

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Natalie Menezes Zeballos**

**ESTUDO DE METODOLOGIA PARA A ESCOLHA DE  
PARÂMETROS DE ESTIMATIVA DE CUSTO EM UMA  
CONSTRUTORA E INCORPORADORA DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre  
Dezembro de 2019

**NATALIE MENEZES ZEBALLOS**

**ESTUDO DE METODOLOGIA PARA A ESCOLHA DE  
PARÂMETROS DE ESTIMATIVA DE CUSTO EM UMA  
CONSTRUTORA E INCORPORADORA DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Joana Siqueira de Souza**

Porto Alegre  
Dezembro de 2019

**NATALIE MENEZES ZEBALLOS**

**ESTUDO DE METODOLOGIA PARA A ESCOLHA DE  
PARÂMETROS DE ESTIMATIVA DE CUSTO EM UMA  
CONSTRUTORA E INCORPORADORA DE PORTO ALEGRE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Joana Siqueira de Souza (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

**Bruna Dones Gayer (UFRGS)**

Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Ricardo Locatelli (UFRGS)**

Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Rodrigo Dalla Vecchia (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Destino este trabalho a meu namorado e a meus pais, que sempre me incentivaram e me apoiaram em todas as minhas decisões. Dedico, principalmente, à minha mãe, que é o meu maior exemplo e fonte de inspiração.

## RESUMO

O processo de orçamentação é fundamental para a saúde econômica de qualquer empresa do ramo da construção civil, pois sua performance está diretamente relacionada a investimentos, tomadas de decisões, lucros e prejuízos. A elaboração de uma estimativa de custo de um novo empreendimento é a etapa preliminar do processo de orçamentação, sendo, portanto, uma tarefa complexa a qual exige conhecimento técnico e expertise do profissional da área. Buscando simplificar e tornar a escolha de parâmetros componentes de uma estimativa de custo mais intuitiva, este estudo propôs uma metodologia de análise e seleção de dados para a montagem de um orçamento parametrizado. Os dados utilizados no estudo são provenientes de um banco de dados históricos relativos a empreendimentos já realizados de uma construtora e incorporadora de Porto Alegre. Além disso, buscou implementar a utilização de intervalos de confiança e margens de erro para a análise de dados por meio de um método estatístico que atendesse a amostras previamente classificadas e componentes de uma base comparativa. Foi possível realizar esta análise estatística utilizando a linguagem R, pelo software R Studio. Dessa forma, o estudo permitiu organizar, classificar e compreender as variáveis que permeiam o processo de orçamentação da empresa, bem como verificar a aplicabilidade da metodologia proposta neste estudo.

Palavras-chave: Orçamentação. Estimativa de  
Custo. Intervalos de Confiança. Base  
Comparativa.

## **ABSTRACT**

The budgeting process is critical to the economic health of any construction company because its performance is directly related to investment, decision-making, profit and loss. Preparing a cost estimate is the preliminary stage of the budgeting process. It is also a complex task that requires technical knowledge and expertise of the involved professional.

In order to simplify and make the choice of parameters of a cost estimate more intuitive, this study proposes a data analysis and selection methodology for setting a parameterized budget. The data used in the study are from a database with projects of a construction company from Porto Alegre.

In addition, confidence intervals and error margins were used to analyze data using a statistical method that met previously classified samples and components of a comparative basis. It was possible to perform this statistical analysis using the R language with the R Studio software. Thus, it was possible to organize, classify and understand the variables that allow the company's budget process. As well as verify the application of the methodology proposed in this study.

Keywords: Budgeting. Cost Estimate.

Confidence Intervals. Comparative basis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do estudo.....	17
Figura 2 - Classificação do empreendimento e amostras .....	23
Figura 3– Ilustração de parte do programa em linguagem R .....	30
Figura 4– Dados do grupo de impermeabilização com a aplicação do Jackknife.....	31
Figura 5– Dados do grupo de forros com a aplicação do Jackknife .....	31
Figura 6– Dados do grupo de esquadrias de ferro com a aplicação do Jackknife.....	31
Figura 7– Gráfico da base comparativa dos 3 grupos e seus intervalos de confiança .....	32
Figura 8– Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de impermeabilização ..	33
Figura 9– Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de forros.....	33
Figura 10- Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de esquadrias de ferro.	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Base comparativa para o novo empreendimento .....	26
Tabela 2- Montagem do orçamento parametrizado para os grupos em estudo .....	26
Tabela 3- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de impermeabilização das obras pertencentes à base comparativa.....	29
Tabela 4- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de forros das obras pertencentes à base comparativa .....	29
Tabela 5- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de esquadrias de ferro das obras pertencentes à base comparativa.....	29
Tabela 6– Simulação do custo total com base na seleção de dados da Escolha 1 e Escolha 2	34



## LISTA DE SIGLAS

EAP	Estrutura Analítica de Projeto
CUB	Custo Unitário Básico
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
DI	Despesas Indiretas
INCC	Índice Nacional da Construção Civil
TCPO	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos
NBR	Norma Brasileira
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial Setor de Indústrias Gráficas

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 CONCEITOS ACERCA DO PROCESSO DE ORÇAMENTAÇÃO.....	12
2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AMOSTRAS PRESENTES NA ORÇAMENTAÇÃO .....	14
<b>3 METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>	<b>17</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO E ESCOLHA DE PARÂMETROS PELA METODOLOGIA ATUAL .....	17
3.2 DICIONÁRIO DE TERMOS E VARIÁVEIS .....	19
3.3 LEVANTAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS .....	19
3.4 ESCOLHA DO MÉTODO ESTATÍSTICO.....	19
3.5 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA .....	21
3.6 TESTE PARA ORÇAMENTO .....	23
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1 METODOLOGIA ATUAL .....	25
4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	27
4.3 VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	31
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de grande representatividade, de modo que seu desempenho tem uma influência expressiva no cenário econômico do país (FIBRA, 2017). Dessa maneira, as construtoras se encontram em uma conjuntura em que suas engenharias de custos e, conseqüentemente, seus orçamentos necessitam de uma análise o mais correta possível para tornar um empreendimento economicamente viável. Com o orçamento de melhor acurácia, o construtor consegue obter vantagens para garantir o resultado da sua construção, possibilitando, portanto, tomadas de decisões com base nesse orçamento e diminuição expressiva de riscos futuros de gastos com itens não previstos inicialmente (TAVES, 2014).

Uma obra é, eminentemente, uma atividade econômica. Em vista disso, o aspecto ‘custo’ tem grande relevância nesse meio, independentemente de localização, recursos, prazo, cliente e tipo de projeto (MATTOS, 2006). A preparação de um orçamento não constitui um exercício de adivinhação, de modo que é, portanto, fundamental para o sucesso de construtores, incorporadores e contratantes de obras públicas ou privadas (TCPO, 2010). Dessa maneira, é imprescindível compreender a diferença entre termos como orçamento e orçamentação. A orçamentação é o processo de determinação do orçamento, sendo este, portanto, o produto final (MATTOS, 2006).

Um orçamento pode ser classificado conforme o seu grau de detalhamento. Essa classificação contempla três fases: (i) estimativa de custo; (ii) orçamento preliminar; e (iii) orçamento analítico ou detalhado.

A estimativa de custo é uma avaliação expedita feita com base em custos históricos e comparação com projetos similares. Dá uma ideia da ordem de grandeza do custo do empreendimento. No caso de obras de edificações, um indicador bastante utilizado nesse grau de detalhe do orçamento é o custo do metro quadrado construído (MATTOS, 2006). A estimativa de custo pode ser, portanto, considerada um orçamento parametrizado.

O orçamento preliminar apresenta um nível de detalhamento maior que a estimativa de custo, de modo que pressupõe o levantamento de quantidades e requer pesquisa de preços dos principais insumos e serviços. Isso permite inferir que o grau de incerteza é menor (MATTOS, 2006).

Já o orçamento analítico é elaborado por meio de composições de custo e extensa pesquisa de preços dos insumos. Dessa maneira, é possível chegar a um valor próximo do custo

real, diminuindo a margem de incerteza (MATTOS, 2006). As composições se tratam de serviços de obras que necessitam de insumos para serem efetivas. Os insumos são itens que compreendem materiais, mão-de-obra e equipamentos que fazem parte da composição de serviço. Para cada insumo há uma unidade de medida e um coeficiente de consumo adequado para cada serviço (TCPO, 2010).

Dentre as fases apresentadas na classificação por grau de detalhamento, a fase de estimativa de custo é a que apresenta a menor precisão e discriminação de custos, pois, segundo González (2008), este valor é, como o próprio nome diz, estimativo, sendo indicado para a análise inicial de viabilidade, ou seja, permitindo ao proprietário ou interessado exclusivamente a verificação da ordem de grandeza, adequação ao seu orçamento e se deve ou não prosseguir na análise. Desse modo, este estudo tem por objetivo propor e verificar a aplicabilidade de uma metodologia para auxílio na escolha de parâmetros de custo em um processo de orçamentação na fase de estimativa de custo. Com base em uma análise estatística, a partir de dados históricos de orçamentos de empreendimentos de uma construtora e incorporadora de Porto Alegre, esta metodologia busca aprimorar as informações disponíveis aos profissionais da área de orçamentos e viabilizar, portanto, um orçamento mais embasado no momento de estimar os custos projetados.

O estudo propõe, primeiramente, a classificação do novo empreendimento de acordo com o seu uso e seu padrão, de modo a estabelecer uma base comparativa de obras provenientes de dados históricos da empresa. Após essa etapa, realiza a aplicação de um método estatístico que permita estimar, para cada um dos grupos observados, provenientes da matriz orçamentária, a margem de erro e intervalo de confiança da base comparativa em questão, com intuito de tornar mais intuitiva a escolha de um parâmetro no processo de montagem e elaboração da estimativa de custo de um novo empreendimento.

A aplicação da metodologia proposta tem como principal fator limitante o tamanho da amostra disponível, visto que o número de empreendimentos passíveis de serem considerados nos procedimentos estatísticos não aumenta representativamente, tornando a amostra pequena, mesmo com o surgimento de novas edificações. Somado a isso, o próprio processo de orçamentação limita as estimativas, devido a sua maneira classificatória de seleção de empreendimentos. Desse modo, há uma expressiva diminuição nos dados válidos para os cálculos inerentes à metodologia. Ademais, há outras delimitações para o estudo relacionadas às particularidades de cada empreendimento novo a ser orçado, visto que, de acordo com Dacoregio (2017), há atividades muito específicas de cada projeto ou que não possuem

correlação com os parâmetros da edificação, podendo prejudicar a precisão da estimativa. Devido a esses fatos, a escolha do método estatístico é imprescindível para uma análise com maior acurácia.

Estimativas de custo são usualmente utilizadas na fase de estudos de viabilidade com a finalidade de propiciar uma adequada tomada de decisão sobre a realização do empreendimento (ABDI, 2017). Um orçamentista que executa a etapa de parametrização de um orçamento enfrenta, ao longo de todo o processo, inúmeras imprecisões e ausência de informações na escolha dos dados necessários para a sua montagem. Isso impacta diretamente na tomada de decisões de uma empresa, que, por consequência, influencia todos os fatores envolvidos na criação, execução e venda de um novo empreendimento. Em vista disso, a aplicabilidade deste estudo visa à facilitação do processo de orçamentação e ao direcionamento da escolha de parâmetros envolvidos em uma nova estimativa de custo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma orçamentação eficiente é um dos principais fatores para se obter um resultado lucrativo e, com isso, o sucesso do construtor. Um orçamento mal executado fatalmente gera imperfeições e possíveis impactos negativos em custo e prazo. O erro para menos, embora mais recorrente, pode ser tão prejudicial quanto o erro para mais (MATTOS, 2006).

Dentre as atribuições de um orçamentista necessárias para a elaboração de um orçamento preciso, se destacam: (i) a definição, com rapidez, exatidão e confiabilidade, de todas as verbas a serem atendidas, facultando manter, desde o início da obra, controle eficaz dos recursos provenientes dos contratos feitos; e (ii) a identificação adequada das inúmeras variáveis envolvidas no problema em questão, quantificando-as precisamente, além da consideração, com correção, da influência que cada uma exerce no preço, impostos e encargos financeiros (PARGA, 2003). Ainda de acordo com o autor, há, inerentes aos processos envolvidos nessas atribuições, variáveis que intervêm e interagem de forma não intuitiva. Isso, por vezes, impobissibilita o orçamentista de seguir fielmente as premissas destacadas. Dessa forma, Parga (2003) afirma que uma abordagem matemática pode ser capaz de propiciar um meio mais seguro, a fim de banir da questão essas dificuldades encontradas.

### 2.1 CONCEITOS ACERCA DO PROCESSO DE ORÇAMENTAÇÃO

Segundo Sampaio (1989), o orçamento é o cálculo dos custos necessários para executar uma obra ou um empreendimento e, quanto mais detalhado, mais se aproxima do custo real.

A elaboração de um orçamento faz parte do gerenciamento de custos de um projeto, sendo, portanto, necessário: (i) planejar o gerenciamento de custos; (ii) estimar os custos, por meio de, idealmente, levantamento quantitativo individual dos serviços e, após, precificá-los; (iii) criar a EAP, de modo que todas as atividades contempladas pelo escopo do projeto estejam presentes, divididas em pacotes de serviço e constando a identificação e as especificações de cada componente e (iv) identificar os riscos, visto que é de extrema importância que não ocorram imprevistos ao longo do projeto passíveis de inviabilizá-lo e onerar os custos envolvidos (ANDRADE; CUNHA, 2014). A elaboração e montagem da EAP é primordial em uma orçamentação, pois, segundo Mattos (2010), é na identificação das principais atividades consideradas em que o escopo total do projeto é decomposto em unidades de trabalho mais simples e de manuseio mais fácil.

Em relação aos tipos de orçamento recorrentes no setor da construção civil, Mattos

(2006) afirma que há uma classificação quanto ao grau de detalhamento de um orçamento, a qual subdivide-se em três etapas: (i) estimativa de custo; (ii) orçamento preliminar; e (iii) orçamento analítico ou detalhado, conforme descrito anteriormente.

A estimativa de custo, para Mattos (2006), é feita a partir de indicadores genéricos, números consagrados que servem para uma primeira abordagem a respeito do custo da obra. Em edificações, um dos indicadores mais usados é o custo do metro quadrado construído, e a fonte de referência desse parâmetro mais utilizada é o CUB. No entanto, cada construtora pode gerar seus próprios indicadores. Segundo González (2008), o CUB é um indicador do custo de construção utilizado para a estimativa inicial e para o reajuste dos valores monetários calculados nos quadros pertencentes à NBR 12721. González também afirma que a estimativa de custo pode ser chamada de orçamento paramétrico.

O orçamento preliminar corresponde à avaliação de custo obtida por meio de estimativas e levantamentos quantitativos de materiais e serviços, além de pesquisa de preços médios efetuada na etapa de anteprojeto (SAMPAIO, 1989). Além disso, para Tisaka (2011), o orçamento preliminar deve incluir ainda o BDI. Esta sigla compreende uma taxa que se adiciona ao custo de uma obra para cobrir as despesas indiretas que o construtor tem, somado ao risco do empreendimento, às despesas financeiras incorridas, aos tributos incidentes na operação e eventuais despesas de comercialização (TCPO, 2010).

De acordo com González (2008), o orçamento discriminado, ou detalhado, é composto por uma relação extensiva dos serviços ou atividades a serem executados na obra. Os preços unitários, para cada serviço, são obtidos por meio de composições de custos, as quais correspondem, basicamente, a ‘fórmulas’ empíricas de preços, relacionando as quantidades e custos unitários dos materiais, equipamentos e mão-de-obra necessários para a execução de uma unidade do serviço em questão. É feito o levantamento de quantidades de serviços a serem executados a partir dos projetos disponíveis. Em geral, orçamentos discriminados são subdivididos em serviços ou grupos de serviços, facilitando a determinação de custos parciais.

Ainda acerca dos conceitos que abrangem o processo de orçamentação, uma das questões conceituais de grande importância é saber discernir com clareza o que é Custo e o que é Despesa. Custo é todo gasto envolvido na produção e Despesa é todo o gasto necessário para a comercialização do produto (TCPO, 2010). Na elaboração de um orçamento, há dois tipos de custos que são imprescindíveis: Custo Direto e Custo Indireto. Segundo Mattos (2006), em termos gerais, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos e os custos indiretos. O custo indireto pode ser definido como todo o custo que não aparece como mão-de-obra,

material ou equipamento nas composições de custos unitários do orçamento. O autor afirma que é comum a utilização do termo DI como sinônimo de custo indireto, mas esse termo associa-se a itens como como: (i) manutenção do canteiro de obras; (ii) salários; (iii) despesas administrativas; (iv) taxas; (v) emolumentos; (vi) seguros; (vii) viagens; (viii) consultoria; (ix) fatores imprevistos e todos os demais aspectos não orçados nos itens de produção. Já o custo direto tem relação direta com a quantidade produzida e compreende os custos que não fazem parte do custo indireto: (i) mão-de-obra; (ii) material; e (iii) equipamentos.

O processo de estimativa de custo, alvo deste estudo, segundo Parisotto (2003), utiliza informações menos detalhadas, ou seja, aquelas disponíveis nas primeiras etapas de elaboração do projeto. Dessa forma, inicia pela definição da tipologia do edifício, sendo considerados fatores como localização, índices urbanísticos, padrão de acabamento, programa de apartamentos e capacidade econômica, financeira e operacional da empresa construtora. Em seguida, são definidas as características geométricas mais representativas do edifício, como, por exemplo, a área total de construção, área dos pavimentos tipo e subsolo, período de construção, número de apartamentos por andar, número de banheiros e número de elevadores. Essas características estabelecem relações paramétricas que estimam os custos das diversas partes componentes da edificação em termos de serviço, material e mão de obra. Parisotto (2003) ainda afirma que a sistemática para a utilização dessas relações paramétricas são apresentadas em três etapas a serem consideradas: (i) levantamento e análise dos dados; (ii) análise de direcionadores de custo e das relações paramétricas, compreendendo a definição dos principais fatores que caracterizam o produto; e (iii) validação do modelo paramétrico, compreendendo a aplicação do modelo e a comparação de quanto o modelo prediz o custo real, de modo que, caso seja obtida uma margem de erro aceitável, torna-se como válida a utilização do modelo para produtos do mesmo padrão.

## 2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AMOSTRAS PRESENTES NA ORÇAMENTAÇÃO

Este estudo aborda análises estatísticas levando em consideração amostras pequenas e, conseqüentemente, reduzidas. Isso se deve ao fato de que, em estimativas de custo, tipo de orçamento alvo do estudo, os dados antigos não podem ser utilizados como parâmetros, pois o reajuste dos seus custos não acompanham movimentações de mercado. Silva, Saba e Borges (2011) afirmam em seu estudo que, como muitos dos serviços do orçamento original serão executados meses depois, permite-se que os preços sejam corrigidos por meio da variação do



INCC. Porém, visto que o cenário da construção civil varia bastante, de acordo com o aquecimento da economia, esse índice, por vezes, não é suficiente para corrigir os preços dos empreiteiros. Essa é, portanto, uma situação difícil de ser prevista no orçamento original. Desse modo, é necessário avaliar métodos estatísticos que contemplem circunstâncias como essas, em que há amostras pequenas e finitas.

Em relação à estimação da precisão, uma parte crucial da teoria da amostragem em populações finitas é a determinação de um estimador adequado da variância da análise estatística em questão. Um estimador da variância pode ser usado para, principalmente, (i) medir a incerteza da estimação; (ii) comparar a eficiência dos vários esquemas de amostragem; e (iii) construir intervalos de confiança e de teses para os parâmetros de interesse da população finita. No entanto, a estimação da variância e de erros quadráticos médios pode ser uma tarefa complicada, devido a fatores como: (i) uso de estimadores não lineares; (ii) processo de coleta de dados; e (iii) necessidades de técnicas mais elaboradas para a estimação da variância de algumas estatísticas. Dessa maneira, para a elaboração da análise estatística, existem duas abordagens: analítica, pelo método da linearização, e utilizando métodos de reamostragem (AMADO, 2007).

A estimação, conceitualmente, estuda como prever parâmetros populacionais a partir de amostras e faz parte da inferência estatística (CIn-UFPE, 2010). Segundo D'Ávila (2014), um estimador trata da combinação de elementos da amostra, construída com a finalidade de se estimar um parâmetro. Estimadores ideais dependem de amostras aleatórias e de um tamanho compatível com a dispersão populacional (Cin – UFPE, 2010). Já as estimativas são os valores assumidos pelos estimadores (D'ÁVILA, 2014).

Devido à incerteza apresentada como causa deste estudo na estimação de parâmetros necessários para a montagem de um orçamento, optou-se pela utilização de intervalos de confiança por meio da avaliação de métodos de reamostragem. Hair (2005) afirma que a reamostragem descarta a distribuição amostral assumida de um parâmetro e calcula uma distribuição empírica, a qual corresponde à real distribuição do parâmetro. Dessa maneira, infere que uma amostra pode gerar um grande número de outras amostras que podem ser empregadas para gerar a distribuição amostral empírica e, com o poder computacional, é possível se estimar um valor de parâmetro de cada amostra e, a partir desse passo, calcular intervalos de confiança a partir da verdadeira distribuição de parâmetros estimados.

Dentre os métodos de reamostragem existentes, se encontram o Bootstrap e o Jackknife. Para Liu e Tang (1996), o método Bootstrap é uma importante ferramenta para a estimativa da

distribuição de amostragem de uma determinada estatística. Desenvolvido por Efron (1979), o Bootstrap é amplamente utilizado na obtenção de estimativas pontuais e intervalares, bem como na avaliação da acurácia de estimativas e testes. Consiste, basicamente, na replicação do processo de reamostragem por meio de uma amostra ou da sua distribuição, com parâmetros estimados via amostra (TACONELI, 2005). Cada amostra pode ser analisada independentemente e os resultados compilados ao longo de amostras. Por exemplo, a estimativa da média é exatamente a média de todas as médias estimadas ao longo das amostras. O intervalo de confiança também pode ser diretamente calculado (HAIR, 2005). Para Domingues et al. (2015), o método obtém as amostras por meio da amostragem com reposição da amostra original.

Já o método Jackknife, proposto por Quenouille (1949), é uma alternativa não paramétrica para a obtenção de estimativas de erros padrão e consiste, basicamente, na extração de todas as possíveis amostras de tamanho  $n-1$  de uma amostra de tamanho  $n$ , gerando  $n-1$  reamostras (TACONELI, 2005). Dessa maneira, segundo Rodrigues (2012), o Jackknife é uma técnica utilizada para estimar viés e variância de estimadores suportamente viciados por meio da utilização de subamostras, construídas a partir da amostra original de dados, para o cálculo das estimativas requeridas.

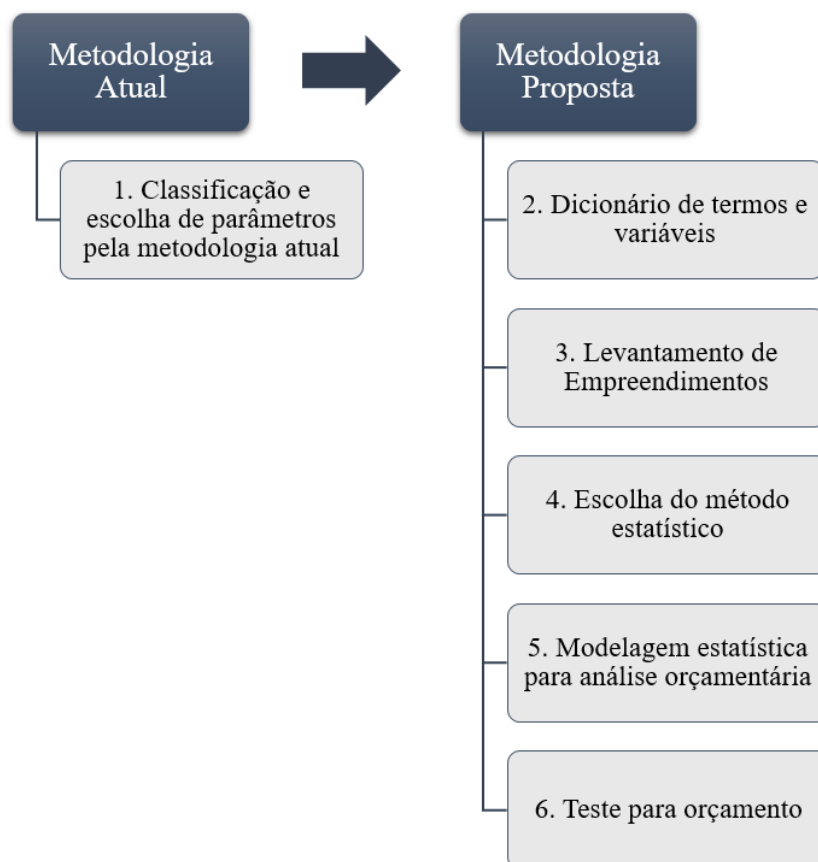
Segundo Hair (2005), os métodos Jackknife e Bootstrap diferem na maneira como se obtém a amostra, de maneira que o Jackknife computa  $n$  subconjuntos ( $n$ =tamanho amostral) para eliminação sequencial de um caso de cada amostra. Desse modo, cada amostra tem um tamanho de  $n-1$ , conforme descrito previamente, e difere, apenas, pelo caso omitido em cada amostra. O método Bootstrap, diferentemente, obtém sua amostragem com reposição da amostra original. A chave, portanto, é a substituição das observações após a amostragem, permitindo que o pesquisador crie tantas amostras quanto necessárias e não se preocupe quanto à duplicação de amostras. As duas abordagens mais simples calculam o erro padrão simplesmente como o desvio padrão às médias estimadas, ou, literalmente, ordenam as médias estimadas e definem os valores que contém os 5% externos dos valores médios estimados.

Os procedimentos de reamostragem discutidos fornecem uma perspectiva alternativa sobre uma das avaliações-chave feitas na análise de dados: a variabilidade do parâmetro estimado. As técnicas de reamostragem propiciam o aumento da habilidade do pesquisador ao examinar a real distribuição dos parâmetros estimados, em vez de confiar na distribuição assumida. Dessa maneira, possibilitam o fornecimento de um modo direto para o conhecimento real de seus dados (HAIR, 2005).

### 3 MÉTODOLOGIA PROPOSTA

O estudo realizado acerca da aplicabilidade de métodos estatísticos no processo de orçamentação pode ser descrito conforme a Figura 1, tendo como base a metodologia atual e gerando uma nova metodologia proposta, empregue neste estudo.

Figura 1 – Fluxograma do estudo



(fonte: elaborada pelo autor)

O início do trabalho ocorreu com a identificação da problemática existente acerca da escolha de parâmetros de custo em um orçamento parametrizado e de seus consequentes intervalos de confiança.

A análise do procedimento atual possibilitou a montagem de uma metodologia subdividida em seis etapas.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO E ESCOLHA DE PARÂMETROS PELA METODOLOGIA ATUAL

Um orçamento parametrizado, ou estimativa de custo, serve de base para a tomada de decisão da compra de um terreno, por exemplo, para a empresa acerca da qual foi feito este

estudo. Este orçamento é elaborado com base no histórico de obras, de modo que não faz parte dos seus processos o levantamento de quantitativos e a discriminação de serviços e insumos.

Segundo o padrão seguido pela empresa em estudo, para a montagem deste tipo de orçamento são imprescindíveis informações como: *(i)* quadro de áreas; *(i)* padrão do empreendimento; e *(iii)* estudo de massa arquitetônico. Além disso, há um documento oficial da empresa que contempla um resumo de todas as informações necessárias para a execução de um orçamento, chamado de 'FPD'. Esse documento contém dados, áreas e a porcentagem de eficiência de projeto, sendo essa eficiência a relação entre a área privativa e a área construída do empreendimento. Os dados e ferramentas orçamentárias cedidas pela empresa para este estudo contemplam essas informações, sendo utilizados, principalmente, dados relativos à área construída e ao custo por metro quadrado (R\$/ m<sup>2</sup>), pois são importantes elementos de análise orçamentária.

O novo empreendimento a ser orçado, segundo a metodologia atual, é, portanto, classificado de acordo com o seu uso: *(i)* comercial; *(ii)* residencial; *(iii)* misto; *(iv)* hotel ou *(v)* casas. Também é classificado de acordo com o seu padrão: *(i)* comercial; *(ii)* emergente; *(iii)* single; *(iv)* médio supreme; *(v)* médio alto ou *(vi)* alto. Essas informações dão suporte à análise técnica para definir a base comparativa do novo orçamento, a qual é constituída pelas obras que mais se assemelham ao novo empreendimento.

A principal variável examinada em um processo de orçamentação parametrizado é o custo por metro quadrado, em função da unicidade que apresenta, pois pode ser utilizado para qualquer valor de área construída. Devido a esse fato, o custo total de cada grupo não pode ser utilizado como parâmetro analítico. Dessa forma, a partir da base comparativa, analisa-se o custo por metro quadrado de cada um dos quarenta e cinco grupos (número de grupos definido pela empresa) componentes da matriz orçamentária.

Os grupos são analisados minuciosamente, de modo que é montada uma espécie de 'quebra-cabeça' orçamentário: para cada grupo é possível escolher um custo por metro quadrado que mais se adequa aos parâmetros do novo orçamento. Essa escolha deve ser feita observando-se bem cada item em questão e analisando-se a semelhança entre os componentes da base comparativa e do novo empreendimento.

Todo esse procedimento é feito, atualmente, por meio de uma planilha em Excel a qual contempla diversos processos distintos e depende inteiramente da expertise do orçamentista, não só para avaliar o custo que apresenta maior coerência como também para manusear a ferramenta utilizada e executar a montagem da estimativa de custo.

### 3.2 DICIONÁRIO DE TERMOS E VARIÁVEIS

O processo de orçamentação atual da empresa em estudo envolve diversas variáveis referentes a características inerentes aos empreendimentos. Com base no banco de dados do histórico de empreendimentos da empresa, tornou-se viável a elaboração um dicionário dessas variáveis, com intuito de identificar cada termo da ferramenta de orçamentação, de modo a facilitar o manuseio dos dados para a etapa de análise estatística da metodologia proposta.

Além disso, o dicionário abrange conceitos criados pela própria empresa, os quais visam à padronização e organização de processos inerentes não só à orçamentação como a todo o modelo de negócio adotado pela construtora e incorporadora.

O objetivo de abordar esses termos no dicionário é de contextualizar, facilitar e universalizar o entendimento do processo de orçamentação como um todo.

### 3.3 LEVANTAMENTO DOS EMPREENDIMENTOS

Além do dicionário, e também com o intuito de facilitar o entendimento de todos os termos e variáveis acerca do processo de orçamentação, foi desenvolvida uma estrutura visual chamada de ‘Árvore Hierárquica’.

A partir da visualização dessa hierarquia e da compreensão de todos itens envolvidos na elaboração de uma estimativa de custo e da compreensão das variáveis contidas na planilha, identificou-se a necessidade da manipulação dos dados históricos da empresa. Além disso, a organização na classificação de todos os empreendimentos também foi imprescindível para tornar mais intuitiva não só a aplicação da análise estatística em estudo como também todo o processo de montagem de um orçamento parametrizado. Isso se deve ao fato de que a metodologia atualmente utilizada pela empresa envolve diversas etapas distintas, dependendo fortemente da expertise do orçamentista. Isso possibilitou, portanto, a reorganização classificatória de todo o histórico de empreendimentos a partir dos parâmetros definidos e das variáveis, tanto de especificação como referentes a custos, presentes na planilha orçamentária.

Além disso, surgiu a premência de se definir um parâmetro que contemplasse, para cada empreendimento, agrupamentos robustos de análise orçamentária, chamados, pela empresa, de macrogrupos.

### 3.4 ESCOLHA DO MÉTODO ESTATÍSTICO

O banco de dados dos empreendimentos tem uma amostragem pequena, e a tendência é que, mesmo que o número de obras aumente com o passar do tempo, continue pequena. Isso se

deve ao fato de que as obras mais recentes apresentam grande variabilidade quando comparadas às obras mais antigas.

O processo de orçamentação que depende de parametrização, o qual é alvo do estudo, necessita da análise comparativa de empreendimentos similares àquele a ser orçado. Dessa forma, para que obras mais antigas sirvam como parâmetro, é necessário que seja feito um reajuste do custo de cada item com base no INCC. Porém, nem sempre esse reajuste acompanha a variação de preços que determinados insumos sofrem devido a movimentações de mercado. Essas obras antigas, portanto, não servem como parâmetros comparativos para a elaboração de novos orçamentos, mesmo sendo reajustadas. Dessa maneira, a amostra do banco de dados de empreendimentos para a análise e estimativa estatística de intervalos de confiança no orçamento sempre se manterá pequena, mesmo com o aumento do número de obras.

Para realizar esta etapa do estudo, foi necessário encontrar um modelo estatístico que atendesse a essa amostra. Quando se tem uma amostra pequena, algumas suposições podem não ser válidas. Isso dificulta a obtenção da distribuição amostral de um estimador. Desse modo, o estudo estatístico teve como base a reamostragem, a qual abrange um conjunto de métodos e técnicas que calculam estimativas por meio de repetições de amostragem dentro da mesma amostra. Foram analisados, principalmente, dois tipos de reamostragem: Jackknife e Bootstrap.

O modelo Jackknife, também chamado de *'leave-one-out'*, é utilizado para a estimativa da variância e tendência de um estimador qualquer. O processo compreende um conjunto total observado, a retirada de uma, ou mais de uma, amostra desse conjunto e o recálculo do estimador a partir do restante dos valores. Esse modelo tem um número fixo de iterações, o qual está diretamente relacionado com o tamanho da amostra retirada (RENNÓ, 2011).

Já o modelo Bootstrap também é utilizado para estimar a variância e a tendência de um estimador qualquer. Porém, esse método apresenta uma abrangência maior que o Jackknife, visto que possibilita mais replicações. O método compreende a escolha aleatória de elementos com reposição a partir da amostra original, gerando uma nova amostra de mesmo tamanho (RENNÓ, 2011).

A partir da reorganização e classificação de todos os dados do histórico de empreendimentos da empresa, para a realização da análise estatística, foram simulados os métodos Jackknife e Bootstrap. Para os dados coletados, o método Jackknife apresentou intervalos de confiança mais estreitos que os apresentados pelo Bootstrap. Devido a esse fato, optou-se pelo método Jackknife.

### 3.5 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

Para a realização do estudo, foi contabilizado o número de empreendimentos pertencente ao banco de dados históricos da empresa. Dessa maneira, para que fosse viável chegar a um custo final parametrizado de um novo orçamento, foi necessário que cada um desses empreendimentos contidos nesse banco de dados fosse classificado de acordo com seu uso e padrão, conforme a metodologia atual. Após essa classificação, foi possível definir a base comparativa, contendo os empreendimentos mais semelhantes entre si.

O estudo tomou por base um empreendimento modelo e, a partir desse empreendimento, foi elaborada uma classificação hierárquica a fim de gerar as amostras necessárias para a aplicação do método estatístico escolhido.

Como a matriz orçamentária contempla quarenta e cinco grupos, para este estudo, foram averiguados somente três grupos relacionados à tipologia das obras: (i) impermeabilização; (ii) forros; e (iii) esquadrias de ferro. Cada um desses três grupos geram uma amostra que dará origem às subamostras, abrangendo os custos por metro quadrado de cada empreendimento. Em vista disso, é calculada a média, desvio padrão e variância para cada combinação de elementos, conforme a aplicação do método estatístico Jackknife.

A amostra, quando  $k$  observações é igual a 1, pode ser definida conforme a Equação (1).

$$x_i = \{x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

Com  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Cada amostra apresenta um tamanho de  $m = n - k$  e o número de amostras distintas é dado por  $\binom{n}{k}$ . O estimador da média é calculado conforme a Equação (2).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2)$$

A  $j$ -ésima observação é removida e a média, portanto, é recalculada por meio da Equação (3).

$$\bar{X}_{-j} = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) - X_j. \quad (3)$$

Portanto, o valor de  $X_j$  pode ser estimado pela Equação (4).

$$X_j = n\bar{X} - (n-1)\bar{X}_{-j} \quad (4)$$

A estimativa em cada amostra pode ser obtida, considerando k igual a 1, como mostra a Equação (5).

$$\widehat{\theta}_{-i} = f(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_n) = f(X_{(i)}). \quad (5)$$

O estimador pontual Jackknife corresponde à média dos chamados pseudovalores, e pode ser definido pela Equação (6).

$$\tilde{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{(i)}. \quad (6)$$

Com base nas análises e considerando que os valores das estimativas são independentes, a variância pode ser calculada por meio da Equação (7), em que  $S^2$  é dado segundo a Equação (8).

$$Var(\tilde{\theta}) = \frac{S^2_{\theta}}{n}, \quad (7)$$

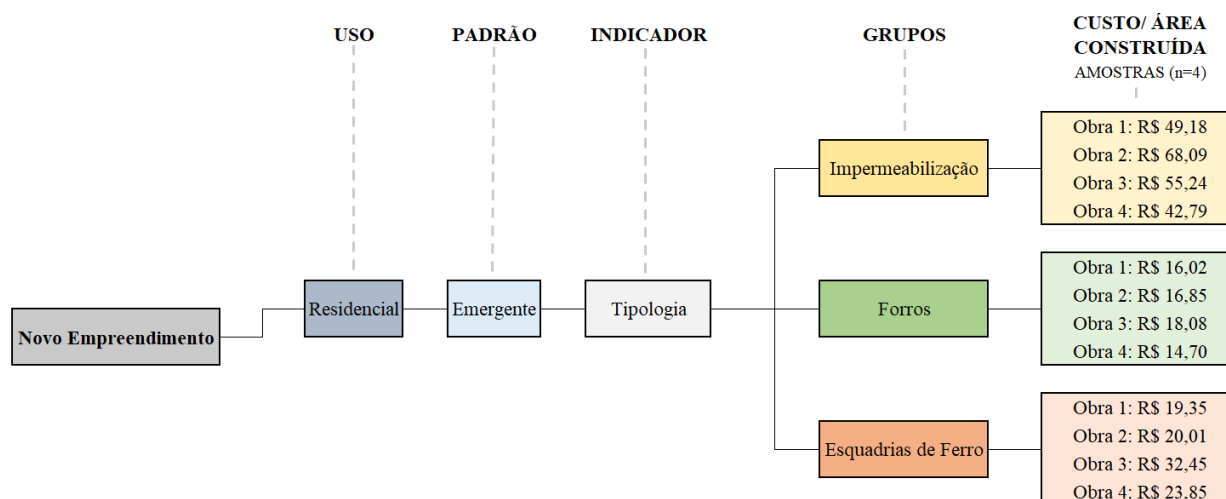
$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_{(i)} - \tilde{\theta})^2. \quad (8)$$



### 3.6 TESTE PARA ORÇAMENTO

O empreendimento utilizado na simulação apresenta características conforme a Figura 2.

Figura 2 - Classificação do empreendimento e amostras



(fonte: elaborada pelo autor)

O empreendimento em questão trata-se de uma obra de uso residencial e de padrão emergente. De acordo com esses parâmetros de classificação, foi possível identificar quatro obras semelhantes (Obra1; Obra 2; Obra 3 e Obra 4), formando, portanto, a base comparativa. Os dados são relativos ao custo por metro quadrado de cada obra foram cedidos pela empresa.

A amostragem do estudo é proveniente de três grupos relativos ao indicador de tipologia: (i) impermeabilização, (ii) forros; e (iii) esquadrias de ferro, os quais contém, cada um, os custos por metro quadrado das obras de referência, de modo que a amostra de cada grupo tem tamanho  $n= 4$ . O indicador de tipologia referencia todos os serviços que são inerentes à qualquer empreendimento e que não apresentam grande variabilidade em suas definições.

Para a aplicação do Jackknife, foi feita a representação esquemática do método por meio da criação de amostras e subamostras a partir dos dados apresentados na Figura 2. Além disso, foram calculados, para cada amostra e subamostra, parâmetros estatísticos, como variância, desvio padrão e média.

Foi desenvolvido, também, um programa em linguagem R, utilizando o software 'R Studio' e os dados das amostras. O objetivo da confecção, tanto desse programa quanto da representação esquemática, é avaliar a aplicabilidade do método estatístico Jackknife na parametrização de pré orçamentos.

Para a elaboração do programa, primeiramente, identificou-se a necessidade de adequar os dados a um formato compatível com os critérios de inserção e leitura do software. A partir da inserção dos dados, foi montado o algoritmo o qual teve por base um programa já existente,

com processos de inserção de dados e análises estatísticas pelo método Jackknife semelhantes aos pretendidos com este estudo.

Por meio da concepção do programa e consequente execução, foi possível realizar a extração de estimativas, como médias, desvio padrão e erro, além de gráficos com as médias de cada obra pertencente à base comparativa, de acordo com cada grupo em estudo. Esses itens extraídos do software são imprescindíveis para a análise estatística do estudo relativa à parametrização de orçamentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em razão da problemática identificada acerca da estimativa de custo executada hodiernamente, foi realizada a verificação da aplicabilidade da metodologia proposta em relação à metodologia atual.

Desse modo, realizou-se a montagem de uma parametrização de custos simulada para os três grupos pertencentes à EAP, seguindo o procedimento da metodologia atual, e o desenvolvimento da metodologia proposta, demonstrando a análise estatística dos parâmetros de custo em questão e o direcionamento para a escolha das melhores opções para cada um dos grupos estudados.

Para a metodologia proposta, verificou-se a estimativa de intervalos de confiança e margens de erro, de cada grupo analisado, em relação aos valores obtidos por meio da metodologia atual, bem como os cálculos de desvio padrão, médias e variância. O desenvolvimento da estimativa estatística aborda conceitos do modelo Jackknife e da utilização do software R Studio.

### 4.1 METODOLOGIA ATUAL

A metodologia atual contempla a elaboração de uma estimativa de custo com base no histórico de obras da empresa em questão, seguindo os parâmetros classificatórios que dão origem à base comparativa e, conseqüentemente, à montagem do novo orçamento. Neste estudo, foi escolhida uma obra de uso residencial e de padrão emergente. Sua área construída (PMPA) totaliza 16.059,57 m<sup>2</sup>. Os dados referentes à classificação, a custos e à base comparativa foram fornecidos pela empresa.

A partir desses dados, foi feita a escolha das obras que serviram como base comparativa, por meio dos padrões de classificação de uso, definido previamente como residencial, e padrão, estipulado como emergente. Foram escolhidas, portanto, quatro obras que apresentam o mesmo uso, mesmo padrão e áreas de prefeitura minimamente próximas.

Em um orçamento parametrizado, é necessária a análise, principalmente, do custo por metro quadrado atualizado, em que o reajuste pelo INCC já está sendo considerado. Esses custos são extraídos de obras antigas, atualizados e inseridos na base de cálculo do orçamento. A partir dessa inserção, é viável a realização do cálculo do custo total por grupo, utilizando a área construída de cada empreendimento. A área de prefeitura, ou construída, é empregada no cálculo pois contempla áreas comuns e demais ambientes que não são contabilizados na área

privativa. A Tabela 1 apresenta a base comparativa aplicada ao estudo.

Tabela 1- Base comparativa para o novo empreendimento

BASE COMPARATIVA								
Grupos Analisados	Obra 1		Obra 2		Obra 3		Obra 4	
	Custo/ Área Const. (R\$/ m <sup>2</sup> )	Custo Total por Grupo (R\$)	Custo/ Área Const. (R\$/ m <sup>2</sup> )	Custo Total por Grupo (R\$)	Custo/ Área Const. (R\$/ m <sup>2</sup> )	Custo Total por Grupo (R\$)	Custo/ Área Const. (R\$/ m <sup>2</sup> )	Custo Total por Grupo (R\$)
Impermeabilização	49,18	885.691,96	68,09	971.408,71	55,24	937.240,51	42,79	828.263,78
Forros	16,02	288.507,22	16,85	240.391,20	18,08	306.757,94	14,70	284.540,26
Esquadrias de Ferro	19,35	348.477,83	20,01	285.473,47	32,45	550.569,42	23,85	461.652,05
<b>Área Construída (m<sup>2</sup>)</b>	18009,19		14266,54		16966,70		19356,48	

(fonte: elaborada pelo autor)

Pode ser observado na Tabela 1 que os dados inseridos correspondem aos custos por metro quadrado de cada grupo e em cada obra. Em seguida é calculado o custo total por grupo, por meio da multiplicação dos valores de cada custo por área construída pela própria área construída da obra correspondente. Esse custo total tem relevância em algumas análises, mas, para a elaboração de um orçamento parametrizado, o principal fator analisado é, de fato, o custo por metro quadrado atualizado e reajustado pelo INCC.

A Tabela 2 evidencia o procedimento de elaboração do orçamento e as escolhas de custos feitas para sua composição.

Tabela 2- Montagem do orçamento parametrizado para os grupos em estudo

GRUPOS ANALISADOS	BASE COMPARATIVA				NOVO EMPREENDIMENTO	
	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo total por grupo
	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo total por grupo
Impermeabilização	49,18	68,09	55,24	42,79	68,09	R\$ 1.093.496,12
Forros	16,02	16,85	18,08	14,7	18,08	R\$ 290.357,03
Esquadrias de Ferro	19,35	20,01	32,45	23,85	32,45	R\$ 521.133,05
<b>CUSTO TOTAL DOS GRUPOS</b>						<b>R\$ 1.904.986,19</b>
<b>Área Construída (m<sup>2</sup>)</b>						<b>16059,57</b>

(fonte: elaborada pelo autor)

Os custos escolhidos para a composição da estimativa de custo são simulações do procedimento de parametrização e, após definidos, são utilizados para o cálculo do custo total por grupo, dando origem à estimativa de custo total da obra, e, para o estudo, soma dos custos totais por grupo.

Alguns grupos de serviços, pertencentes à EAP, não são parametrizados, de acordo com

os critérios da empresa, como, por exemplo: (i) grupos relacionados a custos indiretos; (ii) infraestrutura; (iii) elevadores; e (iv) mobiliário. Esses grupos têm seus custos calculados com as informações específicas do projeto disponíveis nesta etapa do orçamento. Para todos os grupos de serviços restantes é utilizada a parametrização de custos. Atualmente, esse processo é feito por um orçamentista experiente na área, de modo que não é intuitivo e depende da sua análise técnica para definir qual custo escolher como parâmetro dentro das opções disponíveis na base comparativa. Dessa maneira, por vezes, a escolha pode não ser assertiva, tendo risco de elevar ou reduzir expressivamente o custo total do empreendimento. Isso pode ocasionar à empresa tanto prejuízo financeiro quanto dificuldades na venda de unidades do novo empreendimento. A aplicabilidade da metodologia proposta no estudo possibilita o direcionamento da escolha de parâmetros, reduzindo, portanto, o risco de falhas no processo de orçamentação.

## 4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta apresenta uma alternativa de mudança focada no estudo de métodos de ações, influenciando, desse modo, na mudança dos procedimentos de confecção de estimativas de custo em construtoras e incorporadoras.

Essa metodologia proposta compreende, primeiramente, a confecção do dicionário de variáveis, com base em conceitos acerca da ferramenta utilizada no processo de montagem de um orçamento parametrizado. Essa ferramenta se trata de uma planilha em Excel, cedida para o estudo pela empresa, a qual contém as seguintes variáveis necessárias para a elaboração do orçamento: (i) grupo; (ii) subgrupo; (iii) custo direto; (iv) despesa indireta; (v) custo puro; (vi) eficiência do projeto; (vii) prazo; (viii) INCC atualizado; (ix) INCC base; (x) tipo de empreendimento (comercial, residencial, hotel, lojas, misto); (xi) padrão (alto, médio, emergente, médio alto); (xii) custo data base; (xiii) custo atual; (xiv) custo INCC; e (xv) custo por metro quadrado. Além das variáveis contidas na planilha, também acrescentou-se ao dicionário alguns termos e definições a respeito de todo o processo de orçamentação, como conceitos sobre EAP, levantamento quantitativo, Área Construída e Área Privativa.

Para facilitar a compreensão dos níveis e categorias desses itens orçamentários, desenvolveu-se a ‘Árvore Hierárquica’: uma estrutura a qual contempla esquematicamente os níveis hierárquicos relacionados tanto à especificação quanto às variáveis de custo.

O entendimento desses termos e variáveis que permeiam todo o processo de orçamentação levou ao questionamento em relação à complexidade e à quantidade de

procedimentos inerentes à montagem de um orçamento. Desse modo, todos os dados do histórico de empreendimentos da empresa, associados às suas variáveis, foram reorganizados em um único local.

Além disso, neste mesmo local, identificou-se a necessidade da classificação dos itens orçamentários em 7 grandes agrupamentos: (i) DI; (ii) Infraestrutura; (iii) Tipologia; (iv) Fachada; (v) Memorial; (vi) Produto; e (vii) Incorporação. Esses agrupamentos são chamados pela empresa de macrogrupos e foram classificados dessa forma para atuar como indicadores de custo de um orçamento. Para viabilizar essa classificação, os grupos pertencentes à EAP foram subdivididos em grupos menores, chamados, portanto, de subgrupos. Essa subdivisão possibilita o reagrupamento desses subgrupos em diversas categorias de análise orçamentária, como custo puro, despesas diretas e indiretas, macrogrupos e os próprios grupos.

O banco de dados da empresa contempla, atualmente, trinta empreendimentos. Como objeto de estudo, foi considerado um empreendimento de uso residencial e padrão emergente, conforme descrito na metodologia atual. Esse novo empreendimento deu origem a uma base comparativa total de quatro obras. Desse modo, para a aplicação do método estatístico Jackknife em cada um dos três grupos em análise, atribui-se uma variável para cada obra componente da base comparativa: 'x1' corresponde à Obra 1, 'x2' à Obra 2, 'x3' à Obra 3 e 'x4' à Obra 4. A partir da identificação das variáveis, as amostras, para cada grupo, foram montadas e os dados de custo por metro quadrado foram inseridos de acordo com as obras de referência.

Dessa maneira, cada amostra deu origem a quatro combinações de variáveis, denominadas subamostras. Essas combinações são concebidas pela diversificação dos valores amostrais entre si, sempre levando em consideração a supressão de um termo da amostra original. As subamostras, portanto, apresentam um tamanho amostral de  $n-1$ .

O estudo compreende, portanto, a aplicação do método Jackknife para os grupos em questão e, conseqüentemente, o cálculo de suas média, desvios padrões e variâncias, conforme retratam a Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de impermeabilização das obras pertencentes à base comparativa

IMPERMEABILIZAÇÃO										
Dados Obras (R\$/ m <sup>2</sup> )	Amostra		Subamostra 1		Subamostra 2		Subamostra 3		Subamostra 4	
	x1	49,18	x1	49,18	x1	49,18	x1	49,18	x2	68,09
	x2	68,09	x2	68,09	x3	55,24	x2	68,09	x3	55,24
	x3	55,24	x3	55,24	x4	42,79	x4	42,79	x4	42,79
	x4	42,79	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Média</b>	53,83		57,50		49,07		53,35		55,37	
<b>Desvio Padrão</b>	10,78		9,66		6,23		13,16		12,65	
<b>Variância</b>	116,28		93,24		38,76		173,09		160,04	

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 4- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de forros das obras pertencentes à base comparativa

FORROS										
Dados Obras (R\$/ m <sup>2</sup> )	Amostra		Subamostra 1		Subamostra 2		Subamostra 3		Subamostra 4	
	x1	16,02	x1	16,02	x1	16,02	x1	16,02	x2	16,85
	x2	16,85	x2	16,85	x3	18,08	x2	16,85	x3	18,08
	x3	18,08	x3	18,08	x4	14,70	x4	14,70	x4	14,70
	x4	14,70	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Média</b>	16,41		16,98		16,27		15,86		16,54	
<b>Desvio Padrão</b>	1,42		1,04		1,70		1,08		1,71	
<b>Variância</b>	2,02		1,07		2,90		1,18		2,93	

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 5- Representação esquemática do Jackknife para o grupo de esquadrias de ferro das obras pertencentes à base comparativa

ESQUADRIAS DE FERRO										
Dados Obras (R\$/ m <sup>2</sup> )	Amostra		Subamostra 1		Subamostra 2		Subamostra 3		Subamostra 4	
	x1	19,35	x1	19,35	x1	19,35	x1	19,35	x2	20,01
	x2	20,01	x2	20,01	x3	32,45	x2	20,01	x3	32,45
	x3	32,45	x3	32,45	x4	23,85	x4	23,85	x4	23,85
	x4	23,85	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Média</b>	23,92		23,94		25,22		21,07		25,44	
<b>Desvio Padrão</b>	6,03		7,38		6,66		2,43		6,37	
<b>Variância</b>	36,31		54,47		44,30		5,91		40,58	

(fonte: elaborada pelo autor)

Optou-se por realizar a aplicação do método por meio da elaboração de um programa em linguagem R, com o intuito de aferir os cálculos realizados e, também, de propor uma simplificação e auxílio na escolha de parâmetros no processo de orçamentação.

Com o objetivo de adequar os dados coletados a um formato compatível com os critérios de inserção e leitura do software, foram criadas seis diferentes bases de dados, elaboradas na ferramenta Excel: (i) dados do grupo de impermeabilização da base comparativa; (ii) dados do grupo de impermeabilização do novo empreendimento; (iii) dados do grupo de forros da base comparativa; (iv) dados do grupo de forros do novo empreendimento; (v) dados do grupo de

esquadrias de ferro da base comparativa; e (vi) dados do grupo de esquadrias de ferro do novo empreendimento.

A codificação em linguagem R elaborada compreendeu, para cada grupo em estudo; a (i) criação de métricas; (ii) estabelecimento do intervalo de segurança; (iii) seleção de dados; (iv) aplicação do método Jackknife; (v) cálculo do erro; (vi) organização das variáveis; e (vii) plotagem do gráfico. Além disso, teve por base um programa o qual contém a aplicação, também, do Jackknife, além de uma análise de dados semelhante à executada no estudo. Para a confecção do programa foi utilizado o software R Studio, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3– Ilustração de parte do programa em linguagem R

```
#####IMPERMEABILIZAÇÃO#####
# CRIANDO METRICAS
#INTERVALO DE SEGURANCA
seg<-0.95
seg.1<-(1-seg)/2+seg

#SELECIONANDO DADOS
d<-R.Impermeab

#CRIANDO METRICAS
d<-d[,media.1:=mean(Custo.RS.m2),]
d<-d[,sd.1:=sd(Custo.RS.m2)]
d<-d[,n:=.N]

#CRIANDO FUNCAO E APLICANDO JACKKNIFE
theta <- function(x){sd(x, na.rm = TRUE)} #defindino função desvio padrao
results <- jackknife(d$Custo.RS.m2 ,theta)
results2<-results$jack.values
re.1<-mean(results2, na.rm = TRUE)
d$desvio.medio<-re.1

#CALCULANDO O ERRO
d<-d[,erro.jack:=qt(seg.1,df=n-1)*re.1/sqrt(n)]
d<-d[,min.jack.Impermeab:=media.1-erro.jack]
d<-d[,min.jack.Impermeab<0,min.jack.Impermeab:=0]
d<-d[,max.jack.Impermeab:=media.1+erro.jack]
```

(fonte: elaborada pelo autor)

Para a inserção de parâmetros no software, foi criada uma base de dados diferente para cada grupo. Dessa maneira, há uma codificação por grupo, feita, primeiramente, para o grupo de esquadrias de ferro e replicada para os demais. Além disso, os dados de inserção foram dispostos de acordo com a compatibilidade de leitura do software.

Ao ser executado, o programa atualiza a base de dados inserida. Foi possível, portanto, gerar uma tabela por grupo contendo os valores calculados pelo método Jackknife, bem como os parâmetros utilizados para a análise estatística deste estudo. As tabelas geradas pelo software são demonstradas conforme a Figura 4, Figura 5 e Figura 6.



Figura 4– Dados do grupo de impermeabilização com a aplicação do Jackknife

Empreendimento	GRUPO	Custo.RS.m2	media.1	sd.1	n	desvio.medio	erro.jack	min.jack.Impermeab	max.jack.Impermeab
Obra.1	Impermeabilizacao	49.18	53.825	10.78332	4	10.42212	16.58391	37.24109	70.40891
Obra.2	Impermeabilizacao	68.09	53.825	10.78332	4	10.42212	16.58391	37.24109	70.40891
Obra.3	Impermeabilizacao	55.24	53.825	10.78332	4	10.42212	16.58391	37.24109	70.40891
Obra.4	Impermeabilizacao	42.79	53.825	10.78332	4	10.42212	16.58391	37.24109	70.40891

(fonte: software R Studio)

Figura 5– Dados do grupo de forros com a aplicação do Jackknife

Empreendimento	GRUPO	Custo.RS.m2	media.1	sd.1	n	desvio.medio	erro.jack	min.jack.Forros	max.jack.Forros
Obra.1	Forros	16.02	16.4125	1.421112	4	1.383727	2.201818	14.21068	18.61432
Obra.2	Forros	16.85	16.4125	1.421112	4	1.383727	2.201818	14.21068	18.61432
Obra.3	Forros	18.08	16.4125	1.421112	4	1.383727	2.201818	14.21068	18.61432
Obra.4	Forros	14.70	16.4125	1.421112	4	1.383727	2.201818	14.21068	18.61432

(fonte: software R Studio)

Figura 6– Dados do grupo de esquadrias de ferro com a aplicação do Jackknife

Empreendimento	GRUPO	Custo.RS.m2	media.1	sd.1	n	desvio.medio	erro.jack	min.jack.Esquadria.Ferro	max.jack.Esquadria.Ferro
Obra.1	Esquadria.Ferro	19.35	23.915	6.026019	4	5.709063	9.084393	14.83061	32.99939
Obra.2	Esquadria.Ferro	20.01	23.915	6.026019	4	5.709063	9.084393	14.83061	32.99939
Obra.3	Esquadria.Ferro	32.45	23.915	6.026019	4	5.709063	9.084393	14.83061	32.99939
Obra.4	Esquadria.Ferro	23.85	23.915	6.026019	4	5.709063	9.084393	14.83061	32.99939

(fonte: software R Studio)

A partir dos resultados gerados pelo software, foi possível identificar a diferença entre o desvio padrão usual ('sd.1') e o desvio padrão médio ('desvio.medio'). Isso se deve à aplicação do intervalo de segurança, o qual corresponde à 95% em uma distribuição normal. Dessa forma, o desvio padrão sobre o qual foi aplicada essa porcentagem equivale ao utilizado no estudo, que, no caso, é o 'desvio.medio'.

Já a estimativa definida para o desenvolvimento da análise sobre orçamentos parametrizados neste estudo corresponde à margem de erro, pois retrata o intervalo de confiança que o custo por metro quadrado do item a ser orçado apresenta. Essa margem de erro foi representada nas tabelas geradas pelo R Studio como 'erro.jack'.

#### 4.3 VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA

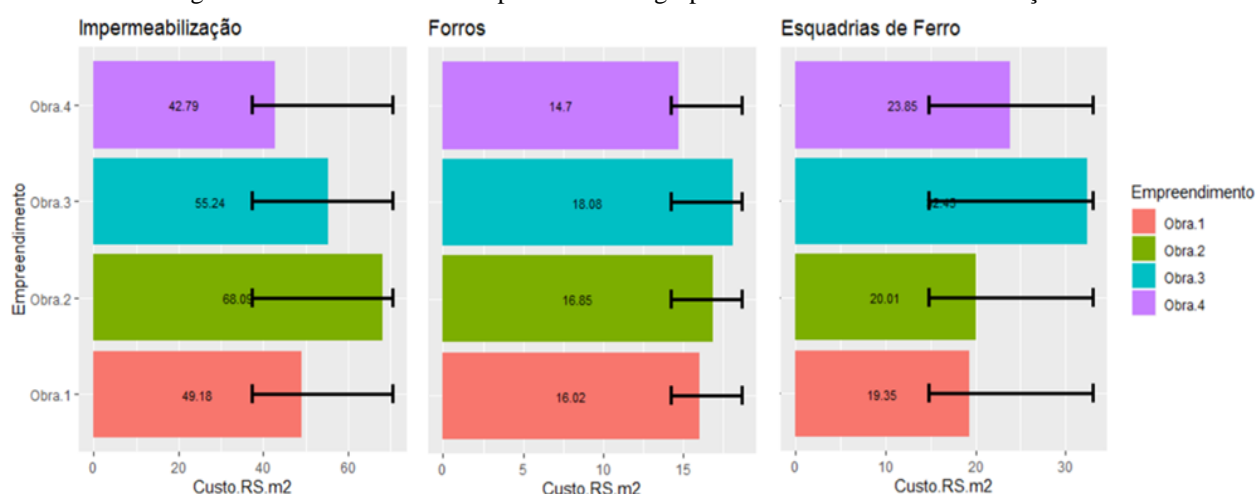
Para cada um dos grupos estudados, foram calculados pelo software os valores médios das médias, desvios padrões, variâncias e erros provenientes da aplicação do método em estudo.

No estudo optou-se por contrapor, para cada grupo, o custo por metro quadrado de cada uma das obras da base comparativa, separadamente, e o custo escolhido na composição do novo orçamento. Além disso, em comum a todos os custos, foi inserido o intervalo de confiança proveniente da aplicação do método estatístico sobre os dados da amostra de cada grupo. Isso

permitiu que fosse feita a análise crítica a respeito do parâmetro escolhido no processo de orçamentação.

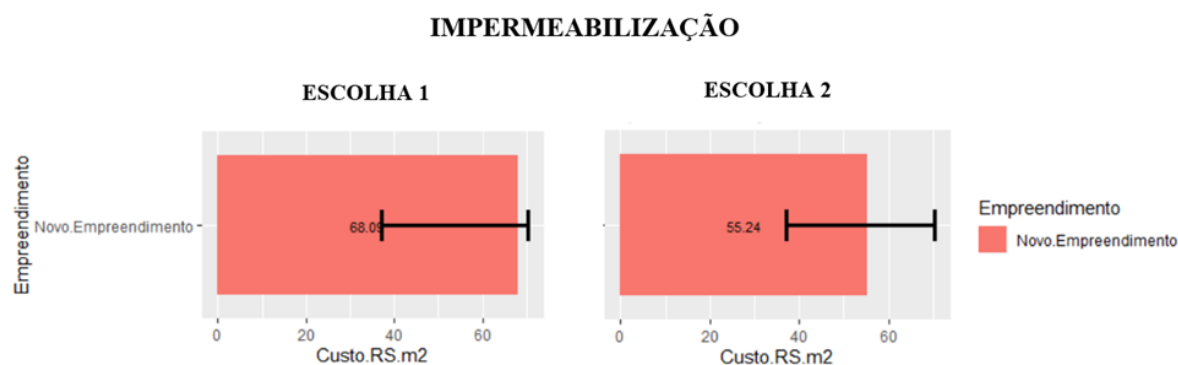
Em vista disso, foi possível ponderar se os parâmetros de cada obra atendem ao intervalo de confiança estimado, bem como possibilitar a melhor escolha de custo para o novo empreendimento a ser orçado. Com intuito de retratar essa análise comparativa, foram gerados pelo software gráficos dos grupos de impermeabilização, forros e esquadrias de ferro. Para cada grupo, foi feita uma escolha de parâmetro diferente para compor o novo custo. A ‘Escolha 1’, simula a opção feita seguindo o critério de escolha do maior custo dentre os 4 apresentados em cada grupo, sem consulta à metodologia proposta. É importante destacar que o critério de maior valor não é o utilizado pela empresa na confecção de estimativas de custo, visto que o procedimento utilizado na metodologia atual requer uma análise minuciosa. Já a ‘Escolha 2’ é a simulação da opção feita aplicando a metodologia proposta, de modo que é selecionado o dado que mais se aproxima do valor médio do intervalo de confiança. A Figura 7 ilustra os custos por metro quadrado de cada obra da base comparativa e o intervalo de confiança calculado pelo programa. Já a Figura 8, Figura 9 e Figura 10 ilustram, comparativamente, em cada um dos grupos, o quanto se afastam do valor ideal as opções feitas pelo orçamentista (Escolha 1 e Escolha 2) para o novo empreendimento.

Figura 7– Gráfico da base comparativa dos 3 grupos e seus intervalos de confiança



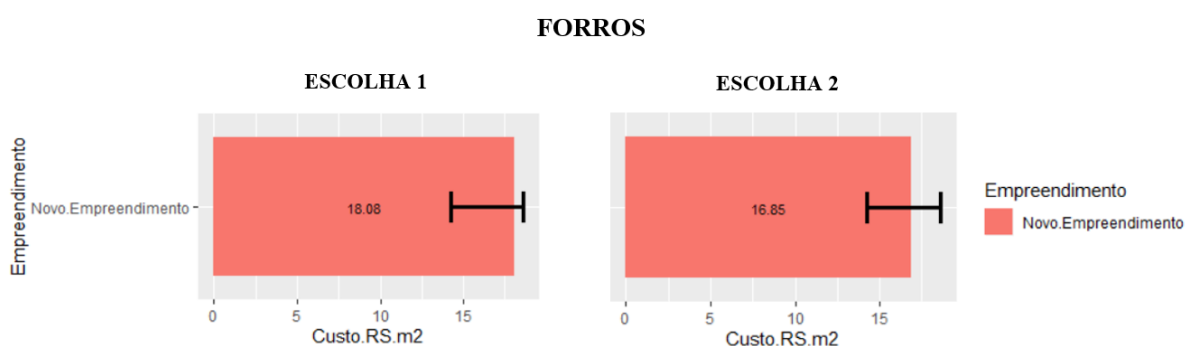
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 8– Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de impermeabilização



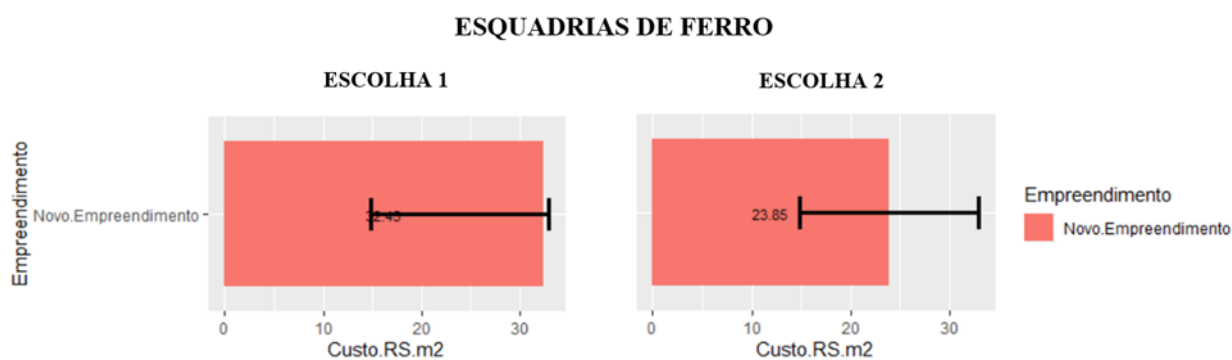
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 9– Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de forros



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 10- Gráfico comparativo das escolhas de parâmetro do grupo de esquadrias de ferro



(fonte: elaborada pelo autor)

As Figuras apresentadas evidenciam que os valores selecionados na Escolha 1 para a montagem do orçamento do novo empreendimento, nos três grupos analisados, foram baseados nos maiores custos, não considerando a aplicação do método estatístico. Isso pode levar a um orçamento errôneo, superestimado e que não induz à racionalização. Os parâmetros de maior confiabilidade, portanto, seriam aqueles que se encontram mais próximos aos valores médios dos intervalos de confiança, ou seja, os pertencentes à Escolha 2, a qual foi feita com base na aplicabilidade da metodologia proposta.

Para cada uma das escolhas, foi simulado, também, o custo total dos 3 grupos, conforme

a Tabela 6.

Tabela 6– Simulação do custo total com base na seleção de dados da Escolha 1 e Escolha 2

GRUPOS ANALISADOS	NOVO EMPREENDIMENTO			
	ESCOLHA 1		ESCOLHA 2	
	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo total por grupo (R\$)	Custo (R\$) / Área Construída (m <sup>2</sup> )	Custo total por grupo (R\$)
Impermeabilização	68,09	R\$ 1.093.496,12	55,24	R\$ 887.130,65
Forros	18,08	R\$ 290.357,03	16,85	R\$ 270.603,75
Esquadrias de Ferro	32,45	R\$ 521.133,05	23,85	R\$ 383.020,74
<b>CUSTO TOTAL DOS GRUPOS</b>		<b>R\$1.904.986,19</b>		<b>R\$1.540.755,15</b>
<b>Área Construída (m<sup>2</sup>)</b>				<b>16059,57</b>
<b>DIFERENÇA</b>				<b>R\$ 364.231,05</b>

(fonte: elaborada pelo autor)

Este comparativo retrata a influência que as escolhas dos parâmetros têm sobre o custo total de um conjunto de grupos de serviço e, conseqüentemente, sobre o total da obra. Foi possível verificar a diferença considerável de custo resultante, apenas, de opções feitas pelo orçamentista. Isso aponta o fato de que um orçamento parametrizado composto pelos dados históricos de maior valor pode, além de se encontrar fora do intervalo de confiança, não retratar a real tendência dos orçamentos de mesma classificação contidos no histórico de empreendimentos da empresa.

Embora a verificação da metodologia proposta tenha apresentado resultados paupáveis e proporcione maior confiabilidade no processo de orçamentação, foi possível concluir, também, que o procedimento de cálculo e fornecimento dos dados resultantes ainda não é inteiramente automatizado, visto que é imprescindível, para o seu desenvolvimento, conhecimentos da utilização do software ‘R Studio’, bem como da inserção de dados no programa. Apesar da necessidade das melhorias a serem feitas nestes aspectos destacados, é possível inferir que a metodologia proposta propicia maior segurança e direcionamento ao orçamentista no momento da escolha de parâmetros de uma estimativa de custo, além de tornar o processo de orçamentação mais intuitivo, acessível e confiável, não dependendo exclusivamente da extrema expertise de um único orçamentista.

Além disso, a aplicação prática da metodologia proposta interfere, em relação à empresa em questão e, possivelmente, a demais construtoras e incorporadoras, nas tomadas de decisões e compreensão da execução de uma estimativa de custo tanto para o próprio setor de orçamentos, quanto para outros setores, gerências e diretorias.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo permitiu verificar a aplicabilidade da metodologia proposta em relação à metodologia atual acerca da elaboração de um orçamento parametrizado de uma obra fictícia, por meio da utilização de três importantes grupos de um orçamento padrão, pertencentes à EAP: (i) impermeabilização; (ii) forros; e (iii) esquadrias de ferro. O processo classificatório de uso e padrão do novo empreendimento foi imprescindível para a construção da base comparativa de obras semelhantes oriundas do banco de dados históricos da empresa. Ademais, teve grande relevância a organização e disposição desses dados, bem como o entendimento de todas as variáveis e conceitos relativos ao processo de orçamentação, para todas as etapas de construção da metodologia proposta.

O estudo buscou, principalmente, a simplificação da escolha de parâmetros de custo para a montagem de um pré orçamento, pois o orçamentista disporá da visualização dos intervalos de confiança para cada item do orçamento, o qual é baseado no histórico de empreendimentos e de acordo com a classificação prévia de uso e padrão do novo empreendimento.

Conforme abordado pela metodologia proposta e análise de seus resultados, foi possível inferir que nem sempre um custo estimado que apresenta o maior valor é a escolha mais assertiva para um orçamento parametrizado, visto que, se seu custo total for muito elevado, pode inviabilizar o negócio e se for muito baixo, pode ocasionar prejuízos futuros para a empresa. Além disso, quando não se tem projetos bem definidos e detalhamentos referentes ao empreendimento a ser orçado, a confecção de um orçamento parametrizado depende inteiramente da expertise do orçamentista. Portanto, a estimativa de intervalos de confiança pode dar suporte à uma análise técnica mais direcionada e, conseqüentemente, mais assertiva e compatível com a tendência de custo apresentada pelas obras provenientes da base comparativa.

O direcionamento dado pela estimativa de margens de erro e intervalos de confiança, portanto, pode deixar o processo de elaboração de orçamentos parametrizados menos suscetível a erros humanos. Porém, seria de grande interesse, inicialmente, tornar a inserção de dados e execução do programa no software ‘RStudio’ automatizada. Futuramente, pode ser possível, também, criar um único procedimento de orçamentação parametrizada por meio de um software, por exemplo, eliminando mecanismos de análise de dados que ainda são manuais e dependem de muitas inserções de dados repetitivas. Estes futuros trabalhos podem ser viabilizados por meio do campo da estatística, o qual é vasto e rico de possibilidades.

## REFERÊNCIAS

- ABIC, (2017). *GUIA 3 – BIM na Quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção* conceitos básicos de probabilidade. Recuperado em 05 de dezembro de 2019, de [http://old.abdi.com.br/Documents/GUIA%20BIM03\\_20171101\\_web.pdf](http://old.abdi.com.br/Documents/GUIA%20BIM03_20171101_web.pdf)
- AMADO, C. (2007). *Métodos de reamostragem para a estimação de medidas de precisão em sondagens*. Recuperado em 05 de dezembro de 2019, de <https://www.math.tecnico.ulisboa.pt/~apacheco/ipe/seminarios/Amado-talk-ist2007.pdf>
- ANDRADE, M. C.; CUNHA, M. M. (2014). O que é e como se faz o orçamento de um projeto?, *PMKB*, 6(1), 1-2. <https://pmkb.com.br/artigos/o-que-e-e-como-se-faz-o-orcamento-de-um-projeto/>
- COSTA, G.G.O. (2010). Intervalo de confiança e teste de significância bootstrap para coeficiente de correlação linear referente à hipótese de um valor não nulo. *Revista GEPROS (Gestão de Produção, Operações e Sistemas)*, 177-186. <https://doi.org/10.15675/gepros.v0i2.855>
- CIn-UFPE (2010). *Conceitos básicos de probabilidade*. Recuperado em 05 de dezembro de 2019, de <https://www.cin.ufpe.br/~rmcrs/ESAP/arquivos/>
- DACOREGIO, F. A. (2017). *Estimativa preliminar de custos de obra utilizando redes neurais* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- D'ÁVILA, V. H. L. (2014). *Estatística para experimentalistas*. Recuperado em 05 de dezembro de 2019, de <https://www.ime.unicamp.br/~hlauchos/>
- DOMINGUES, K. M.; OLIVEIRA, F. L. P.; CRUZ, F. R. B.; BESSEGATO, L. F. (2015). Estimação de intervalos de confiança via reamostragem bootstrap, 13(1), 2-3. [https://www.researchgate.net/publication/280132590\\_Estimacao\\_de\\_Intervalos\\_de\\_Confianca\\_via\\_Reamostragem\\_Bootstrap](https://www.researchgate.net/publication/280132590_Estimacao_de_Intervalos_de_Confianca_via_Reamostragem_Bootstrap)
- GONZÁLEZ, M. A. S. (2008). *Noções de orçamento e planejamento de obras*. São Leopoldo: Unisinos.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. (2005). *Análise Multivariada de Dados* (5a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- MATTOS, A. D. (2006). *Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos* (1a ed.). São Paulo: Pini.
- PARGA, P. (2003). *Cálculo do preço de venda na construção civil* (2a ed.). São Paulo: Pini.
- PARISOTTO, J. A. (2003). *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* (Trabalho de Conclusão de Curso).

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RENNÓ, C. (2011). *Jackknife, bootstrap e outros métodos de reamostragem*. Recuperado em 20 de outubro de 2019, de [http://www.dpi.inpe.br/referata/arq/\\_2011/12\\_Camilo/Renno\\_2011\\_resampl.pdf](http://www.dpi.inpe.br/referata/arq/_2011/12_Camilo/Renno_2011_resampl.pdf)

SAMPAIO, F. M. (1989). *Orçamento e custo da construção* (1a ed.). Brasília: Hemus.

SILVA, A. F. P. S.; SABA, R. V.; BORGES, R. I. (2003). *Análise das principais solicitações de alteração de orçamento de edificações residenciais* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SISTEMA FIBRA (2016). *Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil*. Recuperado em 11 de outubro de 2019, de <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>

TACONELI, C. A. (2005). *Reamostragem Bootstrap em amostragem por conjuntos ordenados e intervalos de confiança não-paramétricos para a média* (Tese de Mestrado). Universidade de São Carlos, São Carlos.

TAVES, G.G. (2014). *Engenharia de custos aplicada à construção civil* (Projeto de graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TISAKA, M. (2011). *Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução* (2a ed.). São Paulo: Pini.

TCPO (2010). *Tabela de Composições de preços para orçamentos* (13a ed.). São Paulo: Pini.