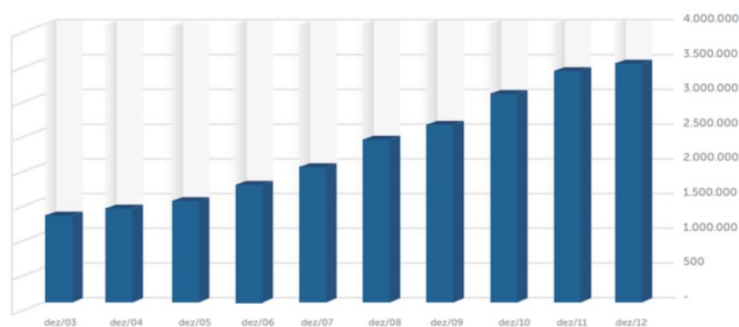
1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem desempenho setorial altamente atrelado crescimento econômico do país. Quando a economia brasileira cresce, o segmento construtivo se desenvolve e tem resultados positivos, sendo também verdadeiro o comportamento contrário (Vieira; Nogueira, 2018). Com cerca de 7.31% do PIB nacional, segundo a base de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2019), o setor está diretamente ligado a economia da nação.

Segundo Amorin (2014 apud Vieira e Nogueira, 2018), uma pesquisa realizada pelo Sindicato da indústria da Construção de Minas Gerais (SINDUSCON-MG), utilizando dados do desenvolvimento da Indústria de Construção Civil nos últimos 20 anos, meados da década de 90 até meados da década de 2010, houve nesta última uma elevação no setor de 52.10%, ou seja, uma ascensão anual média de 4.28%, e nas últimas duas décadas o crescimento foi de 2.82%. O desemprego teve uma queda passando de 8.9% em 2003 para 2.5% em 2014.

Além disso, um estudo feito pelo sistema FIRJAN (2014), em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV) e ao lado de importantes líderes empresariais e acadêmicos do setor da construção civil, constatou um aumento de 170% no número de trabalhadores com carteira assinada no período de 2003 à 2012 (evolução exibida na figura 01). Porém, este mesmo estudo verificou áreas nas quais a indústria de construção civil tem maior carência e que se melhoradas, apresentam elevado potencial de crescimento da produtividade e competitividade para o setor, dentre elas, cabe destacar as práticas modernas de gestão e a incorporação de novas tecnologias ao sistema produtivo das construtoras.

Figura 1 - Número de empregos com carteira assinada no setor de construção civil entre 2003 – 2012



Fonte: Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN (2014)

Mattos (2019), caracteriza o setor da construção civil e suas necessidades:

A indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos. Com a intensificação da competitividade, a globalização dos mercados, a demanda por bens mais modernos, a velocidade com que surgem novas tecnologias, o aumento do grau de exigência dos clientes – sejam eles os usuários finais ou não – e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, as empresas se deram conta de que investir em gestão e controle de processos é inevitável, pois sem essa sistemática gerencial os empreendimentos perdem de vista seus principais indicadores: o prazo, o custo, o lucro, o retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa. Informação rápida é um insumo que vale ouro (MATTOS, 2019, p. 13).

Devido à forte concorrência presente no cenário construtivo, as empresas estão em busca de uma maior produtividade e diminuição nos seus custos. Com isso, tecnologias e métodos têm surgido para suprir tal demanda. Um desses procedimentos é a análise de dados, mecanismo no qual se utiliza de dados para extrair ideias que possam ser empregadas para melhorar o negócio a ser analisado.

Atualmente existem diversos tipos de orçamentos de custos para o setor de construção civil e cada um deles serve para determinado objetivo. Caso deseje-se obter uma ordem de grandeza do custo de um empreendimento, pode-se utilizar uma simples relação linear entre as variáveis área construída e custo global da construção, ou a estimativa de custos como o Custo Unitário Básico (CUB), para isso basta multiplicar este índice pela área de equivalente global da obra, e assim calcular o custo total da construção. Porém, se a ênfase for em obter o valor final da obra com pequena margem de erro, deve-se utilizar um orçamento mais elaborado, como por exemplo, o orçamento executivo ou detalhado.

Diante da baixa precisão dos procedimentos mais simples utilizados para viabilidade econômica de empreendimentos imobiliários, este trabalho irá elaborar um modelo, baseado em análise de dados e em métodos estatísticos. Este será utilizado para originar um orçamento paramétrico, obtendo-se assim um resultado mais preciso e que facilite tanto a etapa de análise de viabilidade econômica da obra em questão, quanto a elaboração do futuro cronograma físico financeiro da obra, além de seu acompanhamento.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O atual cenário de grande competitividade e dinamismo no mercado de construção civil, faz presente a necessidade de constante evolução e adaptação as mudanças. No contexto de estimativas de custos é notável a necessidade de melhora em relação as opções atuais disponíveis no mercado.

A justificativa desse trabalho se dá pela frequente utilização de índices como o Custo Unitário Básico (CUB) nas confecções de orçamentos paramétricos, por parte de empresas do segmento construtivo, empregados na etapa de viabilidade econômica de um empreendimento imobiliário. Este índice deixa de contemplar vários serviços presentes em orçamentos executivos, e ao se tratar de um parâmetro médio, carrega uma certa imprecisão ao orçamento quando comparado aos orçamentos detalhados.

Logo, este trabalho irá elaborar um modelo, baseado em obras de edifícios residenciais já concluídas, utilizando de métodos estatísticos e análise de dados para gerar um orçamento paramétrico que obtenha de forma rápida e eficiente o custo total do empreendimento. Esse modelo pode ser de grande valia na etapa de avaliação econômica de empreendimentos residenciais, pois através do cálculo rápido e otimizado dos custos de cada serviço, será possível obter a distribuição dos possíveis valores de custo global da obra de maneira mais assertiva.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo geral a elaboração de um modelo probabilístico de orçamento paramétrico baseado em obras de edifícios residenciais, e utiliza da análise de dados e métodos estatísticos como base para tal.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- a) estudar sobre os tipos de orçamento de obra e suas características além de conceitos estatísticos como regressões lineares, intervalo de confiança, distribuição normal e t-student;

- b) Comparar o custo final da obra obtido através do modelo com o mesmo gerado pelo CUB e pelo orçamento detalhado;
- c) Verificar quais os serviços que apresentam maior variação e representatividade em relação ao custo total da obra;
- d) Fazer o comparativo de qual modelo é o melhor, o de uma única regressão linear entre o custo total da obra e a área equivalente, ou o de várias regressões lineares que relaciona o custo de cada etapa da obra com a área equivalente da mesma;
- e) Avaliar se a área total da obra ou área equivalente é a melhor variável independente a ser utilizada em um modelo, consecutivamente produzindo os melhores resultados;
- f) Analisar se o erro produzido pelo modelo paramétrico empregado na estimativa de custo está dentro do que é discutido na literatura da construção civil;
- g) Verificar a diferença no percentual das etapas em obras comerciais e residenciais.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será estruturado conforme descrito abaixo.

O primeiro capítulo, Introdução, descreve uma introdução ao tema, englobando a justificativa para a realização do trabalho assim como seus objetivos gerais e específicos, e as limitações do trabalho.

O segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, aborda o conhecimento teórico dos assuntos que compõem esse trabalho. Neste, serão definidos conceitos, como tipos de orçamentos e itens que o compõem, custos da construção civil e suas variações, regressões lineares, conceitos estatísticos que serão empregados para analisar os dados, entre outros fundamentais para a concepção do trabalho.

No terceiro capítulo, Metodologia, é realizada a apresentação das obras de onde foram obtidos os dados para realizar esta pesquisa. Nele são informadas as principais características dos empreendimentos da amostra, como nome, localização, custo total, áreas total e equivalente, e distribuição de pavimentos.

No quarto capítulo, Análise dos Dados, é exposto um estudo de caso. Dele são expandidas as ideias e elaborado dois modelos que o possam melhor explicar. Desses um é escolhido como o modelo a ser empregado na pesquisa, e a partir dele são feitas comparações para escolher o

melhor variável independente a ser empregada, além de avaliações entre esse modelo e os que já são utilizados como o CUB e o orçamento executivo.

O quinto capítulo, Considerações Finais, trata das conclusões do trabalho, baseadas nos resultados obtidos no estudo de caso e na revisão bibliográfica. Outro fator que o capítulo destaca são as sugestões para pesquisas futuras, estas oriundas das dificuldades encontradas neste trabalho e na possibilidade da continuação e aprofundamento do mesmo.

Por fim, o último capítulo, Referências Bibliográficas, é sobre as fontes que foram consultadas para a elaboração do presente trabalho.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Essa pesquisa possui as seguintes limitações:

- a) serão analisadas uma quantidade limitada de obras e de itens do orçamento, o que englobará um número específico de serviços;
- b) nenhum dado de obras de padrão de acabamento nível baixo e apenas um de obra com nível de padrão de acabamento médio foram considerados para a amostra neste trabalho;
- c) os dados retirados do projeto são de orçamentos executivos;
- d) os orçamentos detalhados utilizados nesse trabalho foram realizados pela mesma empresa, sendo utilizados como ferramenta de controle de custos, compra de materiais. Isso tudo contou com procedimentos padronizados para a orçamentação, o que contribui para uma padronização no processo orçamentário e menor distorções entre os dados. Considera-se os dados dos projetos obtidos pela empresa responsável pela orçamentação como sendo verdadeiros, sabendo-se que no momento da realização do orçamento detalhado, pode ter havido erros, estes, caso tenham ocorrido, se propagarão nesta pesquisa. Porém não cabe a esta fazer tal verificação;
- e) devido aos dados desse trabalho serem restritos a obras de alguns estados na região Nordeste, a extrapolação de tais dados para utilização fora desses limites deve ser analisada por uma verificação de compatibilidade entre os mesmos presentes nessa pesquisa e os daqueles presentes no novo ambiente de estudo;

- f) vale salientar que as obras utilizadas na amostra desse trabalho foram realizadas por diferentes incorporadoras, e devido a isto as mesmas podem utilizar diferentes técnicas construtivas o que implica na obtenção de índices distintos umas das outras;
- g) na validação do modelo foram utilizadas duas obras, estas, orçadas por uma empresa diferente da empresa que orçou as obras que deram origem ao modelo. Logo, devido a esse aspecto, os itens de cada orçamento não são escritos com a mesma nomenclatura, o que pode levar a associações erradas entre os itens das duas empresas. Tal erro pode alterar os resultados da validação do modelo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os assuntos expostos nessa seção abordam os temas de orçamentos de obras e projetos, base da teoria sobre a qual o modelo paramétrico se fundamenta. Logo, estes compreendem: a importância e necessidade da orçamentação, principais tipos de orçamentos utilizados tanto profissionalmente quanto no cenário acadêmico, ciclo de vida e fases de um projeto, inferência estatística, distribuições normal e t-student, e intervalo de predição. Com isso, pretende-se fornecer conhecimento teórico para dar embasamento técnico ao trabalho assim como auxiliar no seu desenvolvimento.

2.1 ORÇAMENTAÇÃO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O orçamento está presente em todas as etapas de uma construção, até mesmo quando a mesma ainda não apresenta um projeto. Seja por meio de estimativas, ou aferições mais precisas, o processo de orçamentação é visto como indispensável na busca por um empreendimento final com menores custos, obtendo assim maior rentabilidade (MOREIRA, 2013).

Muito já foi escrito sobre “orçamento e processo orçamentário” e este tema é objeto de um interesse crescente nos últimos anos. Embora seja considerado um assunto relativamente simples, ele enseja uma complexidade grande na sua operacionalização. Se considerado nas diversas fases de um empreendimento, ele evolui passando por: estimativas iniciais de custos, estudos de viabilidade, estudos de engenharia de valor, instrumento de apoio na evolução dos projetos e controle de custos durante a obra, etc., tornando-se um assunto bastante amplo e complexo (GONÇALVES, 2011, p. 28).

Logo, é de grande importância a realização do orçamento de forma mais eficiente e profissional possível. Pois quanto mais o setor de engenharia civil se desenvolve, aumenta a concorrência e a necessidade de ter profissionais capacitados em engenharia de custos nas incorporadoras. Visto que não é suficiente saber elaborar um orçamento, este deve ser desenvolvido de forma mais eficiente possível, poupando tempo, através de emprego de técnicas atuais de execução, e com um preço acessível (DIAS, 2011).

Em virtude da alta competição do mercado imobiliário, as empresas ligadas à construção precisam aumentar as receitas ou cortar custos a fim de aumentarem ou manterem a margem de

lucro desejada. A busca pelo aumento de receita com base na elevação dos preços dos imóveis pode fazer com que a empresa não consiga vendê-los, ficando, assim, fora do mercado. Resta, portanto, às empresas de construção, o caminho de se empenhar na redução de custos de seus empreendimentos para se tornarem mais eficientes e, assim, alcançarem a margem desejada. Desta forma, conhecer os custos de produção é uma questão de sobrevivência para as empresas de construção (MARCHIORI, 2009).

2.1.1 CONCEITOS

Alguns conceitos empregados na área orçamentária são de grande importância de serem compreendidos, pois são utilizados por muitos profissionais. Dentre estes, deve-se destacar os conceitos de indexadores (abordado no item 2.1.3), custo, e seus tipos.

Custo nada mais é do que o gasto utilizado na produção de um produto, execução de um projeto ou para a prestação de serviços.

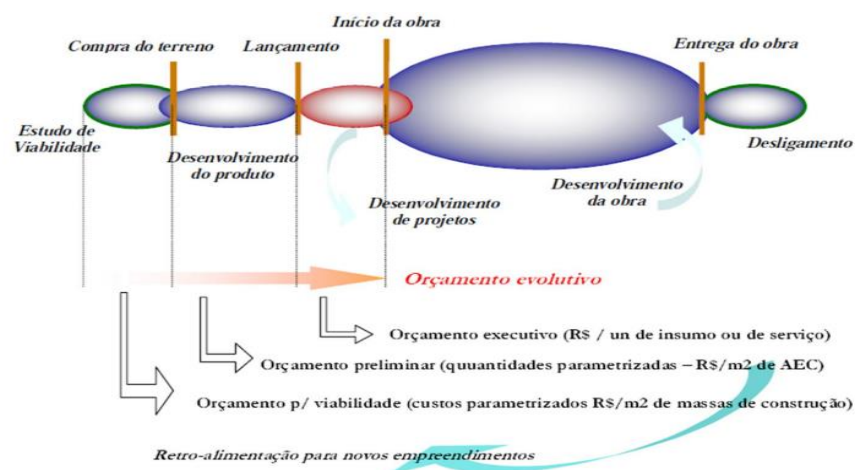
Os custos são divididos em diretos ou indiretos. A diferença básica entre eles é que o primeiro é encontrado na composição de custos unitária e está diretamente e proporcionalmente ligado à produção, ou seja, quanto maior a obra a ser executada, maior o custo direto. A exemplo podemos citar: insumos, materiais, funcionários e equipamentos utilizados na obra. Já os custos indiretos, são despesas que não pertencem a um serviço ou frente de serviço específica. São custos gerados independentemente das quantidades produzidas pela obra e que não foram incluídos nas composições de custos unitários dos serviços. Estes são de ocorrência inevitável e necessitam de serem incluídos no orçamento. Conta de telefone, salário de engenheiro, e administrativo, a alimentação da equipe, o custo de vigilância do canteiro e materiais de escritório são classificados como tal. A lista de despesas indiretas é extensa, e varia com o porte da obra e da empresa, sua duração, localização e particularidades (MATTOS, 2006).

De posse do custo direto, obtido pelas composições de custo unitário dos serviços, e do custo indireto, obtêm-se o custo total da construção.

2.1.2 TIPOS DE ORÇAMENTOS

Muitos autores e livros enfatizam a importância do orçamento e a necessidade imprescindível deste elemento nas empresas, colocando quase numa condição que sem este não há construção. De acordo com a fase em que a obra se encontra, o orçamento apresenta características distintas. Isso acontece devido à quantidade de informações disponíveis no momento da orçamentação, as quais aumentam com o decorrer do tempo, o que acarreta uma maior precisão do orçamento. Alguns autores usam esse critério para classificar os tipos de orçamento. Os autores Assumpção e Fugazza (2000) tratam o orçamento como sendo um processo contínuo e evolutivo (observar figura 2).

Figura 2 - Evolução do empreendimento x orçamento



Fonte: Assumpção e Fugazza (2000)

Segundo Andrade (1996), existe vários tipos de orçamentos, todos possuem a mesma finalidade, mas diferem entre si pelos métodos adotados segundo o estado em que se encontra cada obra. Dentre eles são:

- orçamento convencional;
- orçamento operacional;
- orçamento paramétrico;
- orçamento pelas características geométricas.

Para Mattos (2006), a depender do grau do detalhamento de um orçamento, o mesmo pode ser classificado como: estimativa de custo, orçamento preliminar, orçamento analítico ou detalhado. Devido aos orçamentos de estimativa de custos e orçamento preliminares apresentarem uma certa proximidade no grau de imprecisão, variando apenas no método empregado, para esse trabalho não será feita uma distinção entre eles, logo será utilizado apenas os termos orçamento detalhados (ou analítico) e orçamento estimado.

Ávila, Librelotto e Lopes (2003), concordam com a divisão de tipos de orçamentos acima citada, ao afirmarem que o orçamento produto se obtém de dois procedimentos básicos, por avaliação e estimativa, além da composição de custos unitários.

Os autores Ávila, Librelotto e Lopes (2003), caracterizam os tipos de orçamentos, citam os elementos técnicos necessários para a sua execução, e ainda a margem de erro esperada. Tudo isso para os diversos tipos de orçamentos, como pode ser visto na tabela 01.

Tabela 1 - Diferenças e características das avaliações, estimativas e orçamentos

Tipo	Margem de erro	Elementos técnicos necessários
Avaliações	De 30 a 20%	Área de construção
		Padrão de acabamento
		Custo unitário de obra semelhante ou custos unitários básicos
Estimativas	De 20 a 15%	Anteprojeto ou projeto indicativo
		Preços unitários de serviços de referência
		Especificações genéricas
		Índices físicos e financeiros de obras semelhantes
Orçamento Expedito	De 15 a 10%	Projeto executivo
		Especificações sucintas, mas definidas
		Composições de preços de serviços genéricas
		Preços de insumos de referência
Orçamento detalhado	De 10 a 5%	Projeto executivo
		Projetos complementares
		Especificações precisas
		Composições de preços de serviços específicas
		Preços de insumos de acordo com a escala de serviços
Orçamento analítico	De 5 a 1%	Todos os elementos ao orçamento detalhado mais o planejamento da obra

Fonte: Ávila, Librelotto e Lopes (2003).

2.1.2.1 ORÇAMENTOS ESTIMADOS

Após a concepção inicial do projeto, a ser concretizado por parte da empresa construtora, advém a necessidade de realizar uma estimativa para prevenção de custos e riscos oriundas do

empreendimento. Logo, é de suma importância estimar os custos para a execução da obra e suas variações, que possam vir a ocorrer em vista do cenário dinâmico da construção civil. Entende-se por variações desde atrasos na obra, devido a falhas na execução do seu cronograma, até relativos à falta de documentação necessária para a regularização da obra junto aos órgãos competentes (ALBUQUERQUE, 2011).

É a partir dessa avaliação prévia que o gestor do empreendimento irá optar pelo prosseguimento do projeto, ou aumentá-lo em seu escopo, ou cortar partes, ou reduzir o padrão de acabamento, ou até mesmo abortá-lo se chegar à conclusão de que não dispõe dos recursos requeridos para realizar a obra. A estimativa preliminar do custo da obra é o primeiro ingrediente de qualquer estudo de viabilidade e deve apresentar um grau de precisão adequado em um curto espaço de tempo (MATTOS, 2006).

O pouco tempo disponível para realizar tal atividade acarreta em um elevado grau de imprecisão, a depender do método empregado. Caso o objetivo seja produzir um orçamento mais assertivo e detalhado, são necessárias as realizações dos projetos executivos e complementares, com isso originando um trabalho mais preciso e que demanda mais tempo para ser orçado. Sendo assim, a estimativa de custos é bem-vinda, visto que não demanda tamanho esforço e tempo para a realização da avaliação preliminar (MOREIRA, 2013).

“Dentro do âmbito nacional, dois métodos expeditos têm seu uso mais difundido e aceito no setor de construção de edifícios, sendo estes o Custo Unitário Básico, referenciado como CUB, e a simples relação entre custo total e área de construção.” (OTERO, 2000, p. 5).

Esses métodos são bastante populares nas empresas de construção civil pela sua praticidade. Além destes, outros métodos de estimativas serão abordados em seguida neste trabalho, destacando a estimativa de custo paramétrica, a qual é o tema desta pesquisa.

2.1.2.2 ESTIMATIVA DE CUSTO PELO PERCENTUAL DE ETAPA DA OBRA

O método se baseia na divisão de um orçamento em diversas etapas de acordo com a razão entre o custo da etapa pelo custo total da obra. Para isso ser feito, é necessário utilizar um conjunto significativos de obras de tipologia e tecnologia construtivas semelhantes.

De acordo com Losso (1995), este método necessita do auxílio de outro método que possa determinar o custo de uma das etapas. A partir deste custo e tendo as percentagens de custo cada etapa da obra, obtêm-se o custo total da mesma.

Muitas são as publicações que apresentam distribuições percentuais dos custos de obras das mais diversas tipologias, entretanto muitas delas não indicam qual é o tipo de edificação que está se tratando. Uma de suas principais desvantagens é a necessidade da utilização de obras de mesma tipologia da que se quer estimar os custos, pois dependendo da tipologia pode-se ter uma variação grande na distribuição dos custos da edificação (LOSSO, 1995, p. 26).

A variação na percentagem de cada item do orçamento, de acordo com obras de tipologias diferentes, pode ser observada na tabela abaixo.

Quadro 1 - Custo (%) de cada elemento, em percentagem do total de despesas diretas, para diversos tipos de edifícios.

ELEMENTOS	CASA PADRÃO POPULAR	EDIFÍCIO PADRÃO POPULAR S/ ELEVADOR	EDIFÍCIO PADRÃO POPULAR C/ ELEVADOR
Fundações	10,4	10,1	5,3
Estruturas	9,3	13,1	19,5
Alvenaria	15,0	17,3	4,2
Esquadrias	12,8	10,2	16,0
Cobertura	11,3	2,4	0,2
Impermeabilização	-	0,8	0,4
Revestimentos	2,1	7,1	7,1
Pintura	16,0	10,4	10,2
Pisos	3,6	8,1	5,3
Inst. hidráulicas	9,7	8,0	9,1
Inst. elétricas	9,8	12,5	7,6
Elevadores	-	-	15,1
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Fonte: Losso (1995, p. 26)

Ao se trabalhar com a estimativa de custos por etapa de obra, deve-se ter em conta de que os percentuais são apenas referenciais. No caso de se ter uma obra atípica - implantada em aclave pronunciado, ou em terreno muito fraturado, ou com grandes balanços na estrutura, ou com sofisticada pele de vidro na fachada -, os percentuais da tabela certamente não serão muito exatos (MATTOS, 2006, p. 41).

Uma vantagem do orçamento pelo percentual de etapa da obra é a possibilidade do orçamentista avaliar rapidamente se a cotação de um subempreiteiro está dentro ou fora da faixa esperada (MATTOS, 2006).

2.1.2.3 ESTIMATIVA DE CUSTO BASEADA NAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA OBRA

A variação do nível de qualidade da construção depende diretamente das decisões adotadas com relação aos parâmetros geométricos e soluções de tecnologias construtivas presentes na edificação. Do mesmo modo, estas decisões estabelecem as diversas atividades que devem estar envolvidas no processo construtivo e, assim, os custos diretos e indiretos englobados pela construção, determinando seu custo global (BEZELGA; ESTEVES, 1980 apud OTERO, 2000, p. 19).

Métodos que estimam custos unicamente por área edificada nada mais são do que comparações simplistas entre áreas de uma edificação e outra, desprezando-se as características geométricas que têm grande influência nos custos e não variam em função da área. Surge então a necessidade de um método que considere estas variações em seus custos (LOSSO, 1995, p. 32).

O autor Mascaró (2010) exemplifica essa situação, através de um simples exemplo, que pode ser observado na tabela 03: para uma área fixa de 100m^2 obtém-se diferentes perímetros, os quais estão intimamente relacionados ao custo para realizar vedações verticais na obra, pois quanto maior o perímetro, maior o custo para vedar externamente o empreendimento.

Quadro 2 - Formas da planta com área fixa e perímetro variado

Forma da planta		Área (m^2)	Perímetro(m)	Relações	
				Perímetro - Área	Lado Maior/Lado menor
Circular		100	35.44	0.35	-
Quadrada 10 x 10		100	40	0.4	1
Retangular	5 x 20	100	50	0.5	4
	4 x 25	100	58	0.58	6.25
	2 x 50	100	104	1.04	25
	1 x 100	100	202	2.02	100

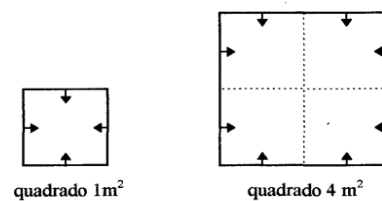
Fonte: Adaptado de Mascaró (2010)

Quanto maior a quantidade do serviço a ser realizado, maior o custo, porém outro fator importante além da quantidade é a complexidade do mesmo. Paredes curvas tendem a ser mais caras para serem executadas comparadas com paredes retas; do mesmo modo a execução de piso com arremate curvo do que reto.

Para uma mesma área a figura com menor perímetro é um círculo, mas essa forma geométrica não é optada pelas construtoras na hora de construir seus edifícios. Isso é devido a grande

dificuldade que tal forma proporciona, gerando um enorme retrabalho e consecutivamente um elevado custo para a obra.

Figura 3 - Variação do perímetro com o aumento da área



Fonte: Losso (1995, p. 34)

Como pode ser observado na figura 03 acima, dois ambientes de formas geométricas iguais possuem consumos por área diferentes. O quadrado com área de um metro quadrado possui quatro metros de perímetro por cada metro quadrado de área, enquanto que o de quatro metros quadrados possui dois metros de perímetro atribuídos a cada metro quadrado. Certos materiais, como os de vedação, tem seu consumo afetado pela área dos compartimentos onde estes serão empregados (LOSSO, 1995).

Com o objetivo de avaliar com certa objetividade o parâmetro geométrico nas obras, as paredes que envolvem o edifício e sua superfície, foi desenvolvido o índice de compacidade (Ic). Este relaciona o perímetro do círculo de mesma que a área do projeto, e o perímetro das paredes do projeto. A fórmula pode ser vista abaixo:

$$I_c = \frac{(2 \times \sqrt{A_p \times \pi}) \times 100}{P_p} \quad (1)$$

Onde:

Ic: é o índice de compacidade;

Pp: é o perímetro das paredes externas;

Ap: é a área de superfície do projeto;

O índice de compacidade assim definido é simples de calcular, mas não reflete com exatidão o custo das fachadas. Arestas e curvas nas fachadas implicam em aumento de seu custo, pelo que é recomendável trabalhar com um índice mais evoluído que incorpore esses incrementos de custos (MASCARÓ, 2010, p. 53).

Define-se, assim, o (Iec) como índice econômico de compacidade, onde o perímetro (Pp) é substituído pelo (Pep) na expressão apresentada anteriormente (MASCARÓ, 2010). Este incorpora arestas e curvas, segundo a fórmula abaixo:

$$Pep = Ppr + 1.5 Ppc + \frac{nA}{2} \quad (2)$$

Onde:

Pep: é o perímetro econômico do projeto;

Ppr: é o perímetro das paredes exteriores retas;

Ppc: é o perímetro das paredes exteriores curvas;

nA: é o número de arestas das fachadas;

Para representar economicamente através do índice de compacidade o custo da geometria das fachadas é necessário acrescentar ao perímetro em metros a quantidade de arestas divididas por um número próximo a dois e acrescentar a quantidade de metros do perímetro que for curvo em um valor próximo de 50% (MASCARÓ, 2010, p. 54).

Estes dois acréscimos se fundamentam em:

- a) normalmente a mão-de-obra de uma aresta custa por cada metro linear como se fosse um metro quadrado e como o material tende a ser o mesmo, cada aresta equivale a 0,5 metros de perímetro.
- b) todo plano curvo custa em média, 50% mais que seu equivalente reto.

Flanagan e Norman (1978 apud Oliveira, 1990) estudaram a relação entre a altura e o custo total da edificação e verificaram a existência de quatro grupos de serviços:

- a) aquele em que o custo unitário aumenta com o acréscimo do número de andares, por exemplo, a instalação dos elevadores;
- b) aquele que o custo unitário diminui com o aumento do número de andares, por exemplo, o telhado;

- c) aquele que o custo unitário não é afetado pelo aumento de andares, por exemplo, o número de portas;
- d) aquele em que inicialmente há uma diminuição no custo unitário e então começa a aumentar com o acréscimo do número de andares, por exemplo, a estrutura.

Este tipo de orçamento leva em consideração vários fatores relacionados com à forma geométrica do empreendimento. Além de utilizar relações paramétricas de maneira direta ou indireta para a determinação do custo total da edificação. O orçamento paramétrico por sua vez, relaciona diretamente o custo com os direcionadores de custo através das relações paramétricas. Devido a pequena distinção entre essas estimativas de custo, muitos autores chegam a afirmar que estas são indiferentes, considerando-as o mesmo tipo de orçamento (MOREIRA, 2013).

2.1.2.4 ESTIMATIVA DE CUSTO PARAMÉTRICA

A estimativa paramétrica de custo utiliza de relações em forma de algoritmos, analogias básicas e até funções matemáticas obtidas da análise de dados para estimar os custos. Tais relações são denominadas relações paramétricas de custo (RPC) (UNITED STATES OF AMERICA, 1995 apud OTERO, 2000).

A relação paramétrica de custo estabelece uma ligação entre o custo e uma característica técnica relevante do produto. Estas características técnicas devem apresentar uma boa correlação com o custo a ser estimado nas relações paramétricas nas quais forem empregadas, e denominam-se direcionadores de custo (UNITED STATES OF AMÉRICA, 1995 apud OTERO, 2000).

Uma definição alternativa para relações paramétricas de custo pode ser observada abaixo:

Em uma definição específica, Relações Paramétricas de Custo são expressões matemáticas que descrevem a ligação entre valores de custos, como variáveis dependentes, a um ou mais parâmetros técnicos do produto, variáveis independentes do modelo denominadas direcionadores de custo (UNITED STATES OF AMÉRICA, 1995 apud OTERO, 2000, p.13).

As equações paramétricas utilizam dados do passado para prever custos sobre projetos a serem realizados. Sobre isso o autor Phaobunjong (2002) faz uma importante ressalva:

Desde que o modelo seja desenvolvido a partir de dados passados relevantes de projeto, o sucesso somente dependerá da capacidade de capturar estes dados em padrões passados. Desta forma, o modelo paramétrico desenvolvido também pode ser usado para estimar o custo de um projeto futuro (PHAOBUNJONG, 2002 apud MOREIRA 2013, p. 39).

Ao ser abastecido com novos dados, o modelo proporciona informação detalhada e atualizada para qualquer usuário.

Em técnicas de estimativa paramétrica são utilizados poucos direcionadores de custos, apenas os que apresentam impacto significativo no produto em estudo, além de maior influência sobre o seu custo. Pode-se citar como ferramentas estatísticas empregadas em estimativas paramétricas o teste de hipótese sobre regressões lineares, regressões múltiplas e análise de variância (UNITED STATES OF AMÉRICA, 1995 apud OTERO, 2000).

Neste trabalho utilizarei a técnica de regressão linear para gerar os modelos paramétricos. Segundo Otero (2000) os procedimentos para a obtenção de estimativas paramétricas são:

- a) levantamento de dados;
- b) avaliação e tratamento dos dados;
- c) reconhecimento de direcionadores de custo;
- d) análise dos direcionadores de custo;
- e) estabelecimento de relações paramétricas;
- f) seleção de relações válidas;
- g) validação do modelo paramétrico.

Ao executar o método de parametrização, os resultados obtidos para as quantidades não são exatos, porém constituem uma boa estimativa para uma situação em que não há se quer projetos. Com o decorrer do processo construtivo vão sendo obtidas mais informações através de projetos e consultas a fornecedores. O que torna as quantidades mais próximas de seus valores reais (GONÇALVES, 2011).

Ainda conforme a autora, a vantagem deste método está na possibilidade de obter o custo de cada etapa da obra antes de ter a posse dos projetos executivos, isso possibilita uma empresa negociar sua obra com uma certa segurança com a construtora. Contratar uma construtora de forma antecipada sem realizar esse tipo de orçamento estimado, pode causar prejuízos no futuro

próximo, o que acarreta as incorporadoras a firmar um contrato apenas quando todos os projetos estão prontos, o que demanda certo tempo.

2.1.2.5 ESTIMATIVA DE CUSTO PELA RELAÇÃO ENTRE A ÁREA DA CONSTRUÇÃO E O CUSTO TOTAL

Um dos métodos mais tradicionais para estimativa de custo relaciona a área da construção com o seu custo. Geralmente utiliza-se de dados históricos da empresa para a formação da base pelo qual o método calculará o preço médio gasto para cada metro quadrado de área construída. Para esse método possuir uma maior assertividade, deve-se observar alguns fatores:

- a) a quantidade de obras do conjunto amostral;
- b) a região onde se localizam as obras da amostra;
- c) o período no qual foi obtido os dados amostrais;
- d) a tipologia da obra que se pretende estimar;
- e) a tipologia das obras utilizadas na amostragem.

Logo, a variação de tais fatores implicará em um resultado com menor acurácia. O método CUB, abordado na sequência, se baseia na estimativa de custos pelo mesmo princípio de relação área da construção e custo total, este possui projetos com várias tipologias diferentes, com dados atualizados mensalmente em todo território nacional, fornecendo assim maior segurança na etapa de orçamento estimado.

2.1.2.6 ESTIMATIVA DE CUSTO PELO CUSTO UNITÁRIO BÁSICO (CUB)

O Custo Unitário Básico (CUB/m²) se originou da Lei Federal nº 4.591 em 16 de dezembro de 1964. Em que de maneira geral descreve que o mesmo deve ser divulgado pelos sindicatos estaduais da indústria da construção civil (SIDUSCON), até o dia 5 de cada mês, conforme os critérios e normas estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (SINDUSCON-MG, 2007).

O objetivo principal do CUB/m² é servir como parâmetro na determinação dos custos dos imóveis. Segundo o Sindicato da Construção Civil de Minas Gerais, Sinduscon-MG (2007), tal índice possui outra função:

Em função da credibilidade do referido indicador, alcançada ao longo dos seus mais de 40 anos de existência, a evolução relativa do CUB/m² também tem sido utilizada como indicador macroeconômico dos custos do setor da construção civil. Publicada mensalmente, a evolução do CUB/m² demonstra a evolução dos custos das edificações de forma geral (SINDUSCON-MG, 2007).

A Norma Brasileira que estabelece a metodologia para cálculo do CUB/m² é a ABNT NBR 12721:2006.

Segundo a ABNT NBR 12721(2006, p. 2), esta define o projeto-padrão do CUB como “Projetos selecionados para representar os diferentes tipos de edificações, que são usualmente objeto de incorporação para construção em condomínio e conjunto de edificações, definidos por suas características principais”. Dentre essas características principais pode-se destacar:

- a) número de pavimentos;
- b) número de dependências por unidade;
- c) áreas equivalentes à área de custo padrão privativas das unidades autônomas;
- d) padrão de acabamento da construção;
- e) número total de unidades.

De acordo com a NBR 12721(2006), as nomenclaturas dos projetos-padrão utilizados no cálculo do CUB/m² podem ser observados na tabela 04 abaixo. Os números indicam a quantidade de pavimentos.

Os detalhes sobre cada tipo de projeto-padrão podem ser consultados no anexo **A**. No entanto, no anexo **B** encontra-se os dados divulgados pelo SIDUSCON-PE (2018) para o mês de setembro de 2018 dos coeficientes CUB/m² do estado de Pernambuco.

Tabela 2 - Tipos de projeto padrão utilizados no CUB

Projetos-padrão Residenciais		
Padrão Baixo	Padrão Normal	Padrão Alto
R-1	R-1	R-1
PP-4	PP-4	R-8
R-8	R-8	R-16
PIS	R-16	
Projetos-padrão Comerciais CAL (Comercial Andares Livres) e CSL (Comercial Salas e Lojas)		
Padrão Normal	Padrão Alto	
CAL-8	CAL-8	
CSL-8	CSL-8	
CSL-16	CSL-16	
Projetos-padrão Galpão Industrial e Residência Popular		
RP1Q		
GI		

Fonte: SINDUSCON-MG (2007).

A quantidade de insumos que cada tipologia de projeto utiliza será com base em cálculos que leva em consideração famílias cujos os itens são correlatos.

O CUB/m² representa o custo parcial da obra e não o global, isto é, não leva em conta os demais custos adicionais. De acordo com a ABNT NBR 12721(2006), item 8.3.5:

Na formação destes custos unitários básicos não foram considerados os seguintes itens, que devem ser levados em conta na determinação dos preços por metro quadrado de construção, de acordo com o estabelecido no projeto e especificações correspondentes a cada caso particular: fundações, submuramentos, paredes-diafragma, tirantes, rebaixamento de lençol freático; elevador(es); equipamentos e instalações, tais como: fogões, aquecedores, bombas de recalque, incineração, ar-condicionado, calefação, ventilação e exaustão, outros; playground (quando não classificado como área construída); obras e serviços complementares; urbanização, recreação (piscinas, campos de esporte), ajardinamento, instalação e regulamentação do condomínio; e outros serviços (que devem ser discriminados no Anexo A - quadro III); impostos, taxas e emolumentos cartoriais, projetos: projetos arquitetônicos, projeto estrutural, projeto de instalação, projetos especiais; remuneração do construtor; remuneração do incorporador. ABNT NBR 1271(2006, p. 53).

De acordo com Gonçalves (2011), o CUB deve ser utilizado com cautela, este abrange edifícios com no máximo 16 pavimentos, fora da especificação de diversos edifícios que apresentam maiores alturas e tipologias que não são contempladas pelo método.

A metodologia para cálculo do CUB é simples e permite a obtenção de indicadores muito realistas. Os itens que o constitui são: salários, preços dos materiais de construção, despesas administrativas, e custos com aluguel de equipamentos.

Com o objetivo de tornar o método mais assertivo, o CUB, através da NBR 12.721 (2006), emprega o conceito de área equivalente. Área cujo custo de construção é equivalente ao custo da respectiva área real, utilizada como referência. Esta pode ser maior ou menor que a área real correspondente. Para exemplificar a situação, o custo de construção de 1 m² na garagem não deve ser o mesmo do que 1 m² na área privativa, pois esta apresenta uma maior quantidade/qualidade de paredes e revestimentos, tornando-se assim um espaço mais custoso de ser construído. Logo, deve-se estabelecer coeficientes para calcular os custos desses espaços, e de acordo com a norma, estes são:

- a) Garagem (subsolo): 0,50 a 0,75;
- b) Área privativa (unidade autônoma padrão): 1,00;
- c) Área privativa salas com acabamento: 1,00;
- d) Área privativa salas sem acabamento: 0,75 a 0,90;
- e) Área de loja sem acabamento: 0,40 a 0,60;
- f) Varandas: 0,75 a 1,00;
- g) Terraços ou áreas descobertas sobre lajes: 0,30 a 0,60;
- h) Estacionamento sobre terreno: 0,05 a 0,10;
- i) Área de projeção do terreno sem benfeitoria: 0,00;
- j) Área de serviço – residência unifamiliar padrão baixo (aberta): 0,50;
- k) Barrilete: 0,50 a 0,75;
- l) Caixa d'água: 0,50 a 0,75;
- m) Casa de máquinas: 0,50 a 0,75;
- n) Piscina, quintais, etc.: 0,50 a 0,75.
- o) Como exemplo, segundo a ABNT NBR 12721(2006):

Se para uma determinada área real coberta, de 60 metros quadrados, estima-se que, em virtude de sensível melhora no padrão de acabamento, o custo unitário efetivo é cerca de 50% maior que o custo unitário básico adotado para as áreas cobertas-padrão do edifício considerado, a área equivalente (Se) corresponde a: $Se = 60 \times 1,50 = 90 \text{ m}^2$. ABNT NBR 12721(2006, p. 17).

Segundo Gonçalves (2011), esta acredita que a depender dos critérios que sejam utilizados para equivalência e homogeneidade de edifícios, o emprego da área equivalente pode contribuir com a melhoria da estimativa de custos. Para haver o aumento da acurácia nos métodos de

estimativa, deve-se buscar a inovação e descartar prática usuais do mercado como o custo por m² de área construída.

2.1.3 INDEXADORES

A construção civil por ser um setor altamente relacionado situação econômica do país, sofre variações de acordo com as variações no mercado econômico, o que altera os custos do segmento. As obras geralmente só serão construídas depois de algum tempo após terem sido orçadas, o que gera uma necessidade de atualização dos orçamentos imediatamente antes, e durante a execução com o objetivo de reduzir a margem de erro do valor orçado.

Esses custos da indústria de construção civil têm sua variação utilizada como indicador de alteração do mercado. O CUB assim como o Índice Nacional de Custos da Construção Civil (INCC), e o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), ambos disponibilizados pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), além de servirem de indicadores dos preços que englobam a construção civil, são utilizados por empresas para atualização de orçamentos referentes a data de elaboração, processo denominado indexação.

O Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) é divulgado mensalmente pelo Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV IBRE). Segundo o *website* oficial da FGV (2021): “O indicador foi concebido no final dos anos de 1940 para ser uma medida abrangente do movimento de preços, que englobasse não apenas diferentes atividades como também etapas distintas do processo produtivo”.

O cálculo do IGP-M é realizado pela média ponderada envolvendo três outros índices, o Índice de preços ao produtor amplo (IPA), Índice de preços ao consumidor (IPC), Índice Nacional de Custo da Construção (INCC).

De acordo com o *website* FGV (2021): “o peso de cada índice componente corresponde a parcelas da despesa interna bruta, tendo como base as Contas Nacionais”. Os pesos são mostrados a seguir:

- a) 60% para o IPA;
- b) 30% para o IPC;
- c) 10% para o INCC.

A função de cada um desses três índices pode ser vista abaixo:

O IPA é o indicador que monitora a variação de preços de bens agropecuários e industriais, nas transações comerciais em nível de produtor, ao passo que o IPC acompanha o comportamento dos preços sobre o setor varejista e serviços que impactam diretamente o consumidor final. E por fim, o INCC apresenta os custos para a construção civil, em uma análise que leva em conta a variação de preços de materiais de construção e custo de mão de obra especializada (FGV, 2021).

O Índice Geral de Preços – Mercado é utilizado como indexador de contratos em empresas prestadoras de serviços, assim como no setor imobiliário, para o reajuste em contratos de aluguel. Além disso, o IGPM também está presente em empresas de telefonia e energia elétrica, visto que influencia parte dos reajustes tarifários desses segmentos. (FGV, 2021). O Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), também divulgado mensalmente pelo Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV IBRE), foi concebido na década de 50, sendo hoje um dos maiores indicadores para o seu segmento. O mesmo tem como objetivo o acompanhamento da evolução de custos de construções habitacionais. Segundo FGV (2016), a fundação se baseia em orçamentos detalhados de construções habitacionais desenvolvidos por empresas contendo composição de custo, para três padrões de construção:

- a) h1: Casa de 1 pavimento com sala, 1 quarto e demais dependências, medindo, em média, 30m².
- b) h4: Edifício habitacional de 4 pavimentos, constituído por unidades autônomas de sala, 3 quartos e dependências, com área total média de 2520 m².
- c) h12: Edifício habitacional de 12 pavimentos, composto de apartamentos de sala, 3 quartos e dependências, com área total média de 6.013 m².

O INCC pode ser dividido em dois grupos. O primeiro, materiais, equipamentos e serviços, sendo responsável por aproximadamente 54% do índice. E o segundo, mão-de-obra, que conta com cerca dos 46% restantes. (PARMAIS, 2018).

Inicialmente esse índice se restringia a cidade do Rio de Janeiro. Contudo, nas décadas seguintes passou a abranger os custos de construção nas sete principais capitais brasileiras,

são elas: Belo Horizonte, Brasília, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, São Paulo e Salvador. (PARMAIS, 2018).

O índice é calculado pela média ponderada dos dados coletados nas sete capitais analisadas. Na categoria materiais estão três grupos: estruturais, instalações e acabamentos. A tabela 5 abaixo mostra o peso de cada capital no índice.

Tabela 3 - Índice Nacional de Custo da Construção – INCC Ponderações Municipais

Municípios de capitais	Peso(%)
Recife	5,24
Salvador	9,31
Belo Horizonte	11,13
Rio de Janeiro	9,49
São Paulo	43,29
Porto Alegre	11,04
Brasília	10,50
TOTAL	100,00

Fonte: Metodologia IGP-M, FGV (2016)

Geralmente nos empreendimentos imobiliários comprados na planta os reajustes dos preços, desde da fases iniciais da construção até a entrega das chaves aos proprietários, é realizado pela indexação do INCC. Isso é feito para resguardar o construtor de um eventual aumento nos insumos ou na mão-de-obra utilizada na construção. Após a entrega, a indexação do preço do empreendimento costuma ser feita pelo IGP-M.

Neste trabalho optou-se por utilizar o INCC para a indexação dos orçamentos detalhados.

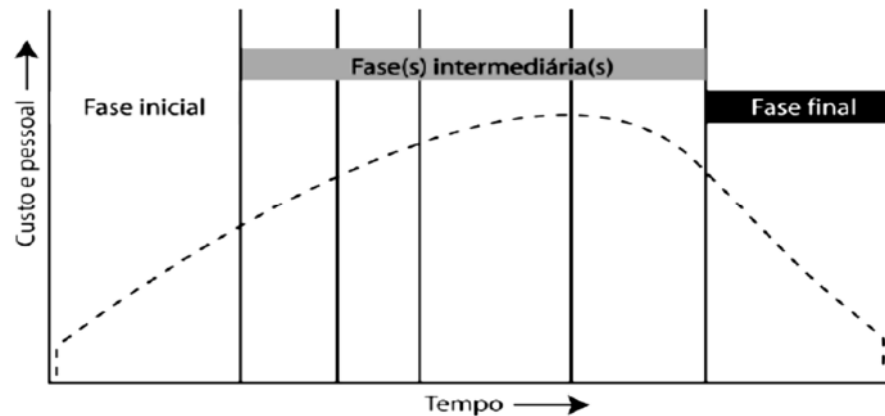
2.2 ETAPAS DE UM EMPREENDIMENTO

Dividir um projeto em etapas oferece maior controle gerencial e potencializa a capacidade de execução do mesmo. Essas etapas são comumente chamadas de ciclo de vida do projeto. Este é definido pelos autores Dinsmore e Cavalieri (2003) e PMI (2000):

O ciclo de vida do projeto serve para definir o início e o fim do projeto e definem qual o trabalho (atividade) deve ser realizado em cada etapa e quem deve estar envolvido. Ele descreve o conjunto de processos que devem ser seguidos para que o projeto seja bem gerenciado (Dinsmore & Cavalieri, 2003; PMI, 2000 apud Silva 2011, p. 25).

Segundo a evolução de um projeto, os seus custos operacionais aumentam de forma proporcional, atingindo o ponto de máximo nas fases intermediárias e decrescendo na fase final. Esse comportamento pode ser observado na figura 4.

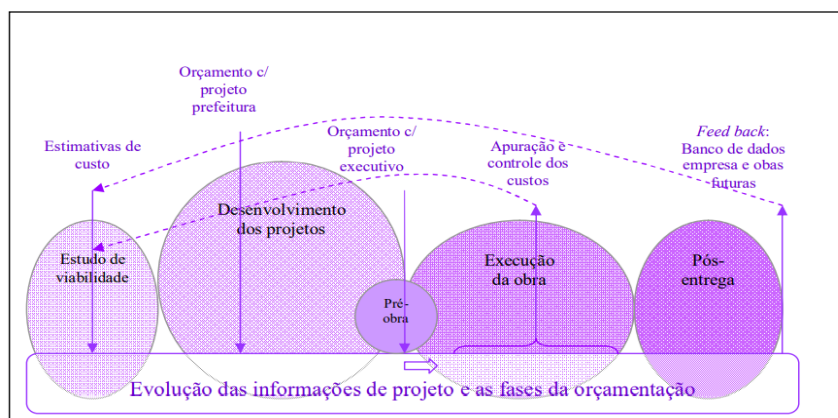
Figura 4 - Variação de custos em função das fases do projeto



Fonte: PMBOK (2004)

As fases do projeto de uma construção normalmente são divididas nas etapas de: estudo de viabilidade, desenvolvimentos de projetos executivos, pré-obra, execução da obra, e pós-entrega (observar a figura 5).

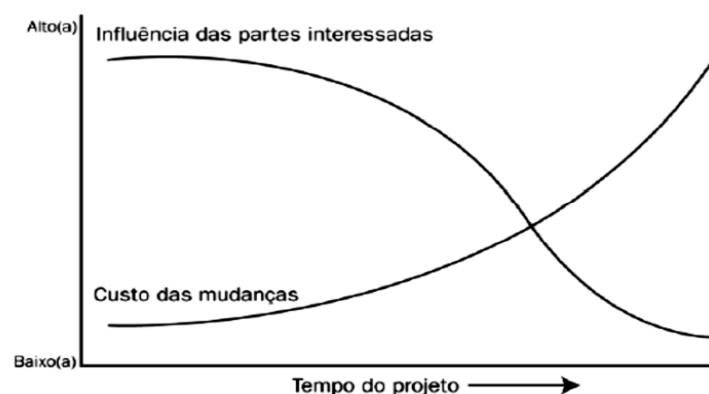
Figura 5 - Fases do projeto de uma construção



Fonte: Marchiori (2009)

O presente trabalho tem como foco a etapa de estudo de viabilidade econômica, onde são estabelecidas as informações fundamentais do produto e onde os gastos geram menor custo devido ao empreendimento estar numa fase inicial. Ao analisar o custo de modificações no projeto em função do tempo, observa-se que quanto maior o tempo decorrido, mais custoso será para realizar modificações nos parâmetros do projeto. Logo, é melhor realizar alterações quando o projeto se encontra em fases iniciais (ver figura 6).

Figura 6 - Custo de interferências ou modificações nos projetos ao longo do tempo



Fonte: PMBOK(2003)

Este trabalho por contribuir com a acurácia do método de estimativa de custos possibilita realizar ganhos para as empresas do setor de construção civil. Além disso, o mesmo se concentra na fase de estudo de viabilidade econômica do empreendimento, a qual proporciona mudanças no projeto com menores custos, quando comparado a outras etapas da construção.

2.3 ESTATÍSTICA INFERENCIAL

A estatística inferencial é um dos ramos da estatística, ela se baseia na análise de dados de uma amostra para chegar a conclusões sobre um grupo maior, uma vez que é impossível examinar cada membro desse grupo individualmente. Na estatística inferencial são empregados conceitos de probabilidade para fazer as inferências a respeito da amostra estatística. Entre as técnicas mais utilizadas estão a regressão linear, análise de correlação e análise de variância ANOVA. A regressão linear é a técnica estatística que pode ser utilizada para descrever o comportamento entre uma única variável dependente (saída) e um conjunto de variáveis independentes

(entradas). O seu objetivo é identificar uma equação linear que permita prever o valor esperado da variável dependente em função dos valores conhecidos das variáveis independentes (LARSON; FARBER, 2015).

Com o objetivo de criar um modelo paramétrico é necessário analisar nas equações paramétricas as relações existentes entre as variáveis dependentes e independentes. Quando essas duas variáveis estão ligadas por uma relação estatística, dizemos que existe uma correlação entre elas (CRESPO, 2002).

A regressão linear pode ser classificada como simples ou múltipla. Uma regressão linear é dita como simples quando possui apenas uma variável independente, e múltipla quando a mesma contém duas ou mais variáveis independentes (LARSON; FARBER, 2015). O presente trabalho apresenta modelos de regressões lineares simples, e para entendê-los é importante a compreensão dos tópicos descritos a seguir.

2.3.1 DIAGRAMA DE DISPERSÃO

Segundo Crespo (2002), o diagrama de dispersão, representado em um sistema cartesiano ortogonal os pares ordenados (x_i, y_i) , é caracterizado como uma nuvem de pontos. Esse diagrama fornece uma abstração aproximada, porém útil, da correlação existente entre duas variáveis. Através do diagrama é possível observar que cada correlação está associada com uma “imagem” em uma relação funcional. Nessa pesquisa a correlação existente é linear, porém uma correlação pode ser definida como:

- a) linear positiva: se os pontos do diagrama têm como “imagem” uma reta ascendente;
- b) linear negativa: se os pontos têm como “imagem” uma reta descendente;
- c) não-linear: se os pontos tem como “imagem” uma curva;
- d) nula: se os pontos se apresentam dispersos, sem uma “imagem” definida, concluímos que não há relação alguma entre as variáveis em estudo.

O diagrama de dispersão fornece uma ideia da relação existente entre as variáveis. Mas devido a subjetividade do método visual, faz-se necessário a confirmação de tal relação através de cálculos numéricos (MOREIRA, 2013).

2.3.2 MEDIDAS DE VARIABILIDADE

O instrumento utilizado para medir uma correlação linear é o coeficiente de correlação de Pearson. Esse coeficiente indica o grau de intensidade da correlação entre as variáveis independente e dependente e, ainda, o sentido dessa correlação (positivo ou negativo). (CRESPO, 2002). O coeficiente é calculado pela seguinte expressão:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (3)$$

Onde:

n: número de observações;

x_i : é o valor de cada dado da amostra da variável independente;

y_i : é o valor de cada dado da amostra da variável dependente;

Conforme os critérios semelhantes utilizados pelos autores Solano (1995) apud Parisotto (2003) e Crespo (2002), neste trabalho será adotado como critério de correlação:

- a) r igual a zero indica que não existe correlação;
- b) r entre 0 até ± 0.30 indica uma correlação fraca;
- c) r entre ± 0.30 até ± 0.60 indica uma correlação média;
- d) r entre ± 0.60 até ± 0.90 indica uma correlação forte;
- e) r entre ± 0.90 até ± 0.99 indica uma correlação fortíssima;
- f) r igual a ± 1 indica uma correlação perfeita.

Após calcular o coeficiente de correlação, pode-se obter o coeficiente de determinação (r^2), este determina o quanto da variável dependente pode ser explicado a partir do modelo em questão. Para exemplificar esse conceito, se r é igual a 0.9, logo r^2 é 0.81, isso significa que

81% da variação de y pode ser explicada pelo modelo que relaciona x e y . Os 19% restantes não são explicados e são consequência de outros fatores, como erro amostral, ou variáveis não consideradas (LARSON; FARBER 2015).

Segundo Otero (2000), o coeficiente de determinação varia conforme o número de observações na amostra, e tende a diminuir conforme esse número aumenta. Ao possuir duas observações, obtêm-se o valor máximo igual a um, porque por dois pontos passa apenas uma reta e os desvios entre os dados coletados e a estimativa são nulos. Com o objetivo de superar este empecilho, define-se o coeficiente de determinação ajustado, r^2 ajustado, corrigido para graus de liberdade e dado pela fórmula:

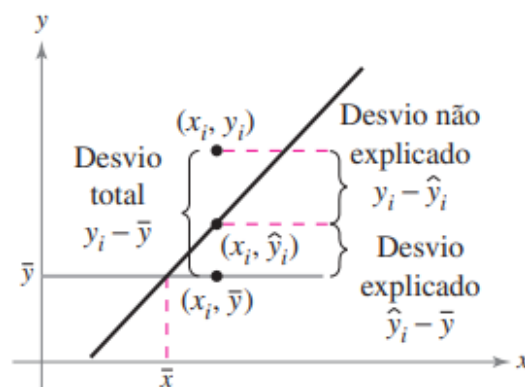
$$r^2 \text{ ajustado} = r^2 - \frac{1}{n-2}(1-r^2) \quad (4)$$

Onde:

r^2 : é o coeficiente de determinação;

Outro parâmetro muito importante para compreensão dos modelos de estimativa de regressão linear é o erro padrão. Observe a figura 07 abaixo.

Figura 7 - Representação dos tipos de desvios relativos a um ponto genérico



Fonte: Larson e Farber (2015, p.465)

Segundo Larson e Farber (2015), $(y_i - \bar{y})$ representa o desvio total, $(y_i - \hat{y}_i)$ o desvio não explicado (resíduo), e $(\hat{y}_i - \bar{y})$ o desvio explicado (dado pelo modelo), ambos para um conjunto de par ordenado (x_i, y_i) .

O erro padrão de uma estimativa (Se) é o desvio padrão dos valores observados y_i em torno do valor previsto $\hat{y}_i$ para um dado valor de x_i . (LARSON; FARBER 2015). Pode ser descrito como:

$$Se = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad (5)$$

Onde:

y_i : ordenada do ponto observado;

$\hat{y}_i$: ordenada obtida pela equação de regressão;

n : número de pares ordenados;

2.3.3 EQUAÇÕES PARAMÉTRICAS

Com o objetivo de descrever matematicamente a relação entre duas variáveis, de acordo com um número n de observações sobre as mesmas, as equações paramétricas do presente trabalho foram determinadas da seguinte forma:

- Admitindo-se uma função linear representada na forma $y = ax + b$, para obter os coeficientes “a” e “b” deve-se utilizar as equações:

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (7)$$

Onde:

n : número de observações;

$\bar{y}$: média dos valores de y_i ;

$\bar{x}$: média dos valores de x_i ;

a : coeficiente angular da reta;

b : coeficiente linear da reta.

2.3.4 DISTRIBUIÇÕES NORMAL E T-STUDENT

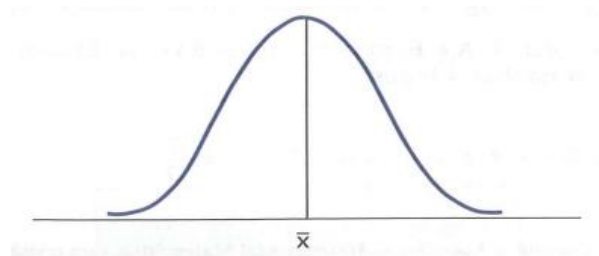
De acordo com Larson e Farber (2015), em um experimento probabilístico (ou aleatório) pode-se obter resultados em forma de contagem ou de uma medida. Uma variável aleatória x representa um valor numérico associado a cada resultado desse experimento. Uma variável aleatória pode ser classificada em discreta ou contínua. A variável aleatória contínua possui um número infinito de valores possíveis que podem ser representados por um intervalo em uma reta numérica. Sua distribuição de probabilidade é definida por uma função chamada de função densidade de probabilidade (pdf - probability density function).

A mais importante entre as distribuições contínuas em estatística é a distribuição normal. Esta é bastante empregada para modelar muitos conjuntos de dados das mais diferentes áreas como na natureza, indústria e em negócios.

A distribuição normal apresenta várias características padrões, dentre elas:

- a) a curva que representa graficamente a distribuição normal tem forma de sino, simétrica em torno da média ($\bar{x}$), e recebe o nome de curva normal ou Gaussiana;
- b) a curva normal é assíntota ao eixo das abscissas;

Figura 8 - curva normal com média $\bar{x}$



Fonte: Crespo (2002)

A função (pdf) que representa a curva normal pode ser representada matematicamente pela equação (8) abaixo:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad (8)$$

Onde:

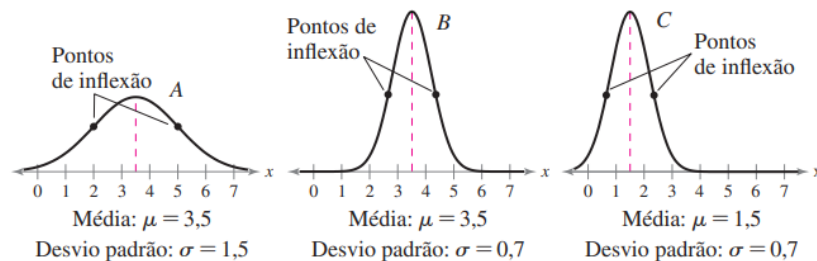
μ : representa a média;

σ : representa o desvio padrão;

Segundo os autores Larson e Faber (2015) a média e o desvio padrão têm influência direta no formato da curva de distribuição normal, como pode ser observado na figura 09:

Uma distribuição normal pode ter qualquer média e qualquer desvio padrão positivo. Esses dois parâmetros, μ e σ , determinam o formato da curva normal. A média dá a localização da linha de simetria e o desvio padrão descreve o quanto os dados estão dispersos (LARSON; FARBER 2015, p. 219).

Figura 9 - Formatos de curva normal para combinações de duas médias e dois desvios padrões

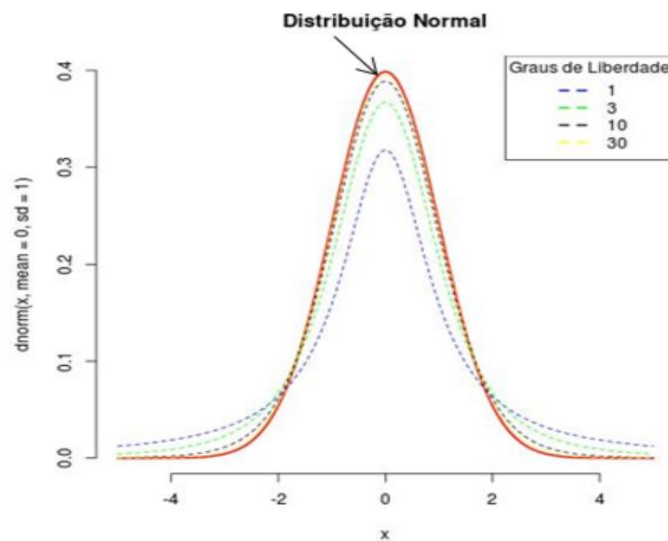


Fonte: Larson e Farber (2015)

Nesse presente trabalho foi utilizada também a distribuição t-student que muito se assemelha a distribuição normal.

A distribuição t-student tem sua curva simétrica em relação à média, e apresenta um formato de sino com aspecto mais achatado do que a curva normal (devido a maior variabilidade). Essa distribuição geralmente é empregada para amostras de tamanhos menores, e quanto maior for a amostra, mais a distribuição se aproximará da distribuição normal. A figura 10 abaixo exemplifica a curva da distribuição de t-student à medida que o número de dados em uma amostra aumenta. A distribuição t-student tende a distribuição normal quando o número de dados na amostra tende ao infinito.

Figura 10 - Variação na curva da distribuição t-student devido a quantidade de dados da amostra.



Fonte: Mensuração Florestal (2017)

2.3.5 INTERVALO DE CONFIANÇA

Uma técnica bastante importante na estatística inferencial é a definição de um intervalo de confiança. É através da estatística amostral que é possível fazer uma estimativa de um parâmetro populacional. Com o objetivo de fazer tal inferência, é necessário primeiro calcular a estimativa pontual.

Segundo Larson e Faber (2015, pg. 277): “uma estimativa pontual é um valor único estimado para um parâmetro populacional. A estimativa pontual menos tendenciosa (viesada) da média populacional μ é a média amostral $\bar{x}$ ”. No caso da regressão linear a estimativa pontual é o coeficiente angular, este o maior responsável pelo custo total da construção, já que está diretamente relacionado com a área da obra. Após obtida a estimativa pontual é definida uma estimativa intervalar, ou seja, uma estimativa por intervalo utilizada para estimar um parâmetro populacional. Para calcular a amplitude deste intervalo e, consecutivamente, os limites extremos L_1 e L_2 do mesmo, deve-se inicialmente determinar o nível de confiança com que a estimativa intervalar contenha o valor real populacional. Vale ressaltar que uma das premissas da regressão linear é a variância constante dos resíduos (homocedasticidade) o que não é verdade para o nosso caso, pois quanto maior a área (m^2) da obra maior dispersão dos possíveis custos do orçamento. Por isso alguns cálculos de erros e inferência da regressão linear simples

não são válidos. Assim iremos utilizar o valor de custo/área (R\$/m²), que é o coeficiente angular do modelo linear, como o indicador de dispersão e de intervalo de confiança.

Os autores Larson e Faber (2015, pg. 279) definem nível de confiança: “nível de confiança α é a probabilidade de que a estimativa intervalar contenha o parâmetro populacional, supondo que o processo de estimação é repetido um grande número de vezes”.

Logo, considerando a variável aleatória uma distribuição t-student, e a regressão linear $y = \beta_1 x + C$, pode-se calcular os extremos da estimativa intervalar para o coeficiente angular β_1 , conforme as seguintes equações:

$$L_1 = \beta_1 - t_\alpha Se_{\beta_1} \quad (9)$$

$$L_2 = \beta_1 + t_\alpha Se_{\beta_1} \quad (10)$$

onde:

β_1 : coeficiente angular da regressão linear;

t_α : valor da distribuição t-student para o nível de confiança α ;

Se_{β_1} : erro padrão do coeficiente angular.

Com os valores extremos obtidos das equações 9 e 10 é possível determinar as retas limites para o custo global da obra com o intervalo de nível de confiança α , segundo as equações abaixo:

$$Y_{sup} = L_2 x + C \quad (11)$$

$$Y_{inf} = L_1 x - C \quad (12)$$

onde:

C: coeficiente linear da regressão linear $y = \beta_1 x + C$;

L1: limite extremo inferior para o valor do coeficiente angular β_1 ;

L2: limite extremo superior para o valor do coeficiente angular β_1 ;

3 METODOLOGIA

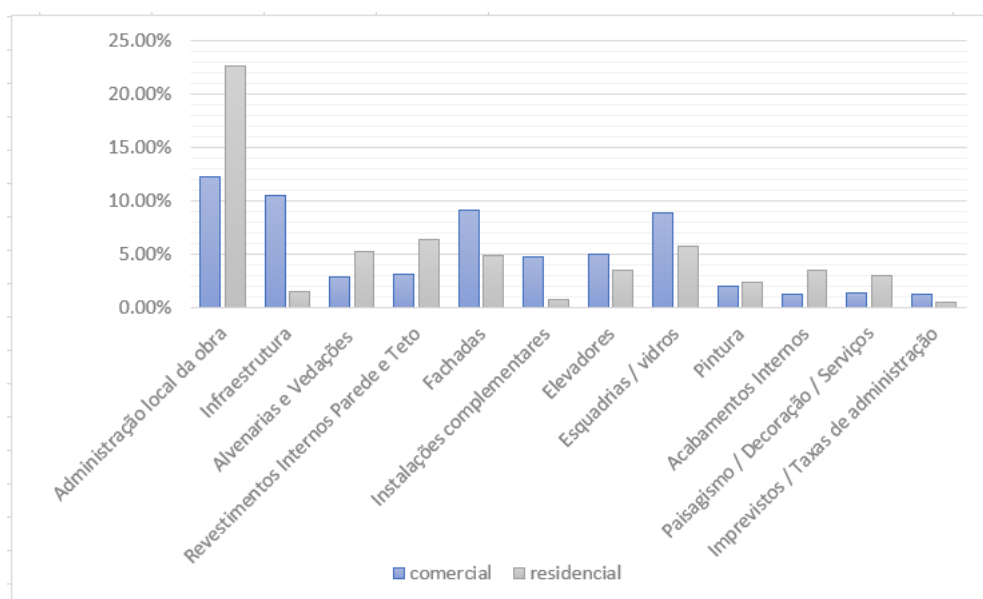
3.1 EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS

Dentre as várias possibilidades de tipos de construções, no ramo de edifícios as mais comuns são os edifícios residenciais e comerciais. Edifícios residenciais tendem a utilizar o sistema construtivo baseado em concreto armado e alvenaria de vedação. Porém, as construções de edificações verticais comerciais empregam mais estruturas metálicas e vidros.

Ao fazer um estudo sobre orçamentação em obras de edifícios é de fundamental importância somente utilizar obras que empregam o mesmo sistema construtivo. Obras de sistemas construtivos distintos apresentam orçamentos com percentagens diferentes para um mesmo item. Isso ocorre devido a maior ou menor necessidade da utilização de determinados materiais na obra, o que aumenta ou diminui os custos das etapas do orçamento onde estes materiais são empregados, alterando o preço do orçamento final.

Os dados a seguir, obtidos por parte de uma construtora, demonstram as percentagens de dezoito itens do orçamento para suas obras do tipo comercial e residencial. No total foram utilizadas duas obras residenciais e oito comerciais.

Figura 11 - Gráfico com as maiores diferenças absolutas entre os itens das obras



Fonte: O autor, 2021

Quadro 3 - Percentual do item de acordo com o tipo de obra

Itens do orçamento		Comercial	Residencial	Diferença Relativa
1	Serviços Gerais	12.19%	22.62%	85.55%
2	Infraestrutura	10.49%	1.48%	-85.88%
3	Estrutura	21.13%	23.82%	12.71%
4	Alvenarias e Vedações	2.84%	5.19%	82.90%
5	Revestimentos Internos Parede e Teto	3.12%	6.34%	103.37%
6	Revestimento Piso Interno	3.61%	3.51%	-2.58%
7	Fachadas	9.15%	4.79%	-47.60%
8	Pavimentação Externa	0.75%	0.51%	-31.71%
9	Impermeabilização / Tratamentos	1.18%	1.38%	17.16%
10	Instalações Hidrossanitárias	4.04%	4.27%	5.74%
11	Instalações Elétricas e de telecomunicações	7.12%	6.70%	-5.86%
12	Instalações complementares	4.75%	0.78%	-83.60%
13	Elevadores	4.98%	3.48%	-30.22%
14	Esquadrias / vidros	8.90%	5.77%	-35.17%
15	Pintura	1.92%	2.36%	23.13%
16	Acabamentos Internos	1.27%	3.49%	175.51%
17	Paisagismo / Decoração / Serviços	1.31%	2.95%	124.56%
18	Imprevistos / Taxas de administração	1.24%	0.53%	-57.48%

Fonte: O autor, 2021

A figura 11 e a tabela 06 exemplificam a diferença encontrada na percentagem dos itens em obras de tipos distintos. Dentre elas, a etapa Revestimentos Internos Parede e Teto apresenta maior diferença percentual entre construções residenciais e comerciais, visto que a primeira utiliza revestimentos mais custosos nos pisos e paredes como porcelanatos e cerâmicas. Outro item de destaque é Fachadas, este é mais custoso nas obras comerciais, pelo fato de nesse tipo de obra ser mais utilizado vidros laminados, temperado ou pele de vidro, materiais de custo mais elevado que cerâmica e pastilha, já que além dos seus custos requerem mão de obra especializada para instalação.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os dados dessa pesquisa contemplam sete edifícios residenciais de concreto armado e blocos de vedação, seis edifícios possuem alto de padrão de acabamento, enquanto 1 apresenta padrão de acabamento médio. A amostra de edifícios contém quantidades variadas de pavimentos, programas de apartamentos variando entre 1 e 5 quartos, e localizados na região Nordeste nos

estados de: Pernambuco (4 empreendimentos), Alagoas (1 empreendimento), e Paraíba (2 empreendimentos). O anexo C apresenta através de imagens a caracterização de alguns dos edifícios englobados nessa pesquisa.

Neste trabalho optou-se por utilizar a maior quantidade de dados possíveis, logo o maior número de informações presentes nos orçamentos detalhados é de obras que apresentam dados de área equivalente e área total construída, estes possuem sete observações cada, contra apenas cinco da área privativa (ver tabela 07). Entretanto, pela área equivalente apresentar melhor desempenho comparado à área total construída, acredita-se que este parâmetro ao ser empregado no modelo desenvolvido nesta pesquisa apresentará melhores resultados. Além disso, a área equivalente por levar em consideração o nível de acabamento de diferentes ambientes, trata-se de uma variável independente mais acurada.

Pela tabela 07 pode-se observar a não uniformidade de áreas equivalentes dentro da amostra em estudo, está varia entre 1200.58 m^2 e 11308.08 m^2 .

Quadro 4 - Caracterização geral dos edifícios da amostra

nome da obra	Área total construída (m^2)	Área equivalente (m^2)	Área Privativa (m^2)	Tipologia do edifício	Programa de apartamento
Obra A	7,117.96	6,224.05	-	Tr.16Tp.Al.Cm.G	5Q.5S.D.V-16
Obra B	14,237.42	11,308.08	7,491.30	Tr.31Tp.Al.Cm.3G	2Q/3Q.2S/3S.V-93
Obra C	4,912.97	4,417.54	-	Tr.13Tp.Al.Cm.G	1Q/2Q-52
Obra D	3,713.86	3,860.15	2,046	Tr.11Tp.Al.Cm.G.	1Q/2Q.1S-55
Obra E	13,118.23	11,191.47	8,027.58	Tr.11Tp.1Atp.Al.Cm.G.Gs.Cb	4Q.4S.D.V-24
Obra F	1,307.18	1,200.58	901.59	Tr.4Tp.Al.Cm.G.Cb	1Q1S/2Q1S/3Q1S/3Q2S.V-16
Obra G	11,935.20	10,218.50	7,715.40	Tr.30Tp.Al.Cm.G	3Q.1S/2S.V-120

Fonte: O autor, 2021

Tr: Pavimento térreo; Tp: Pavimento tipo; Al: Área de Lazer ; Cm: Casa de máquinas; G: Pavimento de garagem ; Cb: Coberta ; Gs: Pavimento de garagem subsolo ; Atp: Pavimento diferente do padrão; Q: Número de quartos; S: Número de suítes; D: dependência; V: Varanda; -n: número de apartamentos total no edifício

3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

Inicialmente foi selecionada uma amostra de 7 obras privadas, de onde são extraídas informações dos orçamentos executivos de todas as obras, e os serviços que compõem cada etapa da construção. Esses orçamentos utilizados de base para o atual trabalho foram realizados

por uma empresa, denominada aqui empresa A, especialista em orçamentos. Em seguida, foram gerados dois modelos utilizando como variável independente a área equivalente.

Neste trabalho foi obtido o modelo 01 baseado nas regressões lineares entre custo de cada etapa da obra e a área equivalente total da mesma. Optou-se por obter o modelo através desse método, em comparação a apenas uma regressão linear entre custo total da obra e a área equivalente, pelo fato de acreditar-se que este teria maior precisão, visto que são realizadas mais regressões lineares e estas estão englobando itens menores em cada regressão. Após obter este modelo paramétrico, é realizada uma comparação entre a precisão alcançada por este e pela simples regressão linear única entre a área equivalente e o custo total da edificação, também chamado aqui de modelo 02.

De posse dos dois modelos cuja variável independente é a área equivalente, o que melhor performou foi escolhido para representar este trabalho. Além disso, foi realizada uma comparação com o modelo que apresentou melhor resultado empregando a área total construída e área equivalente, com o objetivo de verificar se esta última é de fato o melhor parâmetro de entrada. De acordo com este resultado, o modelo escolhido utilizando o parâmetro de entrada mais eficiente foi validado. Outra comparação feita, foi entre a acurácia deste modelo com o Custo Unitário Básico (CUB) e o orçamento executivo. Com isso, este poderá realizar os cálculos de custos de forma otimizada e rápida sem ter que realizar todas as análises que foram empregadas para o conjunto amostral inicial.

A amostra, de sete obras, por ter sido orçada por uma mesma empresa (empresa A), apresenta quase todos os mesmos itens em seus orçamentos. Porém os orçamentos das duas construções que não fazem parte dessa amostra, e por isso foram utilizadas para validar o modelo, foram realizados por outra empresa (empresa B).

Pelo fato de alguns itens desses orçamentos divergirem dos orçamentos da amostra, foram selecionados apenas os que de fato são comuns a ambas, totalizando 13 itens. Destes, apenas o revestimento de parede e teto foram modificados para tornarem-se um único item, ao invés de dois. Observar o quadro 5 abaixo.

Quadro 5 - Todos os itens dos orçamentos da empresa A e B conforme consta nos seus orçamentos detalhados

Nomes dos itens do orçamento empresa A	=	Nomes dos itens do orçamento da empresa B
Administração local da obra	=	Serviços Gerais
Fundação	=	Fundação
Estrutura	=	Estrutura
Alvenaria/fechamento	=	Alvenarias e Vedações
Revestimento de Piso	=	Revestimento de piso interno
Revestimento de Parede e Teto	=	Revestimentos internos de Parede e Teto
Revestimento externo	=	Fachadas
Esquadrias	=	Esquadrias/vidro
Pintura	=	Pintura
Instalações	=	Instalações
Serviços complementares	=	Paisagismo / Decoração / Serviços complementares
Impermeabilização, Regularização	=	Impermeabilização / Tratamentos
Tratamento Acústico		Infraestrutura
Granitos e soleiras		Pavimentação Externa
Coberta		Elevadores
Movimento de Terra		Acabamentos internos
Serviços Preliminares e instalação da Obra		Imprevistos / taxas de administração
Consumos Gerais		
Segurança do trabalho		
Equipamentos		
Projetos, Estudos e Taxas		

Fonte: O autor, 2021.

Os sinais de igualdade do quadro 5 representam os itens que são equivalentes entre os orçamentos das empresas A e B. Os demais itens foram desconsiderados para a análise.

No quadro 6 se encontra todos os itens dos orçamentos das empresas A e B, e suas respectivas obras. As obras orçadas pela empresa A são as obras de A até G, e as obras orçadas pela empresa B são as obras H e I. O X significa que uma obra contém determinado item em seu orçamento.

Os doze itens em comum selecionados dos orçamentos das duas empresas são expressos com suas respectivas percentagens em relação ao total, média e desvio padrão, conforme o quadro 7.

Quadro 6 - Quadro Geral de itens e obras.

Obras:		Obra A	Obra B	Obra C	Obra D	Obra E	Obra F	Obra G	Obra H	Obra I
Serviços:										
1	Projetos, Estudos e Taxas	X	X	X	X	X	X	X		
2	Administração Local Da Obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Equipamentos	X	X	X	X	X	X	X		
4	Segurança Do Trabalho	X	X	X	X	X	X	X		
5	Consumos Gerais	X	X	X	X	X	X	X		
6	Serviços Preliminares e Instalação Da Obra	X	X	X	X	X	X	X		
7	Movimento De Terra	X	X	X	X	X	X	X		
8	Fundação	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Estrutura	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Alvenaria/Fechamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Revestimento De Piso	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Revestimento De Parede	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	Revestimento De Teto	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	Revestimento Externo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	Esquadrias	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	Pintura	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	Instalações	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	Serviços Complementares	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	Tratamento Acústico				X	X		X		
20	Granitos e Soleiras		X	X	X	X	X	X		
21	Coberta				X	X				
22	Impermeabilização, Regularização		X	X	X	X	X	X	X	X
23	Infraestrutura								X	X
24	Pavimentação externa								X	X
25	Elevadores								X	X
26	Acabamentos Internos								X	X
27	Imprevistos / taxas de administração								X	X

Fonte: O autor, 2021

Quadro 7 - Itens selecionados para o modelo de orçamentação segundo a nomenclatura da empresa A.

Número	Item	percentagem do total	média	Desvio Padrão
1	Administração Local da Obra	14.97%	R\$ 1,904,287.16	R\$ 750,165.72
2	Fundação	8.52%	R\$ 1,084,026.87	R\$ 767,284.38
3	Estrutura	19.67%	R\$ 2,502,061.59	R\$ 1,772,145.15
4	Alvenaria/Fechamento	4.66%	R\$ 593,341.87	R\$ 369,657.66
5	Revestimento Externo	6.49%	R\$ 825,399.39	R\$ 529,947.02
6	Esquadrias	8.25%	R\$ 1,049,895.94	R\$ 697,179.15
7	Pintura	2.12%	R\$ 269,380.17	R\$ 185,889.90
8	Instalações	16.88%	R\$ 2,147,038.23	R\$ 1,270,480.16
9	Serviços Complementares	1.64%	R\$ 209,092.88	R\$ 207,249.87
10	Impermeabilização, Regularização	1.12%	R\$ 166,671.80	R\$ 100,931.01
11	Revestimento de Piso	7.80%	R\$ 992,180.53	R\$ 1,045,706.71
12	Revestimento de Parede e Teto	7.87%	R\$ 1,001,711.50	R\$ 627,177.12

Fonte: O autor, 2021

3.4 DEFINIÇÃO DO MODELO

Primeiramente, para a obtenção do modelo 01 foram calculadas as equações paramétricas dos 12 itens acima através regressão linear simples do custo do item de cada obra com a respectiva

área equivalente da mesma. O único item que somente teve seis informações foi Impermeabilização, os demais tiveram todos sete informações cada. Após obtida as equações paramétricas, foi calculada a função do custo da obra (variável dependente) através da variável independente (área equivalente), conforme a equação 3 abaixo:

$$f(x) = (A1 x + B1) + (A2 x + B2) + \dots + (A12 x + B12) \quad (13)$$

Onde:

$f(x)$: custo total da obra;

A: coeficiente angular obtido em cada regressão linear;

B: coeficiente linear obtido em cada regressão linear;

x : área equivalente da obra que se deseja calcular o custo total;

Em seguida foi obtido o modelo 02, este, é composto apenas por uma regressão linear entre área equivalente e o custo total das obras. Neste modelo, também foi utilizado as 7 amostras do modelo 01. A equação que representa o modelo 02 pode ser expressa conforme a equação abaixo:

$$v(x) = Cx + D \quad (14)$$

Onde:

$v(x)$: representa o custo total da obra

C: coeficiente angular obtido na regressão linear;

D: coeficiente linear obtido na regressão linear;

x : área equivalente da obra que se deseja calcular o custo total;

Após calculado os modelos foi selecionado aquele cuja performance se mostrou mais eficiente. De posse deste, foi obtido o intervalo de confiança para cálculo dos possíveis valores para o custo total das obras na amostra teste.

Aspecto importante a ser mencionado:

Os custos de cada obra variam de acordo com o tempo, e como os orçamentos foram realizados em datas distintas, deve-se atualizá-los para uma mesma data. Logo, para esta pesquisa utilizou-se da indexação pelo Índice Nacional da Indústria da Construção Civil (INCC), utilizando como o índice de referência do mês de setembro de 2018 (741.305).

4 ANÁLISE DOS DADOS

4.1 ANÁLISE PARA OBTENÇÃO DAS RELAÇÕES PARAMÉTRICAS DOS ITENS

O custo de cada item do orçamento foi analisado fazendo uma regressão linear entre o direcionador de custos, área equivalente total da obra, e o custo do respectivo item. Feito isso, adiciona-se todos os coeficientes angulares entre si e da mesma forma os coeficientes lineares, para se obter a equação do custo total da obra em função da área equivalente. No anexo **D** encontra-se as principais informações sobre os itens que compõem o modelo 01.

4.1.1 ITEM 01: ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA

Os custos englobados pela administração local da obra envolvem os salários da equipe fixa de funcionários da administração, além de adicionais contratações de estagiários e encarregados de acordo com o tamanho da obra.

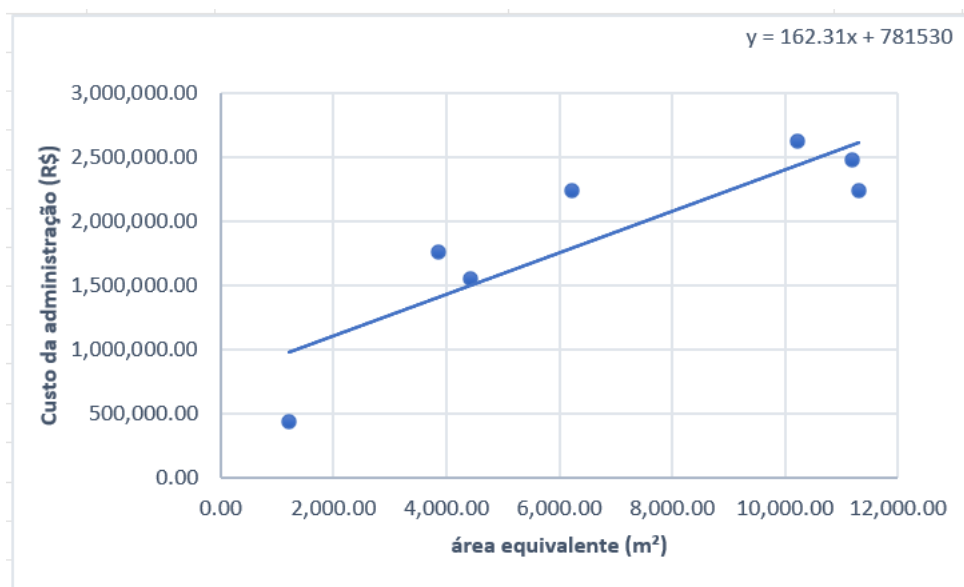
O item por ter o coeficiente de Pearson igual a 0.87 apresenta uma correlação forte entre as variáveis custo da administração local da obra e área equivalente. Cerca de 76% da variação do custo da administração local da obra pode ser explicadas pela equação paramétrica obtida. Os dados utilizados para compor o modelo apresentam erro padrão em relação a estimativa de R\$ 403,889.53. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 8 - Resultado da regressão entre custo da administração local da obra e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>		
R múltiplo		0.870883172
R-Quadrado		0.7584375
Erro padrão	R\$	403,889.53
Observações		7

Fonte: O autor, 2021

Figura 12 - Representação gráfica da regressão linear entre custo da administração local da obra (R\$) e área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.2 ITEM 02: FUNDAÇÃO

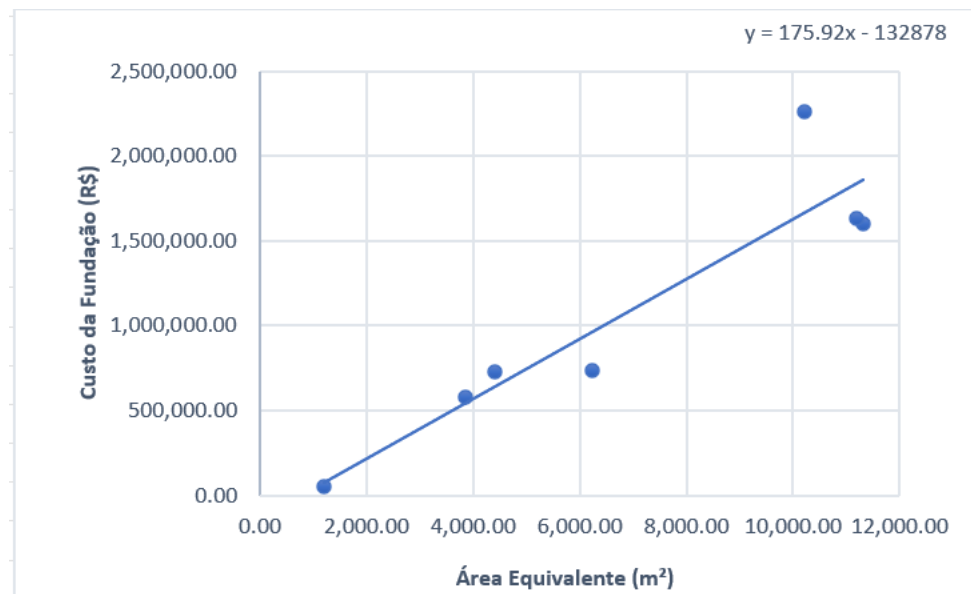
Para o item de fundação os custos abrangem os serviços como sondagens, realização do gabarito e locação de obra, tubulões, concretagem sapatas e vigas baldrame, montagem das armaduras. Esse item do orçamento apresenta coeficiente de correlação Pearson igual a 0.92 sendo classificado por conter uma correlação fortíssima entre as variáveis analisadas. Aproximadamente 85% da variação do custo para execução da fundação pode ser explicado pela equação paramétrica gerada. Os dados utilizados para compor o modelo apresentam erro padrão em relação a estimativa de R\$ 323,730.52. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 9 - Resultado da regressão entre custo da fundação e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.922851482
R-Quadrado	0.851654859
Erro padrão	R\$ 323,730.52
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 13 - Representação gráfica da regressão linear entre custo da fundação (R\$) e área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.3 ITEM 03: ESTRUTURA

O custo da estrutura advém de da soma dos custos para execução, por parte dos funcionários, da concretagem, montagem das armações, das formas e a desmontagem da forma.

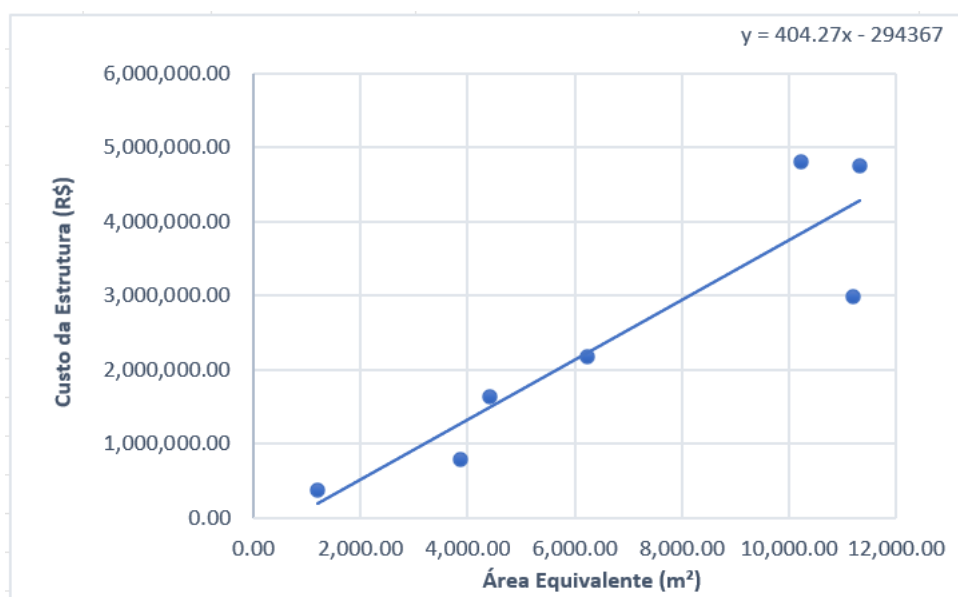
O coeficiente de correlação de Pearson encontrado foi de aproximadamente 0.92, o que indica uma fortíssima correlação entre o custo da estrutura e área equivalente. O erro padrão entre os dados empregados no trabalho e a reta de regressão é de R\$ 768,990.29. Além disso, o modelo consegue explicar cerca de 81% da variação do custo da estrutura baseado na equação que relaciona as duas variáveis estudadas. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 10 - Resultado da regressão entre custo da estrutura e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.91819711
R-Quadrado	0.843085933
Erro padrão	R\$ 768,990.29
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 14 - Representação gráfica da regressão linear entre custo da estrutura (R\$) e área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.4 ITEM 04: ALVENARIA/FECHAMENTO

Nas obras analisadas a alvenaria é de blocos de tijolo cerâmico, com principal utilidade de vedação. Os serviços englobados nessa etapa são: marcação de primeira fiada de tijolo, elevação da alvenaria, realização de encunhamento (aperto da alvenaria/estrutura utilizando argamassa), fechamento de shaft com gesso acartonado. Este item contempla tanto alvenarias internas quanto externas, esta última costuma apresentar um tijolo de maior largura.

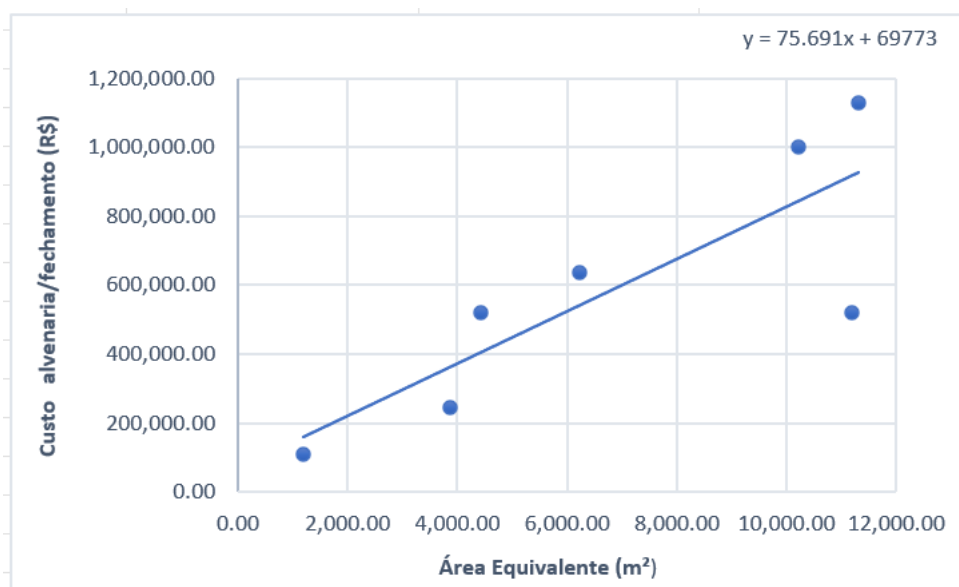
Para este item temos um coeficiente de Pearson de 0.82, o que caracteriza uma correlação forte. Outro parâmetro que cabe ser destacado é o R^2 de aproximadamente 68%. Por fim, o item consta com um erro padrão de R\$ 229,347.06. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 11 - Resultado da regressão entre custo de alvenaria/fechamento e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.82414876
R-Quadrado	0.679221179
Erro padrão	R\$ 229,347.06
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 15 - Representação gráfica da regressão linear entre custo de alvenaria/fechamento(R\$) e área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.5 ITEM 05: REVESTIMENTO EXTERNO

No revestimento externo dos edifícios são utilizados pastilhas, cerâmica, granito e ACM (Aluminium Composite Material). Nota-se maior emprego da cerâmica em comparação com os outros materiais. Ao utilizar cerâmica e pastilhas é empregado o rejunte com o objetivo de vedar, evitar a umidade e evitar descolamento do revestimento da argamassa de reboco, no

ACM se utiliza o silicone. Além disso, a fachada deve conter juntas de dilatação, estas proporcionam a liberdade de movimentação das pastilhas ou cerâmicas e evitam as trincas ou deslocamento das mesmas, causado por variações térmicas, expansão hidráulica, agitações estruturais, dentre outras.

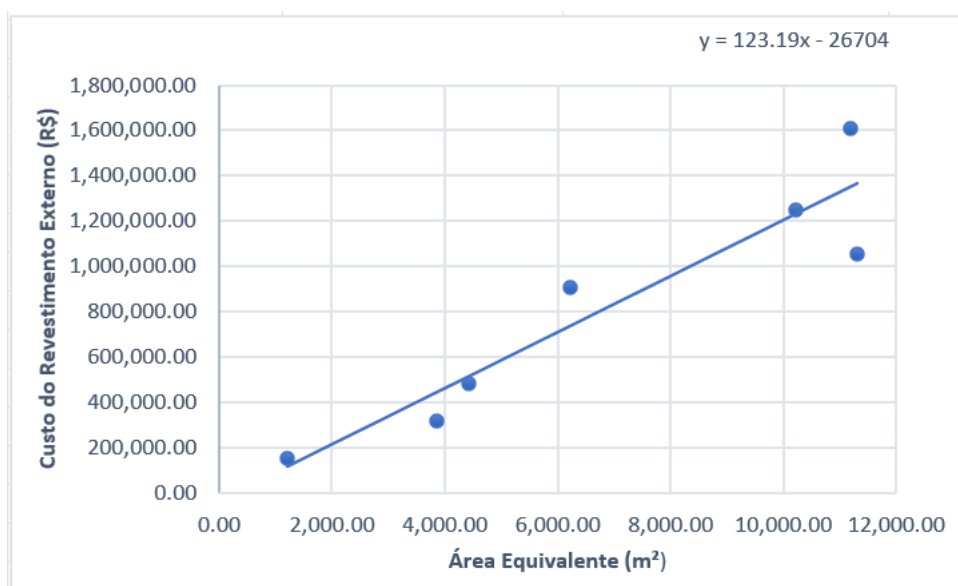
Ao analisar o coeficiente de Pearson, obtêm-se o valor de aproximadamente 0.94, o que corresponde a uma correlação fortíssima entre o custo do revestimento externo e a área equivalente. O erro padrão da estimativa em relação aos dados que deram origem ao modelo é de R\$ 204,958.48. E o coeficiente R^2 de 87.5%, indica o quanto a variação do custo de revestimento externo pode ser explicada pela equação paramétrica obtida. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 12 - Resultado da regressão entre custo do revestimento externo e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.935602428
R-Quadrado	0.875351904
Erro padrão	R\$ 204,958.48
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 16 - Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento externo e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.6 ITEM 06: ESQUADRIAS

A etapa esquadria representa os custos dos vidros e sua instalação por parte de mão de obra especializada.

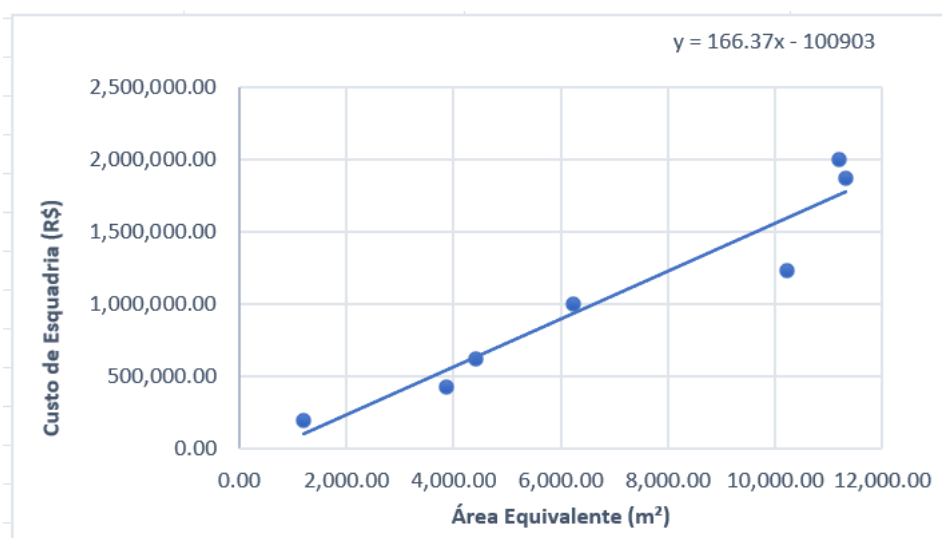
A correlação entre a variável dependente e independente é classificada, de acordo com o coeficiente de Pearson de 0.96, como sendo fortíssima. O erro padrão é de R\$ 212,591.70 e aproximadamente 92.2% das variações no custo da esquadria pode ser expressa pela equação paramétrica gerada. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 13 - Resultado da regressão entre custo das esquadrias e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>		
R múltiplo		0.960475985
R-Quadrado		0.922514118
Erro padrão	R\$	212,591.70
Observações		7

Fonte: O autor, 2021

Figura 17 - Representação gráfica da regressão linear entre custo das esquadrias e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.7 ITEM 07: PINTURA

A pintura está presente nas áreas secas e molhadas. Em áreas molhadas a pintura é dada no teto, e nas áreas secas no teto e nas paredes.

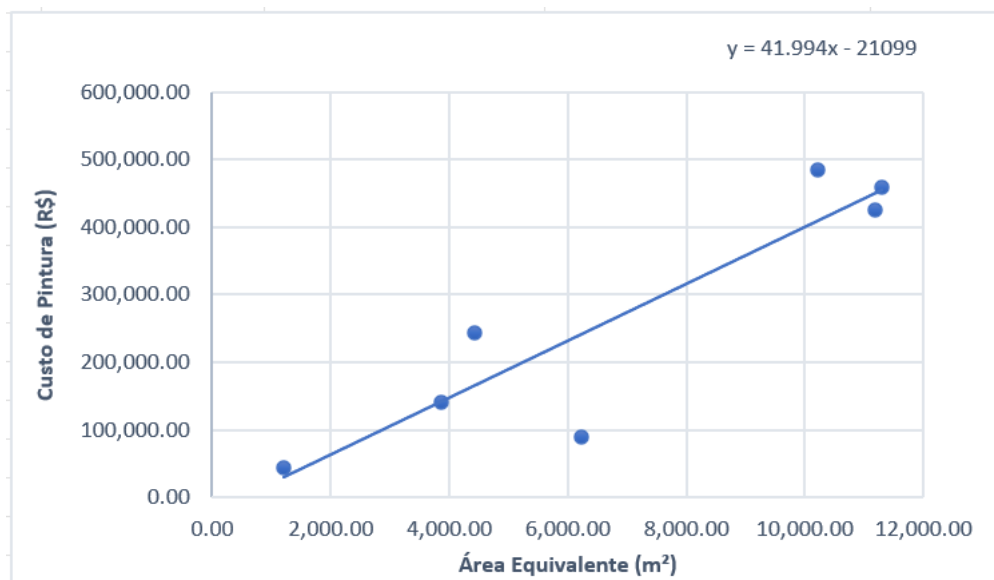
Para a pintura o coeficiente de Pearson é de aproximadamente 0.91, o que indica uma correlação fortíssima entre as variáveis de estudo. A variação do custo da pintura da obra pode ser explicada por 82.67% da equação paramétrica gerada, e têm erro padrão de R\$ 84,755.58 entre os dados coletados e a estimativa. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 14 - Resultado da regressão entre custo de pintura e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.909264403
R-Quadrado	0.826761755
Erro padrão	R\$ 84,755.58
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 18 - Representação gráfica da regressão linear entre custo de pintura e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.8 ITEM 08: INSTALAÇÕES

Entende-se por instalações, as elétricas, hidráulicas, telefônicas e complementares. As instalações complementares abrangem instalações de incêndio, central de gás e para-raios.

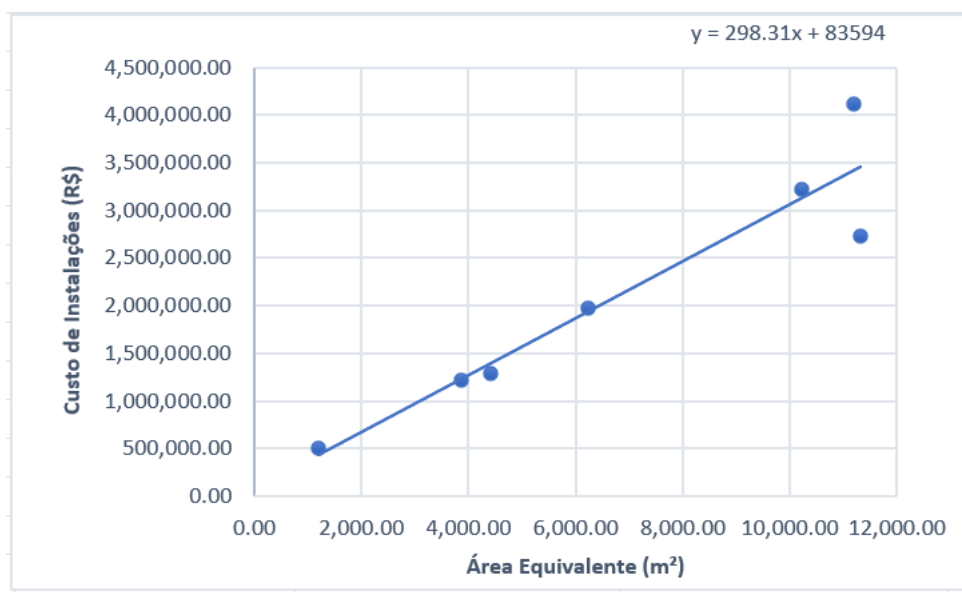
A etapa de instalações apresenta uma correlação fortíssima com a área equivalente (R-múltiplo de 0.945), e possui um erro padrão de R\$ 454,983.61. A equação paramétrica utilizada nesse trabalho é capaz de explicar 89% da variação do custo do item. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 15 - Resultado da regressão entre custo de instalações e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>		
R múltiplo		0.945053124
R-Quadrado		0.893125406
Erro padrão	R\$	454,983.61
Observações		7

Fonte: O autor, 2021

Figura 19 - Representação gráfica da regressão linear entre custo de instalações e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.9 ITEM 09: SERVIÇOS COMPLEMENTARES

Os serviços complementares são os que tem como base dar terminalidade aos serviços que foram executados anteriormente. Este item pode variar bastante para cada obra.

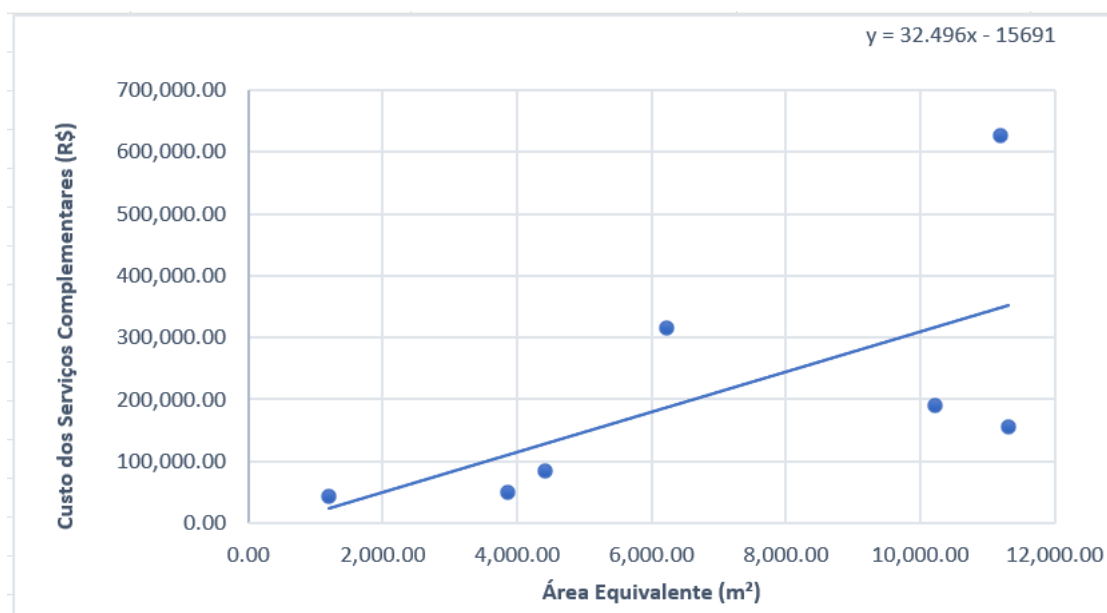
Isto é evidenciado pela classificação, presente na revisão bibliográfica, como uma correlação de forte para média. O coeficiente R^2 de 0.39 revela o baixo poder de explicação da equação paramétrica em termos da variação da etapa de serviços complementares e o seu custo. Além disso, o erro padrão do conjunto de dados em relação a regressão é de R\$ 176,106.94. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 16 - Resultado da regressão entre custo de serviços complementares e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>		
R múltiplo		0.631106663
R-Quadrado		0.39829562
Erro padrão	R\$	176,106.94
Observações		7

Fonte: O autor, 2021

Figura 20 - Representação gráfica da regressão linear entre custo de serviços complementares e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.10 ITEM 10: IMPERMEABILIZAÇÃO

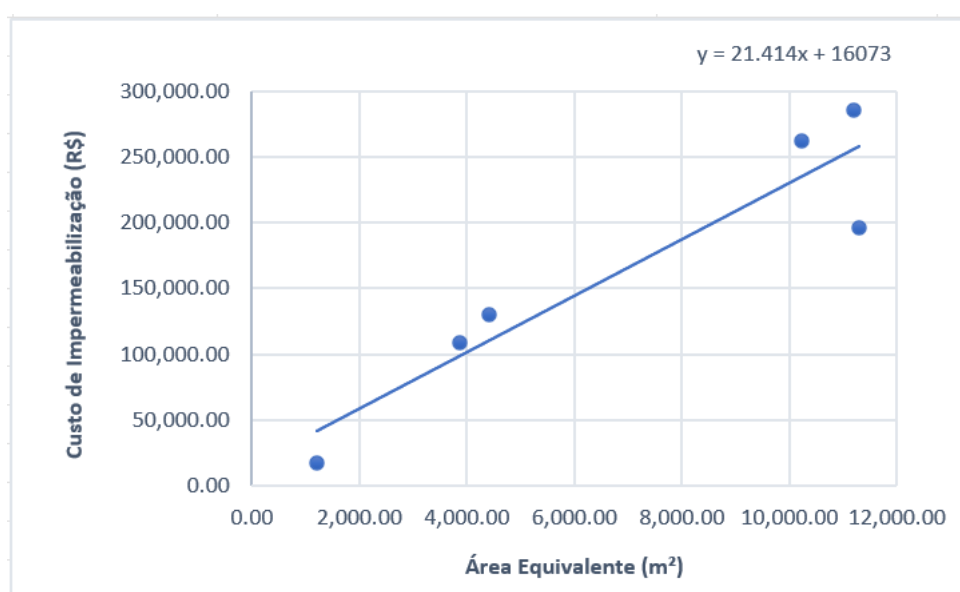
A impermeabilização é realizada em no piso e nas paredes do box com argamassa polimérica. Entretanto, na coberta, áreas descobertas, piscina e reservatórios são utilizadas manta asfáltica. A impermeabilização apresenta uma correlação fortíssima com a área equivalente, como pode ser observado pelo coeficiente de correlação de Pearson 0.93. O erro padrão entre os dados obtidos para o desenvolvimento do modelo e os dados na reta de regressão é de R\$ 40,680.12. A variação do custo da impermeabilização é 87% explicada pela equação paramétrica desenvolvida. Neste item foram empregados 6 dados.

Quadro 17 - Resultado da regressão entre custo de impermeabilização e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.932760056
R-Quadrado	0.870041321
Erro padrão	R\$ 40,680.12
Observações	6

Fonte: O autor, 2021

Figura 21 - Representação gráfica da regressão linear entre custo de impermeabilização e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.11 ITEM 11: REVESTIMENTO DE PISO

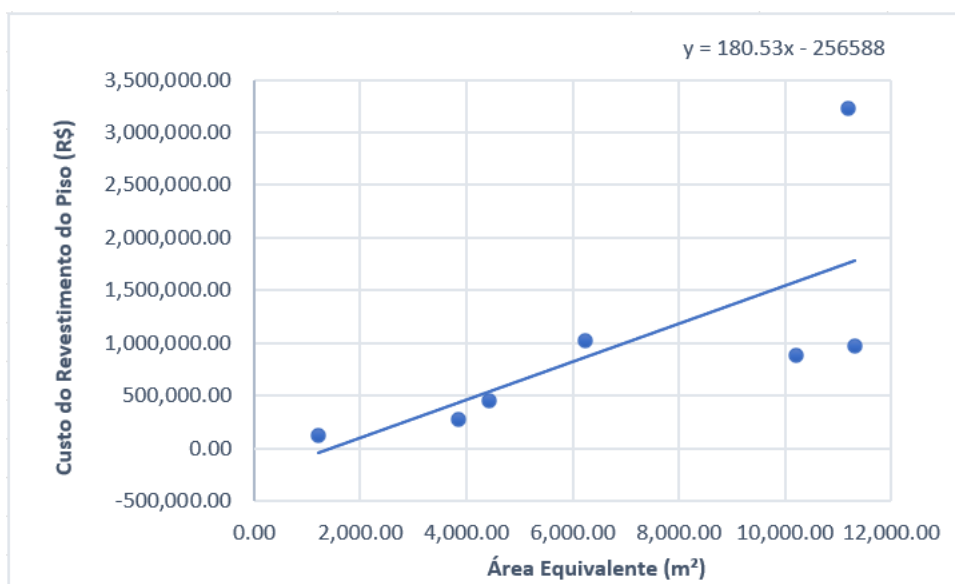
O revestimento de piso abrange os serviços de contra-piso, revestimento cerâmico e rejunte. Primeiramente, é executado o contra-piso em toda área interna a unidade para reduzir os desníveis encontrados na laje de concreto. Após esse serviço, o contrapiso é revestido com cerâmica através de uma argamassa colante, o que garante a adesão do material ao contrapiso. Por fim, o rejunte é aplicado com o objetivo de possibilitar o não deslocamento da cerâmica. Esse item possui correlação forte, R múltiplo igual a 0.69, mas apresenta um baixo coeficiente R^2 0.48, o que significa a baixa capacidade da equação paramétrica explicar as variações no custo do revestimento de piso. O erro padrão para o dado item é de R\$ 823,780.2. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 18 - Resultado da regressão entre custo do revestimento de piso e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.694869655
R-Quadrado	0.482843838
Erro padrão	R\$ 823,780.24
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 22 - Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento de piso e a área equivalente da obra (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.1.12 ITEM 12: REVESTIMENTO DE PAREDE E TETO

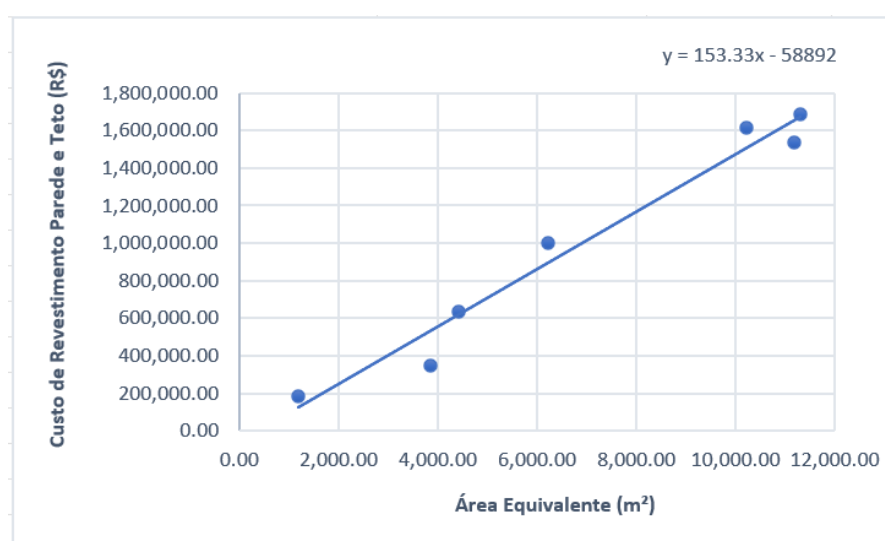
Após a parede ter sido erguida é aplicada uma argamassa de emboço à ela com o objetivo de regularizar a superfície. Em seguida, caso o ambiente seja uma área seca é aplicado nas paredes uma demão de selador, duas demãos de argamassa PVA, e duas demãos de tinta. Depois da aplicação da argamassa PVA e antes da pintura, é realizado o lixamento da superfície das paredes. Se a região for uma área molhada é aplicado cerâmica ou porcelanato nas paredes por meio de uma argamassa colante. O teto geralmente é revestido com forro de gesso, posteriormente aplicado sobre ele a argamassa PVA e em seguida é lixado e pintado.

Para este têm-se uma correlação fortíssima pelo coeficiente de correlação de Pearson 0.98. Outro fator de destaque é o elevado coeficiente R^2 , isto indica que cerca de 96.8% das variações no custo do revestimento de parede e teto podem ser explicadas pela equação paramétrica obtida. O erro padrão para este item é de R\$122,414.09. Neste item foram empregados 7 dados.

Quadro 19 - Resultado da regressão entre custo do revestimento de parede e teto e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.983998532
R-Quadrado	0.968253112
Erro padrão	R\$ 122,414.09
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 23 - Representação gráfica da regressão linear entre custo do revestimento de parede e teto e a área equivalente da obra (m²)

Fonte: O autor, 2021

4.2 MODELO 02 REGRESSÃO ENTRE ÁREA EQUIVALENTE E O CUSTO TOTAL DA EDIFICAÇÃO

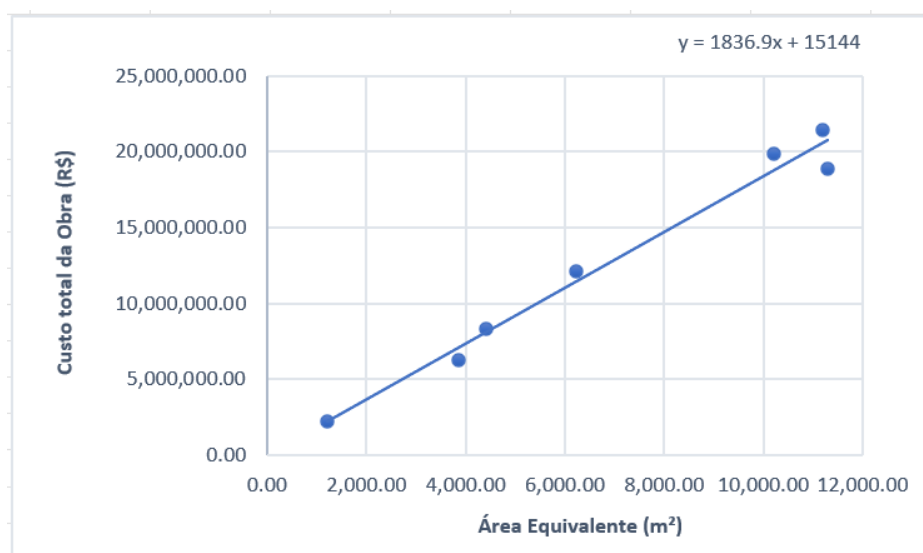
Em contraste com o modelo acima, no qual foi feita uma regressão para cada item do orçamento da obra, neste modelo atual foi realizado uma única regressão entre o custo total da edificação e sua respectiva área equivalente.

O modelo apresenta uma correlação fortíssima entre o custo global do empreendimento e a área equivalente com R múltiplo de aproximadamente 0.99. O R^2 de aproximadamente 0.98 indica uma grande capacidade do modelo de explicar as variações no custo total da construção. Além disto, o Erro padrão é de R\$ 1,169,321.48. Neste modelo foram empregados 7 dados.

Quadro 20 - Resultado da regressão entre custo global da obra e área equivalente

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.989737779
R-Quadrado	0.979580871
Erro padrão	R\$ 1,169,321.48
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 24 - Representação gráfica da regressão linear entre custo global da obra e a área equivalente da edificação (m²)

Fonte: O autor, 2021

4.3 MODELO DE REGRESSÃO ENTRE ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA E CUSTO TOTAL DA EDIFICAÇÃO

O dado de área mais simples e tradicional utilizado para calcular o custo global da construção é a área total da obra. Para avaliar o desempenho dessa variável independente, foi elaborado um modelo paramétrico entre esta área e o custo total da obra.

Ao realizar a regressão linear simples, obteve-se o modelo, este apresenta uma classificação de correlação fortíssima, entre as variáveis área construída e custo total da obra, e com R múltiplo de aproximadamente 0.98. O coeficiente R^2 indica que cerca de 96% das variações no custo total do empreendimento são explicados pelo modelo. O erro padrão entre os dados coletados

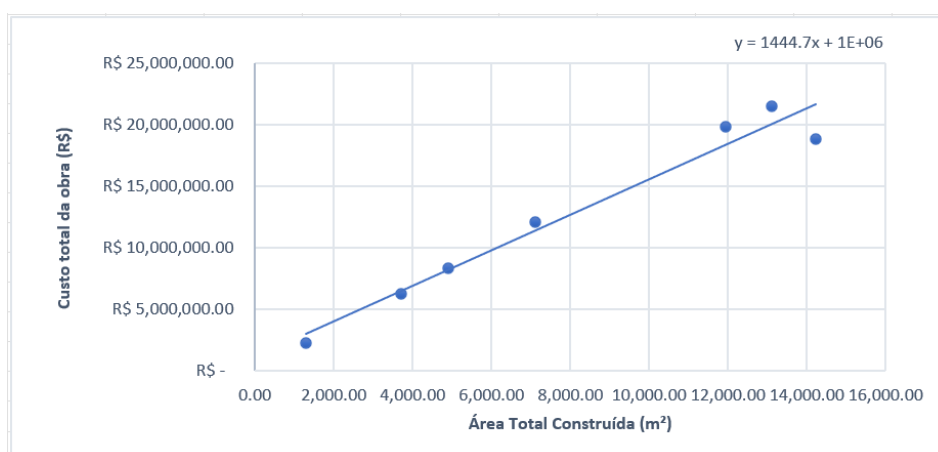
e os estimados pelo método de regressão linear é de R\$1,631,989.75. O que evidencia as vantagens de se utilizar a área equivalente. Neste modelo foram empregados 7 dados.

Quadro 21 - Resultado da regressão entre custo global da obra e área total construída

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.979910989
R-Quadrado	0.960225547
Erro padrão	R\$ 1,631,989.75
Observações	7

Fonte: O autor, 2021

Figura 25 - Representação gráfica da regressão linear entre custo global da obra e a área total construída da edificação (m²)



Fonte: O autor, 2021

4.4 CUSTO UNITÁRIO BÁSICO (CUB)

Para o método do CUB foi utilizada a área equivalente como indicado pela NBR:12721(2006). O CUB utilizado foi para edifícios com padrão de acabamento de nível normal, residencial e de 16 pavimentos (RN-16), tendo a data base como sendo setembro de 2018, e pertencente ao estado de Pernambuco com valor de $R\$/m^2$: 1376.60. Os itens não contemplados pelo índice como fundação, instalações e serviços complementares foram adicionados ao preço final da obra, e estes foram estimados utilizando as equações obtidas no nas regressões do modelo 01. Essas equações podem ser observadas abaixo:

$$f(x) = 298.31x + 83594 \quad (15)$$

$$g(x) = 32.496x - 15691 \quad (16)$$

$$h(x) = 175.92x - 132878 \quad (17)$$

onde:

$f(x)$: custo das instalações;

$g(x)$: custo dos serviços complementares;

$h(x)$: custo da fundação;

x é área equivalente da obra;

5 RESULTADOS OBTIDOS

Para validar os resultados acerca dos modelos aqui contemplados, utilizou-se de duas obras de uma construtora, esta, diferente das demais utilizadas na amostra de 7 obras que originou os modelos discutidos anteriormente. Essas duas obras apresentam suas principais características na tabela 25 abaixo.

Quadro 22 - Principais características das obras H e I.

Obra	Área Equivalente(m ²)	Área Construída(m ²)	Orçamento Real
H	7796.48	9152.10	R\$ 12,593,000.96
I	8156.11	9636.19	R\$ 14,757,738.05

Fonte: O autor, 2021

Ao analisar os resultados dos modelos paramétricos que utilizam a área equivalente como variável independente, presentes na tabela 26, percebe-se que estes foram bastante semelhantes, distinguindo-se por uma leve variação. O modelo 02, que contempla uma única regressão linear, apresentou uma variação média de 7.73%, enquanto que o modelo 01, que abrange doze regressões lineares, teve variação média de 7.88%. Ambos em relação ao orçamento real.

Quadro 23 - Resultados obtidos pelos modelos que utilizam a área equivalente como direcionador de custos

Obra	Área Equivalente(m ²)	modelo 01 (12 regressões lineares)	modelo 02 (regressão linear única)	Orçamento Real
H	7796.48	R\$ 14,356,792.23	R\$ 14,336,425.74	R\$ 12,593,000.96
I	8156.11	R\$ 15,017,008.66	R\$ 14,997,026.73	R\$ 14,757,738.05

Fonte: O autor, 2021

Devido a maior demanda de esforço e tempo ao obter o modelo 01, este por apresentar mais regressões não se apresentou como o de maior precisão. Logo, para comparação com os outros métodos de estimativas foi escolhido apenas o modelo 02.

De posse do modelo escolhido, foi feita uma comparação entre utilizar como entrada, a área equivalente ou a área total construída da obra. A tabela 27 apresenta o resultado das obras H e

I utilizando, o modelo 02, o modelo de regressão linear entre a área construída a área total da obra, e o CUB.

Quadro 24 - Resultados obtidos pelos modelos de estimativa

Obra	modelo 02 (regressão linear única)	modelo paramétrico área total construída	CUB	Orçamento Real
H	R\$ 14,336,425.74	R\$ 14,314,920.36	R\$ 14,618,349.55	R\$ 12,593,000.96
I	R\$ 14,997,026.73	R\$ 15,014,264.32	R\$ 15,295,650.60	R\$ 14,757,738.05

Fonte: O autor, 2021

Ao comparar os dois modelos paramétricos, ambos utilizando apenas uma única regressão linear, o modelo que apresentou menor variação média em relação ao orçamento executivo foi o que utiliza a área construída como variável independente. Este variou em média apenas 7.71%, e o modelo 02 apresentou resultado de 7.73%.

Embora o modelo paramétrico de área total construída ter apresentado uma diferença percentual menor, mesmo que insignificante, este apresentou o coeficiente de correlação de Pearson de 0.98 e erro padrão de R\$1,631,989.75, já o modelo paramétrico de área equivalente obteve respectivamente os valores de 0.99 e R\$1,169,321.48. Portanto, a área equivalente representa o melhor parâmetro de entrada para a amostra utilizada nessa pesquisa.

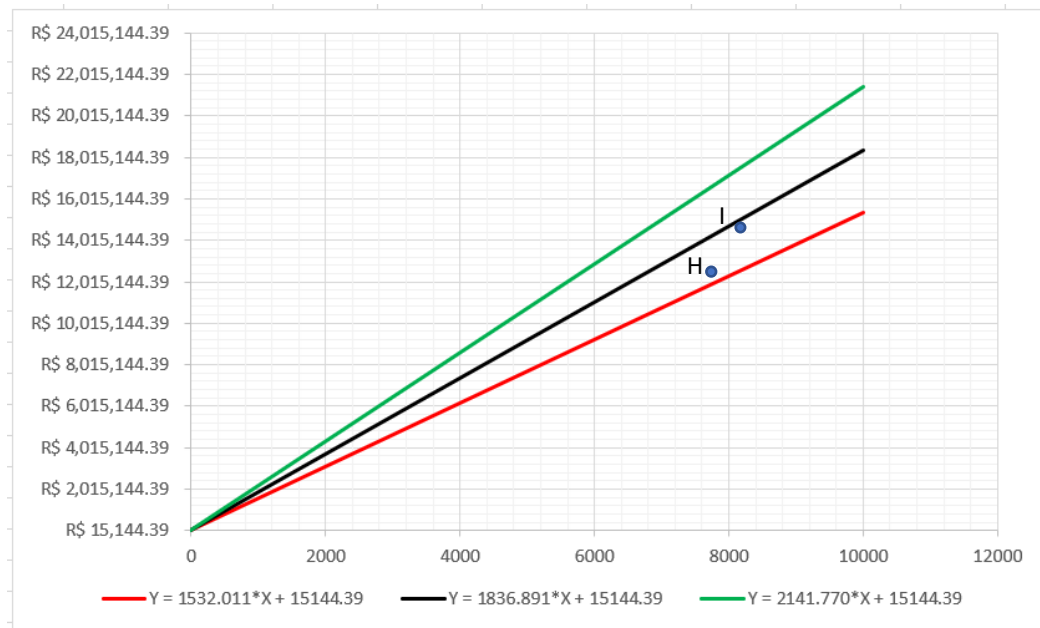
O modelo de pior desempenho foi o CUB, por apresentar uma variação média de 9.86% em comparação com o orçamento real, sendo superado pelos outros dois modelos paramétricos.

Para melhor compreensão do modelo 02, eleito o melhor entre os métodos de estimativas apresentados, foi calculado o intervalo com 95% de confiança para o coeficiente angular e as distribuições t-student, adicionando-se a estes os valores reais dos orçamentos das obras H e I.

Na figura 26, a reta verde expressa o limite superior para o custo total da obra, segundo o intervalo com 95% de confiança. A reta preta é a regressão linear para o modelo 02 (ver figura 24). E a reta vermelha representa o limite inferior para o custo total da obra, de acordo com o intervalo com 95% de confiança.

A tabela 28 expressa os resultados dos valores para o custo global da obra, utilizando na variável independente as áreas equivalentes das obras H e I, pertencentes a amostra de testes.

Figura 26 - Intervalo com 95% de confiança para o coeficiente angular com valores reais dos orçamentos das obras H e I



Fonte: O autor, 2021

Quadro 25 - As obras H e I com seus respectivos pontos conforme os modelos do gráfico anterior

	Obra H	Obra I
limite superior	R\$ 16,713,412.53	R\$ 17,483,657.33
regressão	R\$ 14,336,425.74	R\$ 14,997,026.73
valor real	R\$ 12,593,000.96	R\$ 14,757,738.05
limite inferior	R\$ 11,959,438.94	R\$ 12,510,396.13
Área Equivalente	7796.48	8156.11

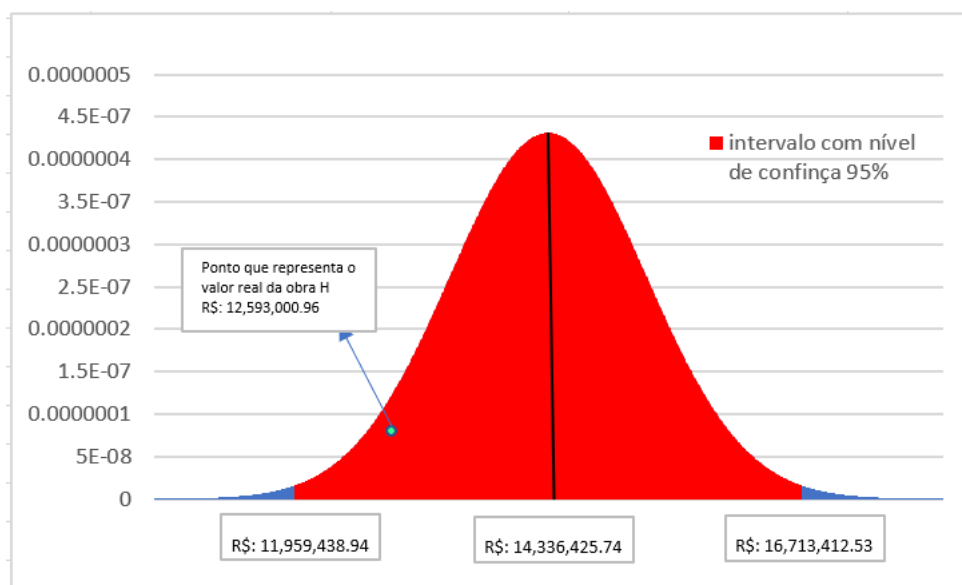
Fonte: O autor, 2021

Da figura 26 e tabela 28 pode-se concluir que: com um nível de confiança 95%, para uma obra de área equivalente $x \text{ m}^2$, o custo total da mesma na população apresenta um valor único e está contido no intervalo fechado definido pelos limites superior e inferior. Isto é comprovado pelos valores reais das obras H e I, ambos pertencendo ao intervalo definido pelas retas de limite superior e inferior.

Na figura 27 a área equivalente empregada foi de $7,796.48 \text{ m}^2$. A média e o desvio padrão da distribuição t-student são R\$ 14,336,425.74 e R\$ 924,688.24 respectivamente. Os limites inferiores e superiores para o intervalo com nível de confiança 95% são R\$ 11,959,438.94 e R\$

16,713,412.53. A obra H, pertencente a amostra de teste e de igual área equivalente, apresentou valor custo global dentro deste intervalo.

Figura 27 - Distribuição t-student para uma obra de mesma área equivalente da obra H.



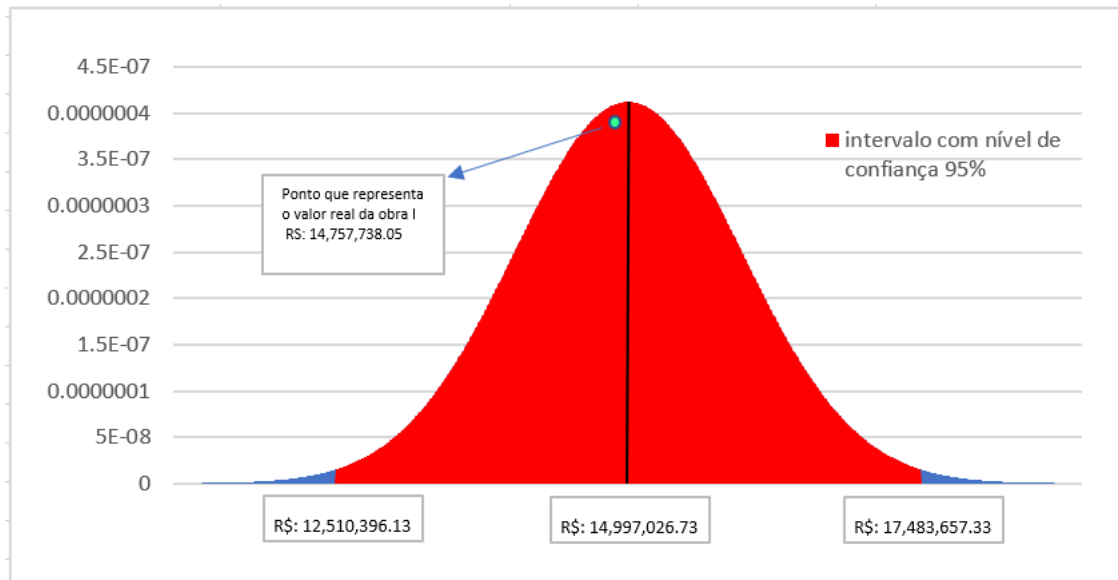
Fonte: O autor, 2021

Na figura 28 a área equivalente empregada foi de 8,156.11 m². A média e o desvio padrão da distribuição t-student são R\$ 14,997,026.73 e R\$ 967,341.54 respectivamente. Os limites inferiores e superiores para o intervalo com nível de confiança 95% são R\$ 12,510,396.13 e R\$ 17,483,657.33. A obra I, pertencente a amostra de teste e de igual área equivalente, apresentou valor custo global dentro deste intervalo.

Devido ao modelo 02 ter obtido uma melhor avaliação, foi gerado um novo modelo com uma amostra com nove dados, sete dados da amostra do modelo antigo e dois dados da amostra de teste, porém o mesmo não pode ser testado visto que todos os dados foram utilizados para gerar esse modelo, conforme Figura 29. O modelo representado pela reta em azul apresenta R² de 0.97, coeficiente R múltiplo de aproximadamente 0.986, e erro padrão R\$: 1,163,270.95.

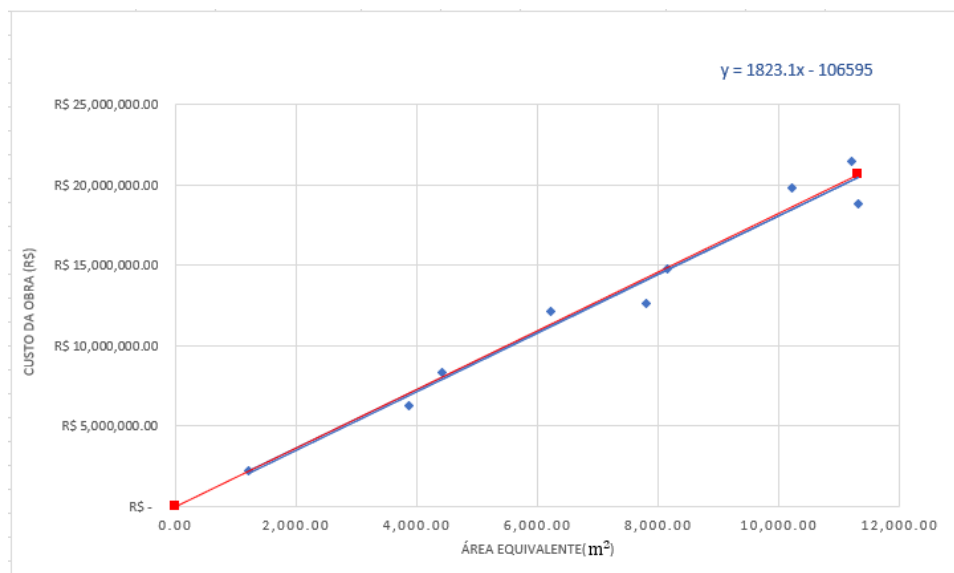
Fez-se necessário realizar um ajuste da função $y = 1823.1x - 106595$, reta em azul obtida pela regressão linear, visto que o custo é sempre uma grandeza positiva e este nunca pode ser negativo. A função afim $y = 1823.1x$ representa o modelo graficamente pela reta vermelha, i.e. o custo do m² de área equivalente é R\$ 1823,10/m².

Figura 28 - Distribuição t-student para uma obra de mesma área equivalente da obra I.



Fonte: O autor, 2021

Figura 29 - Modelo empregando 9 dados como amostra (reta em azul).



Fonte: O autor, 2021

6 CONSIDERAÇÕES FINAS

6.1 CONCLUSÕES

Os modelos paramétricos já são empregados na construção civil há bastante tempo, porém ainda não se obteve um consenso sobre os melhores parâmetros e modelos serem utilizados para obter a maior acurácia no cálculo do custo global da obra. Dentre os parâmetros, os mais comumente empregados são a área construída, área equivalente e a área privativa.

Um dos métodos de estimativa mais utilizados no Brasil relaciona o custo de construção com sua área equivalente global, este conhecido como CUB, contém uma base de dados nacional com coletas mensais em diversos estados do Brasil. Tal método tem mostrado bons resultados e progresso com o passar dos anos, contudo a estatística inferencial proporciona a utilização de métodos que superam o resultado deste modelo, a exemplo das regressões lineares.

Embora todas as estimativas tenham o mesmo objetivo em comum, conseguir alcançar resultados cada vez mais próximos do real com um conjunto de informações iniciais pouco detalhadas, diversas vezes até sem conter o anteprojeto, possuindo apenas à sua disposição poucas informações acerca do empreendimento como a quantidade de pavimentos, número de apartamentos, área do terreno, área privativa dos apartamentos, tempo de construção, padrão de acabamento, dentre outras possíveis de serem obtidas na fase de estudo de viabilidade econômica do empreendimento.

Neste trabalho inicialmente foi utilizado regressões lineares simples entre área equivalente e o custo total da construção, obtendo-se assim dois modelos:

- Modelo 01: para cada item do orçamento foi realizada uma regressão linear entre o custo do item e a área equivalente total do empreendimento. Após obter as 12 regressões, foram realizadas a adição das mesmas para obter a equação global do custo total da obra em função da área equivalente.
- Modelo 02: regressão única entre a área equivalente e o custo total da obra.

Foram utilizadas para validação duas construções que não faziam parte da amostra que originou os modelos, e consecutivamente foram obtidos os resultados de cada método para essas obras. De posse destes, foi possível observar que apesar do modelo 01 ser teoricamente mais preciso por realizar mais regressões lineares de itens menores, este performou de maneira similar,

porém pior do que o modelo 02 para as obras em questão. Portanto, o tempo e esforço empregados para obter o modelo 01 não compensam sua baixa performance, tendo o modelo 02 sido escolhido para representar a relação entre área equivalente e custo total da obra.

Em seguida, para avaliar o melhor parâmetro a ser empregado nesse modelo, foi feita uma regressão linear entre a área total construída e o custo global da obra. Além disso, no intuito de comparar o modelo de regressão com o tão utilizado CUB, o mesmo foi calculado para a amostra de teste. Os resultados desses modelos são então comparados com os orçamentos detalhados das duas obras que constituem a amostra de teste.

O método de regressão linear que empregou a área equivalente variou em média 7.73%, já o mesmo método que utilizou como parâmetro a área total construída obteve variação média de 7.71%, ambos em relação aos orçamentos detalhados. Apesar disso, a regressão linear que tem como parâmetro a área total construída apresentou o coeficiente R de 0.98 e erro padrão de R\$ 1,631,989.75, contra 0.99 e R\$1,169,321.48 respectivamente. Este último método utilizou a área equivalente como variável independente na regressão.

Portanto, como esperado a área equivalente foi escolhida como melhor parâmetro a ser utilizado no modelo de regressão linear, não apenas por esta proporcionar melhores resultados, mas pelo fato da área equivalente além de contemplar a medida da região na qual se quer obter a área, esta incorpora o fator nível de acabamento, assim eleva ou reduz a área obtendo um custo por região mais assertivo.

O resultado do CUB foi uma variação média de 9.86%, o que classifica o método de regressão linear que emprega a área equivalente como o melhor procedimento dessa pesquisa. Porém, na ausência de dados ou de posse de uma quantidade muito limitada destes, o CUB caracteriza-se como um bom método substituto, visto que seus resultados obtidos foram próximos ao do modelo 02.

Outro fator a ser levado em consideração é que este estudo se distingue em relação aos trabalhos de referência em diversos aspectos. Um deles é o fato do modelo em estudo relacionar o custo total das obras com o parâmetro área equivalente, em Otero (2000) e em Moreira (2013) as variáveis independentes são respectivamente área total construída e área privativa. Além disso, o modelo do autor Moreira (2013) apenas calcula os custos dos pavimentos tipo, e não da obra como um todo. Essas diferenças podem resultar em erros nas comparações entre os modelos.

Nota-se que nesses outros trabalhos foram utilizadas para a validação dos modelos as mesmas amostras que deram origem a estes, não sendo assim possível a realização de testes fidedignos. Logo utilizando da mesma técnica para a validação de modelos, o presente trabalho obteve um erro médio de 5,75%, desempenho este melhor que Otero (2000) e Moreira (2013), estes apresentaram um erro médio de 8,35% e 6,39% respectivamente. O bom resultado do atual do método empregado nessa pesquisa pode estar relacionado ao uso da área equivalente como variável independente, e ou com o pouco número de obras analisadas, estas de maioria com nível de acabamento alto.

Segundo o resultado dessa pesquisa, a variação média do melhor modelo em 7,73%, e baseado na tabela 01 de Ávila, Librelotto e Lopes (2003), este modelo se classifica como orçamento detalhado pela margem de erro média, porém é classificado também como avaliação de acordo com os critérios de elementos técnicos necessários para construir o modelo. Portanto, nessa pesquisa considera-se a estimativa de custo global como sendo uma avaliação, mas percebe-se o potencial de tais métodos de estimativas, e o quanto procedimentos tecnológicos, como por exemplo a análise de dados, precisam ser implantados e constantemente melhorados num setor tão arcaico como a construção civil.

Os procedimentos de estimativa podem ser utilizados em diferentes etapas do planejamento e gestão de obras além do estudo de viabilidade, tais como em decisões arquitetônicas e de tecnologias construtivas a serem aplicadas, definições de preços, cálculo de custo de serviços terceirizados, e controle global dos custos. Ao empregar e desenvolver técnicas como essas, grandes incorporadoras se beneficiarão com a maior precisão obtida, e terão um menor desembolso financeiro com a obra e consecutivamente um aumento do lucro.

6.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresenta algumas limitações que podem ser exploradas para o maior aprofundamento e aprimoramento sobre as estimativas paramétricas de custo aplicadas ao setor de construção civil. A seguir são abordadas possíveis tópicos para contribuições futuras ao tema aqui discutido:

- Análise de modelos de equações paramétricas para três amostras com grande quantidade de obras, e tendo cada uma dessas exclusivamente construções de edifícios com padrão de

acabamento de nível baixo, médio e alto. Ao realizar a comparação entre os modelos, irá proporcionar a compreensão da influência do padrão de acabamento em cada amostra.

- Avaliação de diversas amostras de obras de mesmo nível do padrão acabamento em Estados diferentes. Com isso seria possível entender a influência nos custos de cada construção de acordo com o Estado na qual esta se situa.

- Proposição de modelos de regressões lineares múltiplas para o cálculo do custo total da obra. Devido a utilização de maiores quantidades de variáveis independentes, busca-se o aumento da precisão em comparação com métodos de regressões lineares simples.

- Proposição de técnicas de estimativa de custos globais que considere características únicas de cada construtora, como produtividade, tecnologia construtiva empregada, custos indiretos, entre outras.

- Análise de diferentes tipos de indexadores para atualização de orçamentos empregados na obtenção da estimativa paramétrica de custo global da obra. O que proporcionará melhor acurácia dos métodos de estimativas, já que esses terão seus orçamentos mais compatíveis com a realidade.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. G. **Avaliação das características físicas e orçamentárias de empreendimentos do par para habitações de interesse social**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

ANDRADE, V. A. **Modelagem dos custos para casas de classe média**. 1996. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSUMPÇÃO, J. F. P.; FUGAZZA, A. E. C. Execução de orçamento por módulos para construção de edifícios. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8., Salvador, **Anais...**, 2000. v.1, p. 469-476.

AVILA, A. V.; LIBRELOTTO, L. I.; LOPES, O. C. **Orçamento de obras**. 2003. 66 f. Notas de aula.

CBIC. c2018. **Participação (%) da indústria da Construção na população ocupada**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 13 out. 2021.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil**. 18ª ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224 p.
DIAS, P. R. V. **Engenharia de custos: uma metodologia de orçamentação para obras civis**. 9ª ed. Rio de Janeiro, 2011. 219 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Construção civil desafios 2020**. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2014. 143 p.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **IGP-M sobe 0,64% em outubro de 2021**. Rio de Janeiro, 28 out. 2021. Disponível em: <https://portal.fgv.br/en/node/24346> . Acesso em: 12 out. 2021.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. **Índice Geral de Preços – Mercado: Metodologia**. Rio de Janeiro: FGV IBRE, 2016. 66 p.

GONÇALVES, C. M. M. **Método para gestão do custo da construção no processo de projeto de edificações**. 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

Larson, R.; Farber, B. **Estatística aplicada**. 6ª ed. São Paulo: Pearson, 2015. 656 p.

LOSSO, I. R. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custos: Estudo de caso em uma empresa de construção.** 1995. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1995.

MARCHIORI, F. F. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações.** 2009. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2009.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas.** 5ª ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010. 192 p.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 2006. 281 p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 357 p.

MENSURAÇÃO FLORESTAL. c2017. Disponível em: <http://www.mensuracaoflorestal.com.br/distribuicao-normal-e-quottquot-de-student>. Acesso em: 17 out. 2021.

MOREIRA, F. S. **Modelo de previsão de custos na fase de estudo de viabilidade para empresas de construção.** 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, 2013.

OLIVEIRA, M. **Caracterização de prédios habitacionais de Porto Alegre através de variáveis geométricas: Uma proposta à partir das técnicas de estimativas preliminares de custo.** 1990. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, 1990.

OTERO, J. A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios: Estudo de caso voltado para a questão da variabilidade.** 2000. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2000.

PARISOTTO, J. A. **Análise de estimativas paramétricas para formular um modelo de quantificação de serviços, consumo de mão-de-obra e custos de edificações residenciais: Estudo de caso para uma empresa construtora.** 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2003.

PARMAIS. **O que é INCC?** São Paulo, 07 ago. 2018. Disponível em: <https://www.parmais.com.br/blog/o-que-e-incc/>. Acesso em: 10 out. 2021.

SILVA, M. S. T. C. **Planejamento e Controle de obras.** 2011. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Custo Unitário Básico (CUB/ m^2) principais aspectos**. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112 p.

VIEIRA. B. A.; NOGUEIRA. L. Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 3, p. 366-377, ago. 2018. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1419/pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS PADRÕES (NBR 12.721:2006)

Residência unifamiliar		
Residência padrão baixo (R1-B)	Residência padrão normal (R1-N)	Residência padrão alto (R1-A)
Residência composta de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque	Residência composta de três dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel)	Residência composta de quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel)
Área real: 58,64 m ² Área equivalente: 51,94 m ²	Área real: 106,44 m ² Área equivalente: 99,47 m ²	Área real: 224,82 m ² Área equivalente: 210,44 m ²
Residência popular (RP1Q)		
Residência composta de um dormitório, sala, banheiro e cozinha		
Área real: 39,56 m ² Área equivalente: 39,56 m ²		
Residência multifamiliar Projeto de interesse social (PIS)		
Composição do edifício:	Pavimento térreo e quatro pavimentos-tipo	
Descrição dos pavimentos:		
Pavimento térreo:		
Hall, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Na área externa estão localizados o cômodo da guarita, com banheiro e central de medição		
Pavimento-tipo:		
Hall, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço		
Área real: 991,45 m ² Área equivalente: 978,09 m ²		

Prédio popular - Padrão baixo (PP - B)	
Composição do edifício:	Pavimento térreo e três pavimentos-tipo
Descrição dos pavimentos:	
Pavimento térreo:	Hall de entrada, escada e quatro apartamentos por andar com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Na área externa estão localizados o cômodo de lixo, guarita, central de gás, depósito com banheiro e 16 vagas descobertas
Pavimento-tipo:	Hall de circulação, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço
Área real:	1.415,07 m ²
Área equivalente:	927,08 m ²
Prédio popular - Padrão normal (PP - N)	
Composição do edifício:	Garagem, pilotis e quatro pavimentos-tipo.
Descrição dos pavimentos:	
Garagem	Escada, elevadores, 32 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária
Pilotis	Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, copa, dois banheiros, central de gás e guarita
Pavimento-tipo:	Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda
Área real:	2.590,35 m ²
Área equivalente:	1.840,45 m ²

Residência multifamiliar	
R8 - Padrão baixo (R8 - B)	
Composição do edifício:	Pavimento térreo e sete pavimentos-tipo
Descrição dos pavimentos	
Pavimento térreo:	
Hall de entrada, elevador, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque. Na área externa estão localizados o cômodo de lixo e 32 vagas descobertas	
Pavimento-tipo:	
Hall de circulação, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque	
Área real: 2.801,64 m ²	
Área equivalente: 1.885,51 m ²	
R8 - Padrão Normal (R8 - N)	
Composição do edifício:	Garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo
Descrição dos pavimentos:	
Garagem	
Escada, elevadores, 64 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo depósito e instalação sanitária	
Pilotis	
Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, copa, dois banheiros, central de gás e guarita	
Pavimento-tipo:	
Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda	
Área real: 5.998,73 m ²	
Área equivalente: 4.135,22 m ²	

R8 - Padrão alto (R8 - A)
Composição do edifício: Garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 48 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária Pilotis Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, salão de jogos, copa, dois banheiros, central de gás e guarita Pavimento tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e dois apartamentos por andar, com quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda Área real: 5.917,79 m² Área equivalente: 4.644,79 m²
R16 - Padrão normal (R16 - N)
Composição do edifício: Garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 128 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo depósito e instalação sanitária Pilotis Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, copa, dois banheiros, central de gás e guarita Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha e área de serviço com banheiro e varanda Área real: 10.562,07 m² Área equivalente: 8.224,50 m²

Residência multifamiliar
R16 - Padrão alto (R16 - A)
Composição do edifício: Garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 96 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária Pilotis Escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, salão de jogos, copa, dois banheiros, central de gás e guarita Pavimento tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e dois apartamentos por andar, com quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda Área real: 10.461,85 m² Área equivalente: 8.371,40 m²
Edificação comercial (padrões normal e alto)
Comercial - Salas e lojas (CSL - 8)
Composição do edifício Garagem, pavimento térreo e oito pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 64 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária Pavimento térreo: Escada, elevadores, hall de entrada e lojas

Comercial - Salas e lojas (CSL - 8)
Pavimento tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e oito salas com sanitário privativo por andar Área real: 5.942,94 m² Área equivalente: 3.921,55 m²
Comercial - Salas e lojas (CSL -16)
Composição do edifício: Garagem, pavimento térreo e 16 pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 128 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária Pavimento térreo: Escada, elevadores, hall de entrada e lojas Pavimento-tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e oito salas com sanitário privativo por andar Área real: 9.140,57 m² Área equivalente: 5.734,46 m²
Comercial - Andar livre (CAL- 8)
Composição do edifício: Garagem, pavimento térreo e oito pavimentos-tipo Descrição dos pavimentos: Garagem Escada, elevadores, 64 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária Pavimento térreo: Escada, elevadores, hall de entrada e lojas Pavimento-tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e oito andares corridos com sanitário privativo por andar Área real: 5.290,62 m² Área equivalente: 3.096,09 m²
Galpão industrial (GI)
Área composta de um galpão com área administrativa, dois banheiros, um vestiário e um depósito Área real: 1.000,00 m²

ANEXO B – CUB – SETEMBRO/2018 (SINDUSCON-PE, 2018)

VALORES EM R\$/m²

PROJETOS - PADRÃO RESIDENCIAIS

PADRÃO BAIXO			PADRÃO NORMAL			PADRÃO ALTO		
R-1	1.462,86	0,42%	R-1	1.782,75	0,15%	R-1	2.231,25	-0,09%
PP-4	1.291,64	0,32%	PP-4	1.679,91	0,55%	R-8	1.786,72	0,13%
R-8	1.220,73	0,40%	R-8	1.410,35	0,38%	R-16	1.742,40	0,51%
PIS	949,24	0,51%	R-16	1.376,60	0,32%			

PROJETOS - PADRÃO COMERCIAIS CAL (Comercial Andares Livres) e CSL (Comercial Salas e Lojas)

PADRÃO NORMAL			PADRÃO ALTO		
CAL-8	1.575,09	0,78%	CAL-8	1.709,40	0,63%
CSL-8	1.358,34	0,74%	CSL-8	1.529,76	0,55%
CSL-16	1.801,09	0,70%	CSL-16	2.028,50	0,51%

PROJETOS - PADRÃO GALPÃO INDUSTRIAL (GI) E RESIDÊNCIA POPULAR (RP1Q)

RP1Q	1.372,76	0,19%
GI	748,91	0,35%

Número Índice: Projeto-padrão R16-N (Setembro/2018)

ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DE AMOSTRA

Figura C 1 - Fotografia da obra A (Tr.16Tp.Al.Cm.G , 5Q.5S.D.V-16)



Figura C 2 - Fotografia da obra B (Tr.31Tp.Al.Cm.3G, 2Q/3Q.2S/3S.V-93)



Figura C 3 - Fotografia da obra C (Tr.13Tp.Al.Cm.G, 1Q/2Q-52)



Figura C 4 - Fotografia da obra E (Tr.11Tp.1Atp.Al.Cm.G.Gs.Cb, 4Q.4S.D.V-24)



Figura C 5 - Fotografia da obra F (Tr.4Tp.Al.Cm.G.Cb, 1Q1S/2Q1S/3Q1S/3Q2S.V-16)



Figura C 6 - Fotografia da obra G (Tr.30Tp.Al.Cm.G, 3Q.1S/2S.V-120)



ANEXO D – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ITENS NO MODELO 01

Número	Item	R múltiplo	R-Quadrado	Erro padrão	Observações	Equação de regressão
1	Administração Local da Obra	0.871	0.758	R\$ 403,889.53	7	$Y = 162.31x + 781530$
2	Fundação	0.923	0.852	R\$ 323,730.52	7	$Y = 175.92x - 132878$
3	Estrutura	0.918	0.843	R\$ 768,990.29	7	$Y = 404.27x - 294367$
4	Alvenaria/Fechamento	0.824	0.679	R\$ 229,347.06	7	$Y = 75.691x + 69773$
5	Revestimento Externo	0.936	0.875	R\$ 204,958.48	7	$Y = 123.19x - 26704$
6	Esquadrias	0.960	0.923	R\$ 212,591.70	7	$Y = 166.37x - 100903$
7	Pintura	0.909	0.827	R\$ 84,755.58	7	$Y = 41.994x - 21099$
8	Instalações	0.945	0.893	R\$ 454,983.61	7	$Y = 298.31x + 83594$
9	Serviços Complementares	0.631	0.398	R\$ 176,106.94	7	$Y = 32.496x - 15691$
10	Impermeabilização, Regularização	0.933	0.870	R\$ 40,680.12	6	$Y = 21.414x + 16073$
11	Revestimento de Piso	0.695	0.483	R\$ 823,780.24	7	$Y = 180.53x - 256588$
12	Revestimento de Parede e Teto	0.984	0.968	R\$ 122,414.09	7	$Y = 153.33x - 58892$