



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

ADINAILSON GUIMARÃES DE OLIVEIRA

Previsão do custo de manutenção predial em  
Universidades Públicas Federais por modelagem  
com regressão linear - RLM



SALVADOR  
2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**ADINAILSON GUIMARÃES DE OLIVEIRA**

**Previsão do custo de manutenção predial em Universidades  
Públicas Federais por modelagem com regressão linear - RLM**

Salvador  
Novembro / 2022

**ADINAILSON GUIMARÃES DE OLIVEIRA**

**Previsão do custo de manutenção predial em Universidades  
Públicas Federais por modelagem com regressão linear - RLM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, da Universidade Federal da Bahia como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães

Salvador  
Novembro / 2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Adinailson Guimarães de  
Previsão do custo de manutenção predial em  
Universidades Públicas Federais por modelagem com  
regressão linear - RLM / Adinailson Guimarães de  
Oliveira. -- Salvador, 2022.  
81 f.

Orientador: Robson da Silva Magalhães.  
Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em  
Engenharia Industrial - PEI) -- Universidade Federal  
da Bahia, Escola Politécnica da UFBA, 2022.

1. previsão de custo. 2. planejamento orçamentário.  
3. Universidades Federais. 4. pressupostos  
estatísticos. I. Magalhães, Robson da Silva. II.  
Título.



PREVISÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO PREDIAL EM UNIVERSIDADES  
PÚBLICAS FEDERAIS POR MODELAGEM COM REGRESSÃO LINEAR - RLM

ADINAILSON GUIMARÃES DE OLIVEIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:



Documento assinado digitalmente  
ROBSON DA SILVA MAGALHAES  
Data: 21/11/2022 11:34:38-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães  
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia-UFBA, BRASIL,  
2010



Documento assinado digitalmente  
GERSON DOS SANTOS LISBOA  
Data: 21/11/2022 16:34:07-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gerson dos Santos Lisboa  
Doutor em Engenharia Florestal, pela Universidade Federal de Santa Maria-UFSM,  
2014

Prof. Dr. Eduardo Silva Palmeira  
Doutor em Sistemas e Computação, pela Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte-UFRN, BRASIL, 2013

Salvador, BA - BRASIL  
Novembro/2022

*À minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, essenciais em minha formação pessoal, ensinando valores éticos e morais que compõem o meu caráter, transcendendo em muito a importância de títulos acadêmicos.

À minha família, por entender da importância desta conquista e sempre me tratar como exemplo a ser seguido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães, pelo inestimável auxílio e paciência, sempre incentivando e não deixando que o desânimo se sobressaísse ao desafio de terminar esta tarefa.

À secretaria do PEI-UFBA, em especial a Tatiane e Edilson, pelo apoio na resolução de problemas e execução de procedimentos curriculares.

Aos meus amigos, fundamentais nos momentos de descontração e suporte.

Aos meus colegas de trabalho na Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), em especial a Franklin Matos, pelo auxílio imponderável na aquisição dos dados e compreensão das informações.

OLIVEIRA, Adinailson Guimarães de. **Previsão do custo de manutenção predial em Universidades Públicas Federais por modelagem com regressão linear - RLM**. 81 f. il. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2022.

## RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta que auxilie na previsão do custo de manutenção predial de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES). Esta previsão, além de contribuir no planejamento dos serviços de manutenção, auxiliam as IFESs a atender às legislações específicas que tratam de planejamento orçamentário das instituições e da União. Para garantir que a previsão do custo de manutenção predial tenha robustez, foi desenvolvido um modelo matemático, utilizando técnicas com Regressão Linear Múltipla (RLM) que realizem a previsão dos custos, visando auxiliar a IFES na realização de um planejamento financeiro mais eficiente para a execução das tarefas de manutenção. Como objeto de estudo, utilizou-se o universo das 63 Universidades Federais do Brasil que estavam em funcionamento em 2018. A partir de dados anuais dessas IFES, são analisadas as informações que influenciam no custo da manutenção predial no ano seguinte. A análise dos parâmetros estatísticos do modelo apresentou robustez ao atender aos pressupostos estatísticos aplicados, apresentando índices  $R = 90,4\%$  e  $R^2 = 81,8\%$ . Um conjunto de simulações com a equação final revelam resultados satisfatórios para a ferramenta desenvolvida.

**Palavras-chave:** previsão de custo, planejamento orçamentário, Universidades Federais, pressupostos estatísticos.

OLIVEIRA, Adinailson Guimarães de. **Forecasting the Cost of Building Maintenance in Federal Public Universities Using Linear Regression Modeling**. 81 pp. il. (Dissertation) Professional Master's - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2022.

### ABSTRACT

The present work consists of the development and evaluation of a tool that helps in predicting the cost of building maintenance of an IFES. This forecast, besides contributing to the planning of maintenance services, assists IFES to comply with specific legislation that deals with budgetary planning of institutions and the Union. To ensure that the prediction of the cost of building maintenance has robustness, mathematical models were developed, using techniques with RLM that perform the prediction of the values of these costs, aiming to help IFES in carrying out a more efficient financial planning for performing maintenance tasks. As an object of study, was used the set of 63 Federal Universities in Brazil that were in operation in 2018. Based on annual data from these IFES, information that influences the cost of building maintenance in the following year is analyzed. The analysis of the model's statistical parameters showed robustness in meeting the applied statistical assumptions, presenting indices  $R = 90,4\%$  and  $R^2 = 81,8\%$ . A set of simulations with the final equation reveal satisfactory results for the developed tool.

**Keywords:** cost forecast, budget planning, federal universities, statistical assumptions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição das Universidades Federais no Brasil. . . . .	22
Figura 2 – Total da comunidade acadêmica (docentes, discentes e terceirizados) e total das despesas obrigatórias das IFES. . . . .	22
Figura 3 – Total anual do custo de manutenção predial versus o total anual das despesas discricionárias. . . . .	23
Figura 4 – Variação percentual média do PIB em relação ao ano anterior. . . . .	24
Figura 5 – Codificação da natureza de despesa. . . . .	27
Figura 6 – Codificação da natureza de receita. . . . .	30
Figura 7 – Codificação da conta contábil. . . . .	32
Figura 8 – Fluxograma da metodologia. . . . .	38
Figura 9 – Estrutura do modelo com 32 variáveis independentes. . . . .	52
Figura 10 – Fluxograma de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) com <i>backward</i> . . . . .	56
Figura 11 – Estrutura final do modelo com 4 variáveis independentes ( $x_j$ ). . . . .	61
Figura 12 – Valores previstos ( $y_{P_i}$ ) versus valores observados ( $y_{O_i}$ ). . . . .	63
Figura 13 – Histograma dos resíduos padronizados ( $z_i$ - Equação 3.11) e gráfico de distribuição normal. . . . .	63
Figura 14 – Resíduos padronizados ( $z_i$ - Equação 3.11) versus valores previstos ( $y_{P_i}$ ). . . . .	64
Figura 15 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) do treinamento para modelo (respostas até 2018). . . . .	65
Figura 16 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2019. . . . .	66
Figura 17 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2020. . . . .	66
Figura 18 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2021. . . . .	67
Figura 19 – Valores previstos ( $y_{P_i}$ ) versus valores observados ( $y_{O_i}$ ) no teste do modelo. . . . .	68
Figura A.1 – Valores para as probabilidades acumuladas. . . . .	79
Figura A.2 – Valores para as probabilidades acumuladas (cont. 1). . . . .	80
Figura A.3 – Valores para as probabilidades acumuladas (cont. 2). . . . .	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação por fonte/destinação de recursos. . . . .	30
Quadro 2 – Informações das IFES (variáveis) utilizadas para previsão do custo da manutenção predial. . . . .	33
Quadro 3 – Classificação do coeficiente de correlação ( $R$ ). . . . .	41
Quadro 4 – Classificação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). . . . .	42
Quadro 5 – Classificação das correlações para valor-p. . . . .	48
Quadro 6 – Resumo do processo de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) com <i>backward</i> . . . . .	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de Variância para testar a significância do modelo. . . . .	47
Tabela 2 – Quantidade de IFES em funcionamento em cada ano. . . . .	51
Tabela 3 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da primeira regressão do modelo. . . . .	57
Tabela 4 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da segunda regressão do modelo. . . . .	58
Tabela 5 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da terceira regressão do modelo. . . . .	59
Tabela 6 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da quarta regressão do modelo. . . . .	59
Tabela 7 – Análise do $C_p$ de Mallows. . . . .	60
Tabela 8 – Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações ao final de cada Etapa 02 do fluxograma (Figura 10). . . . .	61
Tabela 9 – Análise de variância dos coeficientes para configuração com 4 variáveis independentes ( $x_j$ ). . . . .	62
Tabela 10 – Coeficiente de Correlação ( $R$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre dados observados ( $y_O$ ) e previstos ( $y_P$ ) do modelo ano a ano. . . . .	67



## LISTA DE ABREVIATURAS

**ANOVA** Análise de Variância

**BI** *Business Intelligence*

**IES** Instituições de Ensino Superior

**IFES** Instituição Federal de Ensino Superior

**LDB** Lei nº 9.394/96 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

**LDO** Lei de Diretrizes Orçamentárias

**LOA** Lei Orçamentária Anual

**MEC** Ministério da Educação

**MISO** *Multiple Input, Single Output*

**PIB** Produto Interno Bruto

**PPA** Plano Plurianual

**REUNI** Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais

**RLM** Regressão Linear Múltipla

**SIAFI** Sistema Integrado de Administração Financeira

**TCU** Tribunal de Contas da União

**UFABC** Universidade Federal do ABC

**UFMG** Universidade Federal de Minas Gerais

**UFSB** Universidade Federal do Sul da Bahia

**VIF** *Variance Inflation Factor*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$CAC$	Custo da área construída
$CMP$	Custo da manutenção predial
$C_p$	Estatística de Mallows
$F$	Teste F de Fisher
$F_0$	Resultado do Teste F
$H_0$	Hipótese nula
$H_1$	Hipótese alternativa
$IC$	Intervalo de confiança
$MQ_E$	Média quadrática da regressão
$MQ_R$	Média quadrática dos resíduos ( $r_i$ )
$OA$	Custo das obras em andamento
$QCA$	Quantidade de comunidade acadêmica
$QCG$	Quantidade de cursos de graduação
$R$	Coefficiente de correlação
$R^2$	Coefficiente de determinação múltipla
$R_{aj}^2$	Coefficiente de determinação ajustado
$R_i^2$	Coefficiente de determinação múltipla da $i$ -ésima variável independente
$SQ_E$	Soma quadrática de regressão
$SQ_R$	Soma quadrática de resíduos ( $r_i$ )
$SQ_T$	Soma quadrática total
$T$	Número total de coeficientes $a_j$ do modelo
$TD$	Receita total discricionária
$TF$	Tempo de funcionamento
$TP$	Receita primária obrigatória total
$\alpha$	Nível de significância estatística
$\bar{r}_i$	Média dos resíduos da predição ( $r_i$ )
$\bar{y}_O$	Valor médio das observações para a variável dependente ou de saída
$\bar{y}_P$	Valor médio das previsões para a variável dependente ou de saída
$\sigma$	Desvio-padrão

$\sigma^2$	Variância do modelo de predição
$\sigma_y$	Desvio-padrão da variável de saída $y$
$a_0$	Coefficiente linear ou coeficiente constante
$a_j$	Coefficientes de regressão da variável de entrada, independente ou preditora $x_j$
$e_i$	Incerteza dos coeficientes $a_j$
$k$	Número de variáveis independentes $x_j$
$r_i$	$i$ -ésimo valor do resíduo da predição
$x_j$	$j$ -ésima Variável independente, de entrada ou preditora
$y_{O_i}$	$i$ -ésima observação da variável de saída
$y_O$	Valores observados da variável de saída
$y_{P_i}$	$i$ -ésima previsão da variável de saída
$y_P$	Valores previstos da variável de saída
$z_i$	$i$ -ésimo valor do Resíduo padronizado
$n$	Número total de observações

## LISTA DE PUBLICAÇÕES

- OLIVEIRA, Adinailson Guimarães de; MAGALHÃES, Robson da Silva. Gerenciamento da Manutenção em Universidades Públicas Federais: Revisão Bibliográfica. *In: XXVI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - XXVI SIMPEP*, 11., 2019, Bauru (SP), UNESP. **Anais...** Brasil: Even3, 2019. Disponível em: <http://https://simpep.feb.unesp.br/anais.php>.
- OLIVEIRA, Adinailson Guimarães de; MAGALHÃES, Robson da Silva. Revisão do Custo de Manutenção em Universidades Públicas Federais Através de Modelagem por Regressão Linear *In: XXVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - XXVII SIMPEP*, 11., 2020, Bauru (SP), UNESP. **Anais...** Brasil: Even3, 2020. Disponível em: <http://https://simpep.feb.unesp.br/anais.php>.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS E HIPÓTESE DA PESQUISA . . . . .	17
1.1.1	Objetivo geral . . . . .	17
1.1.2	Objetivos específicos . . . . .	17
1.1.3	Hipótese . . . . .	17
1.2	JUSTIFICATIVA . . . . .	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO . . . . .	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTOS DA MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFESs DO BRASIL . . . . .</b>	<b>19</b>
2.1	UNIVERSIDADES PÚBLICAS FEDERAIS DO BRASIL . . . . .	20
2.2	MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFES . . . . .	21
2.3	UNIVERSIDADES FEDERAIS E LEGISLAÇÃO VIGENTE . . . . .	25
2.3.1	Licitação e execução de contrato . . . . .	25
2.3.2	Execução orçamentária nas IFES . . . . .	26
2.3.3	Composição das naturezas de despesas . . . . .	27
2.3.4	Classificações da receita orçamentária . . . . .	29
2.3.5	Composição da conta contábil . . . . .	31
2.4	DADOS PARA A PREVISÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO PREDIAL	32
2.5	GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFESs . . . . .	33
2.5.1	Consequências de manutenção inadequada . . . . .	34
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	35
<b>3</b>	<b>ESTRUTURA DO MODELO EM RLM E BASE DE DADOS . . . . .</b>	<b>37</b>
3.1	CONSTRUÇÃO/AJUSTE DO MODELO . . . . .	37
3.1.1	Pressupostos para uma RLM . . . . .	38
3.1.2	Análise de resíduos e $C_p$ de Mallows . . . . .	43
3.2	DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO DO MODELO . . . . .	45
3.2.1	Teste de hipóteses do modelo RLM . . . . .	46
3.2.2	Avaliação da qualidade das informações . . . . .	48
3.2.3	Variáveis independentes ( $x_j$ ) e variável dependente ( $y_P$ ) . . . . .	49
3.3	COLETA E ESTRUTURA DA BASE DE DADOS . . . . .	50
3.4	ESTRUTURA DO MODELO . . . . .	50
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	51
<b>4</b>	<b>PREVISÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DA RLM . . . . .</b>	<b>53</b>
4.1	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS ( $x_j$ ) E REDUÇÃO DO MODELO DE RLM . . . . .	53
4.2	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO RLM . . . . .	61

4.3	PRESSUPOSTOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE HIPÓTESES NO TREI- NAMENTO DO MODELO . . . . .	62
4.3.1	Pressupostos do modelo . . . . .	62
4.3.2	Resultado do teste de hipóteses . . . . .	64
4.3.3	Respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) versus respostas observadas ( $y_{O_i}$ ) . . . . .	65
4.4	TESTE DO MODELO . . . . .	65
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>70</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .	71
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>72</b>
	 <b>ANEXOS</b>	 <b>77</b>
	<b>ANEXO A – TABELAS PARA TESTE F COM NÍVEL DE CONFI- ANÇA DE 0,95 . . . . .</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) possui edificações que atendem aos mais variados objetivos, tais como os objetivos acadêmicos (salas de aulas e laboratórios), administrativos, esportivos, dentre outros (OLIVEIRA; MAGALHÃES, 2020). A funcionalidade das edificações (estruturas) é preservada através da execução de uma rotina de manutenção predial nessas edificações (NBR 14037, 2014), otimizando-se o atendimento das demandas dos usuários e/ou a extensão de requisitos estabelecidos no projeto.

A NBR 5674 (2012) instrui que os serviços de manutenção devem ser executados de maneira estruturada e periodicamente, constituindo-se em serviços de natureza técnica e programável. As atividades de manutenção devem ser tratadas como um investimento, cuja finalidade é a preservação do patrimônio.

Além das normas técnicas que tratam do serviço de manutenção, os gestores das IFESs devem estar atentos às legislações específicas, tais como o ACÓRDÃO 2573/19 e a LEI 8.666/93. Essas legislações específicas são responsáveis pela orientação e regulamentação de diversas atividades, a exemplo da atividade de edição e execução de planos de ação de serviços de manutenção predial. Esses planos de ação definem os serviços e os quantitativos necessários para a execução contratual das atividades (OLIVEIRA; MAGALHÃES, 2020).

Os órgãos públicos são submetidos a três instrumentos de planejamento e orçamento: a Lei Orçamentária Anual (LOA), a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e o Plano Plurianual (PPA). A LOA tem como principais objetivos estimar a receita e fixar a programação das despesas para um exercício financeiro. Cabe à LDO, anualmente, enunciar as políticas públicas e respectivas prioridades para o exercício seguinte. Por fim, o PPA, com vigência de quatro anos, tem como função estabelecer as diretrizes, objetivos e metas de médio prazo na administração pública. Assim, a LDO, ao identificar as ações que receberão prioridade no exercício seguinte, faz o elo entre o PPA, que funciona como um plano de médio-prazo do governo, e a LOA, que é o instrumento que viabiliza a execução do plano de trabalho do exercício a que se refere<sup>a</sup>. As IFESs, por serem órgãos públicos, submetem-se à estes instrumentos, já que eles determinam o modelo orçamentário brasileiro e explicitam o plano de ação governamental.

Em suas gestões contábeis, as IFESs podem requerer informações orçamentárias aos diversos setores que a compõe, constituindo o montante da dotação orçamentária planejada para o órgão. A alta imprecisão na previsão destas informações comprometem o planejamento da instituição e da União. Dentre os setores que compõem uma IFES, um desses é o responsável pelo acompanhamento e gerenciamento da execução dos serviços de manutenção predial. Além do cumprimento às leis orçamentárias, a assertividade na previsão orçamentária desse setor se faz necessária para a otimização na execução destes serviços.

<sup>a</sup> Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/orcamento-da-uniao/cidadao/entenda/cursopo/planejamento>>. Acesso em: 23/01/2021.

Esse trabalho contribui com o desenvolvimento de um modelo baseado em Regressão Linear Múltipla (RLM) que, uma vez ajustado, pode ser utilizado como uma ferramenta de auxílio para a previsão do custo de manutenção predial de uma IFES. As entradas para o modelo proposto são informações coletadas em uma base de dados com registros históricos, financeiros e funcionais das IFESs. Este modelo predirá o custo de manutenção de um determinado ano, de modo que a previsão feita pelo modelo auxilie no gerenciamento do setor de manutenção.

## 1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE DA PESQUISA

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver ferramenta para auxiliar aos gestores das IFESs a prever o custo de manutenção predial com a utilização de dados históricos orçamentários e funcionais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver modelo matemático RLM para previsão de custo de manutenção predial de uma IFES em determinado ano.
- Aplicar técnicas de avaliação de modelo RLM.
- Certificar que os resultados previstos pelo modelo RLM são consistentes estatisticamente.
- Disponibilizar para os gestores das IFESs uma ferramenta capaz de auxiliar, objetivamente, a prever o custo com manutenção predial em determinado ano.

### 1.1.3 Hipótese

É possível prever o custo da manutenção predial nas IFESs utilizando técnicas de Regressão Linear Múltipla.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desse trabalho tem propósito de otimizar a obtenção de uma resposta cuja pergunta é recorrente. Em uma IFES, considera-se como altamente recomendável a boa precisão na previsão orçamentária do órgão e de seus setores, responsáveis pelos mais diversos serviços e atividades. Para realizar uma previsão do custo de manutenção predial, considera-se a utilização de um modelo matemático. As informações utilizadas no modelo como variáveis de entrada são todas consolidadas, reduzindo-se a quantidade de incertezas que podem estar associadas ao processo de previsão do modelo.

Diante de um modelo obtido, tendo-se o conhecimento prévio dos dados históricos, pretende-se que a previsão do custo de manutenção predial seja condizente, permitindo-se



ao gestor uma considerável melhora na qualidade da informação prevista, o que acarretará o aperfeiçoamento do planejamento e uma melhor qualidade do serviço de manutenção predial.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. Os capítulos são descritos como: Capítulo 1 — Introdução; Capítulo 2 — Revisão da literatura e fundamentos da manutenção predial nas IFESs do Brasil; Capítulo 3 — Estrutura do modelo em RLM e base de dados; Capítulo 4 — Previsão do Custo de Manutenção Através da RLM e Capítulo 5 — Conclusão.

O Capítulo 1 apresenta a contextualização, a justificativa, e objetivos do trabalho, além de apresentar a estrutura do mesmo.

O Capítulo 2 situa o leitor quanto ao serviço de manutenção predial nas IFESs. São apresentadas as IFESs, a distribuição delas em território nacional, algumas das principais legislações ou normas que regem o seu funcionamento e como é feito o gerenciamento da manutenção predial perante essas legislações.

O Capítulo 3 apresenta a ferramenta matemática e a metodologia aplicada para alcançar o objetivo final do trabalho. São abordados os principais elementos necessários para o desenvolvimento do modelo e o método para avaliação de sua eficiência.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados da aplicação da ferramenta matemática para a previsão do custo de manutenção predial nas IFESs. Nesse capítulo são avaliados os resultados estatisticamente e a aplicação do teste do modelo, comparando-se os valores previstos com valores observados.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, incluindo as considerações finais e as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros sobre o tema.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTOS DA MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFESs DO BRASIL**

A abordagem dada à manutenção predial no Brasil não se realiza de acordo à importância desse tema (ABREU, 2012). No Brasil, segundo Abreu (2012), predominam duas realidades: a quase ausência de manutenção nos edifícios, ou a realização de práticas inadequadas de manutenção. A manutenção nos edifícios ainda está baseada, predominantemente, em ações de ordem corretiva e em poucas ações preventivas, insuficientes para gerar previsões que auxiliem na tomada de decisão, e que se antecipem aos eventos que acometem inevitavelmente às edificações ao longo do tempo. Abreu (2012) afirma que as consequências da ausência de manutenção são nefastas para os edifícios, tendo no Brasil exemplos contundentes, que, muitas vezes, redundam em ocorrências fatais ocasionadas pela negligência com a manutenção predial.

Lessa e Souza (2010) apontam que a falta de manutenção predial gera transtornos, prejuízos e problemas graves que poderiam ser evitados ou minimizados através de um programa eficiente de gerenciamento da manutenção. O programa de gerenciamento da manutenção deve ser elaborado de forma planejada para evitar desgastes, deterioração de equipamentos e acidentes. Lessa e Souza (2010) relatam também que, para a realização da manutenção em edificações, existe a necessidade de conhecimentos técnicos e administrativos que devem ser aplicados para conservar as características de segurança, desempenho, confiabilidade e conforto de um imóvel.

Assim, a função manutenção (quer seja em um sistema complexo, como uma edificação de uma planta industrial, ou uma infraestrutura de cunho tecnológico, ou misto) requer a realização de ações de caráter técnico-executivo, operacional e de gerenciamento, com a finalidade de assegurar que a realização da vida útil deste sistema seja coerente com as expectativas previstas em sua concepção (FERREIRA, 2017).

Neste contexto, ao se referirem ao gerenciamento das instalações públicas, considerando-se a qualidade associada aos resultados obtidos através dos processos realizados, Lima e Jorge (1999) apontam que não existe uma cultura estabelecida entre a maioria dos profissionais do serviço público. Esses profissionais prestam os seus serviços de uma forma restrita, desassociada das demais atividades da instituição, não observando a organização dos processos entre setores. Portanto, alguns profissionais do serviço público prestam os seus serviços priorizando a solução dos problemas, não se conectando às atividades dos outros setores da instituição.

Uma manutenção inadequada causa diversos problemas, não somente técnicos, como também econômicos, visto que ela contribui para uma depreciação do patrimônio, além de resultar em retrabalho e no aumento de custos, elementos que poderiam ser evitados (LIMA, 2007). Por este motivo, os especialistas, pesquisadores e gerentes operacionais estão, de uma forma estratégica, a desenvolver uma série de ferramentas para auxiliar o funcionamento regular da manutenção predial, e atender satisfatoriamente aos seus propósitos (KARDEC; NASCIF, 2006). A aplicação de uma estratégia adequada pode minimizar os problemas técnicos causados

pela depreciação das instalações, e otimizar a aplicação dos recursos necessários para a execução da manutenção.

Uma dessas estratégias é a execução da manutenção preventiva. A manutenção preventiva visa a maximização da eficiência no gerenciamento da manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2006), pode-se definir a manutenção preventiva como a atuação realizada para reduzir ou evitar a ocorrência de falha, ou a queda de desempenho de um sistema, sendo necessária a elaboração prévia de um plano de ação. Esse plano de ação está baseado na periodicidade onde os serviços devem ser executados.

No setor público, a execução dos serviços de manutenção predial através da manutenção preventiva se apresenta ineficiente. Em Ferreira (2017), é visto que esse é um problema real, dado que os recursos destinados para a manutenção preventiva estão aquém daquilo que deveria ser investido, pois, não se constata que os riscos e problemas tenham sido reduzidos com a aplicação de recursos em planos ou programas de manutenção.

Para Carlino (2012), a existência de um plano ou programa de manutenção em órgãos públicos tem como base a garantia da qualidade na prestação dos serviços, o atendimento eficaz e eficiente, preservando-se o patrimônio público e, conseqüentemente, diminuindo-se os gastos desnecessários. Esse processo deve prever uma retroalimentação de informações visando à melhoria contínua do sistema. É importante conhecer as boas práticas existentes, bem como as ferramentas de gerenciamento que estão sendo utilizadas, e com isso propor soluções e alternativas que possam contribuir para que as organizações possam avaliar as suas práticas atuais, buscando, por meio do novo conhecimento e da autoanálise, uma melhoria no desempenho (FERREIRA, 2017).

## 2.1 UNIVERSIDADES PÚBLICAS FEDERAIS DO BRASIL

Uma Universidade Federal é uma pessoa jurídica de direito público, dotada de capacidade de auto-normaçoão e de autogestão, submetida aos princípios e destinada às finalidades constantes em lei<sup>a</sup>.

Conforme Ferreira (2017), as universidades públicas federais são entidades da administração indireta. Elas são constituídas sob a forma de autarquias ou fundações públicas, criadas através de uma lei com a finalidade de executar uma atribuição específica. Elas podem ser vinculadas à Presidência da República ou aos ministérios. O seu patrimônio e receita são próprios, mas sujeitos à fiscalização do estado. Seus atos, além de sofrerem a fiscalização do Tribunal de Contas da União (TCU), estão sujeitos ao controle interno exercido pelo Ministério da Educação (MEC). Embora as universidades públicas federais não se encontrem subordinadas ao MEC, existe uma determinada relação jurídica que as vincula a esse ministério, ensejando o controle interno de

<sup>a</sup> Disponível em: <[http://http://www.andifes.org.br/wp-content/files\\_flutter/Biblioteca\\_009\\_LOU-IFES.pdf](http://http://www.andifes.org.br/wp-content/files_flutter/Biblioteca_009_LOU-IFES.pdf)>. Acesso em: 23/11/2020.

alguns de seus atos. Essas organizações têm como funcionários os servidores públicos.

De acordo com Oliveira e Magalhães (2020), no que diz respeito à estrutura física, as IFES são compostas por edificações que atendem aos mais variados objetivos. Esses edifícios são instrumentos físicos utilizados na produção do conhecimento e na formação de pessoas, ou seja, eles são usados para a formação de futuros líderes, chefes de indústrias, empresários e empresárias, cientistas, engenheiros e engenheiras, gerentes, etc. Devem ser ambientes que apoiam e estimulam a aprendizagem, o ensino, a inovação, a pesquisa e a investigação. São espaços capazes de influenciar na geração de ideias, na formação crítica do ser humano e, em função disso, precisam funcionar com o máximo de desempenho ao longo da sua vida útil (FERREIRA, 2017).

Segundo o Censo da Educação Superior de 2019<sup>b</sup>, no ano de 2019, o Brasil possuía 110 Instituições de Ensino Superior (IES) já implantadas, dentre as quais 63 são Universidades Públicas Federais. A Região Sudeste é a que possui a maior quantidade de Universidades Federais, com 19 unidades (Figura 1). Em seguida, vem a Região Nordeste (com 17 unidades), a Região Sul e a Região Norte (com 11 unidades cada uma) e, por fim, a Região Centro-Oeste (com 5 unidades).

Cada uma dessas IFES, embora apresente a mesma natureza jurídica e obedeça às mesmas legislações para o funcionamento, possui características que a faz se diferenciar das outras, seja pelo porte (grande, médio, pequeno), idade, quantidade de edificações, quantidade e característica dos cursos (graduação e/ou pós-graduação), distribuição intercampi (um ou mais campi), localização (cidade do interior ou capital), etc.

## 2.2 MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFES

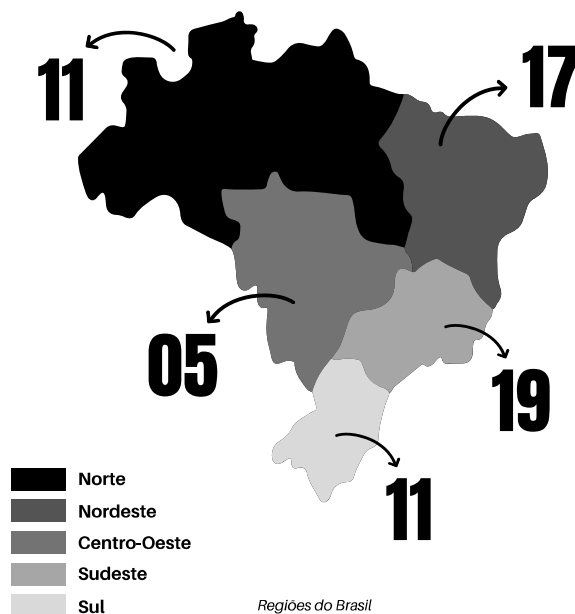
Em 2007, através do Decreto nº 6.096/07, foi instituído o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), cujo objetivo era criar condições para a ampliação do acesso e permanência na educação superior, no nível de graduação, com um melhor aproveitamento da estrutura física e de recursos humanos existentes nas universidades federais. Para tanto, era necessário um aumento dos recursos destinados às IFESs, respeitando limites estabelecidos no Art. 3º do supracitado decreto.

Conforme o relatório MEC/SESu/DIFES (2008), das 54 IFESs existentes no final de 2007, 53 aderiram ao REUNI, com exceção da Universidade Federal do ABC (UFABC) que não aderiu, pois, foi criada em 2005, já com as inovações preconizadas pelo programa.

O programa REUNI proporcionou o aumento na quantidade de IFES, que passou de 54 em 2008 a 63 IFES em 2014. Essa expansão também proporcionou o aumento do número total de campi das IFESs, assim como a ampliação e readequação de infraestruturas delas, e pequeno

<sup>b</sup> Disponível em: <[https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_da\\_educacao\\_superior\\_2019.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2019.pdf)>. Acesso em: 30/09/2021.

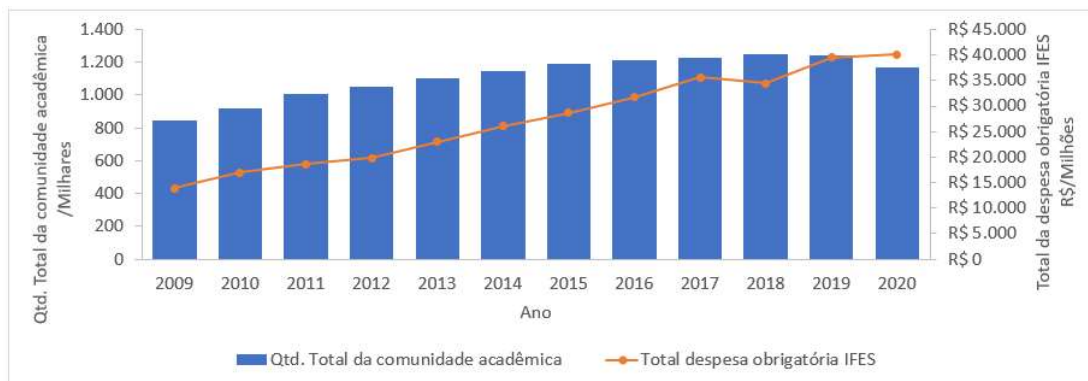
Figura 1 – Distribuição das Universidades Federais no Brasil.



Fonte: Autor.

aumento da quantidade de estudantes e servidores nessas instituições de ensino superior. Tal expansão também implica no aumento do total das despesas obrigatórias dessas instituições a cada ano (Figura 2).

Figura 2 – Total da comunidade acadêmica (docentes, discentes e terceirizados) e total das despesas obrigatórias das IFES.



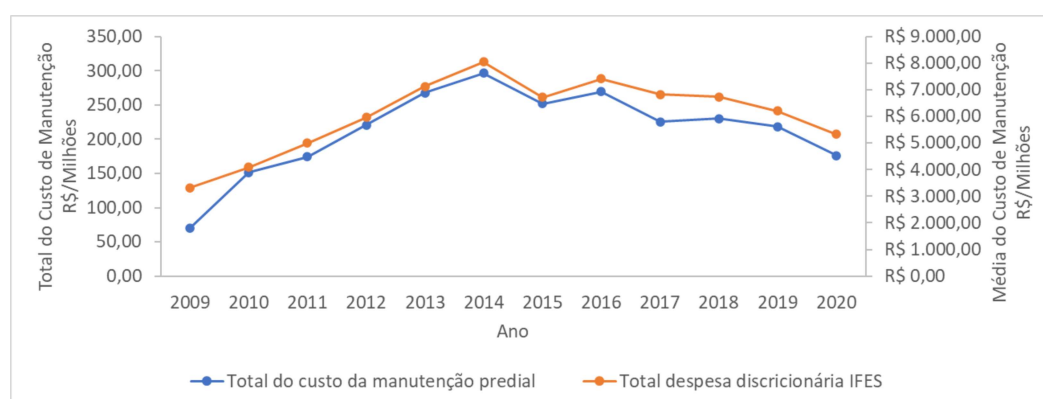
Fonte: Autor.

Filho (2017) estuda a crise econômica no Brasil que começou a partir do segundo semestre

de 2014. Nesse estudo, são contextualizados alguns aspectos da crise que levaram a cortes orçamentários em diversos setores (AMATO; MODZELESKI, 2017). Embora a Emenda Constitucional nº 95/16, que versa sobre um novo regime fiscal, estabeleça que os maiores cortes sejam em verbas discricionárias<sup>c</sup>, indiretamente, os cortes também afetam verbas obrigatórias, tais como a limitação de realização de concursos públicos. Observa-se uma queda no crescimento do custo total das despesas obrigatórias das IFESs em 2018, retomando a tendência de crescimento nos anos posteriores (Figura 2). Essa tendência pode ser explicada pela manutenção das políticas de pagamentos de despesas obrigatórias, por exemplo, salários dos servidores.

Para analisar como esses cortes orçamentários afetam diretamente o custo de manutenção das IFESs, deve-se observar as verbas discricionárias, pois elas são direta e imediatamente afetadas por esses cortes. São desses recursos orçamentários que se devem empenhar os custos com contratos de terceirizados, aqueles responsáveis pela execução da limpeza, manutenção, segurança, etc (Figura 3). Observa-se que as despesas discricionárias, e conseqüentemente os custos de manutenção predial, são diretamente afetadas a partir de 2014, início da crise econômica.

Figura 3 – Total anual do custo de manutenção predial versus o total anual das despesas discricionárias.



Fonte: Autor.

Para avaliar o custo de manutenção predial das instituições, é imperativo avaliar esta conjuntura. Pois, havendo um gradativo aumento de pessoas circulantes (terceirizados, docentes, discentes, visitantes), aumento na quantidade de campi, aumento na quantidade de cursos, e aumento na quantidade de IFES, deve-se avaliar o custo requerido para manter a infraestrutura, conforme estabelecida pelas legislações vigentes. As edificações possuem um valor social fundamental (NBR 5674, 2012), visto que são construídas para o atendimento aos seus usuários por muitos anos. É um requisito que as edificações públicas apresentem, em qualquer tempo, as

<sup>c</sup> Também chamadas verbas de custeio e investimento, são os recursos que o governo pode ou não executar, conforme a previsão de receitas. É sobre as despesas discricionárias que recaem os cortes realizados no orçamento quando cai a previsão de receitas arrecadadas para o ano.

condições adequadas para o seu uso e destinação. Portanto, é fundamental que se considere a manutenção das edificações, tão logo elas sejam postas em uso. A NBR 5674 (2012) enfatiza ser inviável, do ponto de vista econômico, e inaceitável, do ponto de vista ambiental, considerar-se as edificações públicas como sendo produtos descartáveis.

A vida útil e os níveis de desempenho dos sistemas que compõem uma edificação são fatores que justificam o investimento e a aplicação de recursos públicos para a manutenção predial. A durabilidade das edificações está ligada diretamente à rotina de manutenção e aos seus custos, condições impostas pela forma de sua utilização pelo usuário. Os gestores da manutenção predial devem conscientizar aos administradores acerca da necessidade de se adotar uma manutenção planejada, organizada, especializada e com funcionalidade. Os recursos a serem programados pelos administradores devem ser preferencialmente destinados à manutenção preventiva, assim como para a manutenção corretiva, de modo a preservar o patrimônio público institucional (ARAÚJO, 2015).

Constata-se uma tendência de variação decrescente do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil de um ano em relação ao ano anterior (Figura 4). Essa tendência explica a expectativa de continuação de queda do PIB relativo e consequente permanência da crise econômica. Essa crise acarreta perda de capacidade financeira do governo e redução de diversos investimentos da economia brasileira (FILHO, 2017).

Deve-se observar que a continuidade da crise econômica e a vigência da Emenda Constitucional nº 95/16 limita a destinação de verbas discricionárias para as instituições públicas. Com esse teto de orçamento, necessita-se de otimização dos recursos que garantem a prestação dos serviços continuamente, mesmo que seja em uma situação de escassez.

Figura 4 – Variação percentual média do PIB em relação ao ano anterior.



Fonte: IBGE. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?serid=38414>, acesso em: 31/08/2021.

## 2.3 UNIVERSIDADES FEDERAIS E LEGISLAÇÃO VIGENTE

A política de manutenção aplicada na execução da manutenção predial deve ser um elemento conscientizador, que estimule o abandono das práticas do improviso e a falta de planejamento, evitando a ausência do rigor técnico e a informalidade no tratamento da manutenção predial. Os detentores do patrimônio devem promover a elaboração de um plano de manutenção predial que atenda aos princípios de uma gerenciamento com foco na manutenção preventiva, baseada na aplicação da inspeção predial, da análise de desempenho, eficiência ambiental, avaliação da durabilidade dos materiais empregados e dos sistemas construtivos (ARAUJO, 2015).

Para tanto, é importante a compreensão dos tópicos que versam sobre o funcionamento das IFESs, tais como: licitação; execução dos contratos; execução orçamentária e a composição das naturezas de despesas. A compreensão desses tópicos torna possível abordar o tema custo de manutenção predial pela ótica da legislação que rege uma IFES.

### 2.3.1 Licitação e execução de contrato

As atividades realizadas pelos órgãos públicos que não são diretamente executadas pelos servidores que compõem o seu quadro funcional, ou as atividades que não se caracterizam como fins desse órgão, podem ser executadas através da terceirização ou contratação de uma empresa terceirizada. Para isso, deve-se cumprir um conjunto de regras e procedimentos de modo a garantir a lisura no processo de contratação. Esses conjuntos de regras e procedimentos compõem um processo de licitação.

Portanto, a licitação é que o conjunto de procedimentos administrativos estabelecidos para a realização das compras, ou da contratação de serviços, por órgãos governamentais dos governos federal, estadual ou municipal. De forma simples, pode-se dizer que o governo deve comprar e contratar serviços seguindo regras da lei. Assim, a licitação é um processo formal onde existe uma competição entre os interessados em prestar o serviço ou fornecer o produto<sup>d</sup>.

A Lei 8.666/93 (1993) institui normas para as licitações e contratos da administração pública. O seu Art. 2º estabelece que obras ou serviços diversos da administração pública, quando contratados com terceiros, serão necessariamente precedidos de licitação. Dentre os serviços contratados, podemos incluir o serviço de manutenção predial.

A manutenção é definida na NBR 5674 (2012) como sendo o conjunto de atividades que devem ser realizadas ao longo da vida útil da edificação. A manutenção deve ser realizada com o propósito de conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação, e de seus sistemas constituintes, visando atender as necessidades e a segurança dos seus usuários. Pujadas, Gomide e Neto (2006) corroboram com esse conceito quando definem a manutenção como sendo o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da

<sup>d</sup> Disponível em: <<https://portal.conlicitacao.com.br/o-que-e-licitacao/>> Acesso em: 23/11/2020.



edificação e de suas partes constituintes, de modo a atender as necessidades e segurança dos seus usuários.

De acordo com Oliveira e Magalhães (2019), o correto acompanhamento e execução das atividades de manutenção são obtidos com a aplicação das definições e procedimentos previstos em normas, tais como a contratação de empresa capacitada, a definição dos procedimentos de gerenciamento dos serviços de manutenção, a adequada previsão orçamentária, dentre outros.

### **2.3.2 Execução orçamentária nas IFES**

Toda Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), embora todas elas apresentem a mesma natureza jurídica e obedeçam às mesmas legislações para o seu funcionamento, apresenta características que as fazem diferentes uma das outras, seja pelo porte (grande, médio, pequeno), idade, quantidade de edificações, quantidade e característica dos cursos (graduação e/ou pós-graduação), distribuição intercampi (um ou mais campi), localização (cidade do interior ou capital), etc.

Devido à natureza pública, as IFESs classificam as suas despesas quanto à sua finalidade, sendo elas obrigatórias ou discricionárias. As despesas obrigatórias (Figura 2) são aquelas que o governo não pode deixar de executar, seja por determinação constitucional ou legal. Já as despesas discricionárias (Figura 3) são despesas nas quais o governo tem uma maior margem de manobra para seu remanejamento. Essa última é baseada na discricionariedade que o governo opta por uma ou outra hipótese de despesa (como, por exemplo, a despesa com a manutenção predial), ao contrário das despesas obrigatórias (NOBLAT; BARCELOS; SOUZA, 2014).

Para Amaral (2003), o grande desafio no financiamento da educação superior pública federal seria responder à questão: “Quais seriam os recursos suficientes para manutenção e desenvolvimento das instituições mantidas pela União?”

Segundo Amaral (2003), o artigo 55 da Lei nº 9.394/96 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) afirma a obrigatoriedade da União em “assegurar, anualmente, em seu orçamento geral, recursos suficientes para manutenção e desenvolvimento das instituições de educação superior por ela mantidas”. Encontrar o mecanismo que responderia satisfatoriamente a esse questionamento é uma das mais complexas tarefas a ser enfrentada na implantação da autonomia prevista no artigo 207 da Constituição Federal (FERREIRA, 2017).

Lima (2007) mostra que a falta de manutenção gera prejuízos em ativos imobiliários que levam à desvalorização precoce do bem em virtude da depreciação do seu valor patrimonial, devido aos impactos da perda de valor decorrente da depreciação. Em linhas gerais, mesmo que não seja o objetivo de uma IFES manter uma edificação devido ao seu valor patrimonial financeiro, é interessante que ela o mantenha para que sempre o tenha disponível, maximizando o conforto dos usuários.

### 2.3.3 Composição das naturezas de despesas

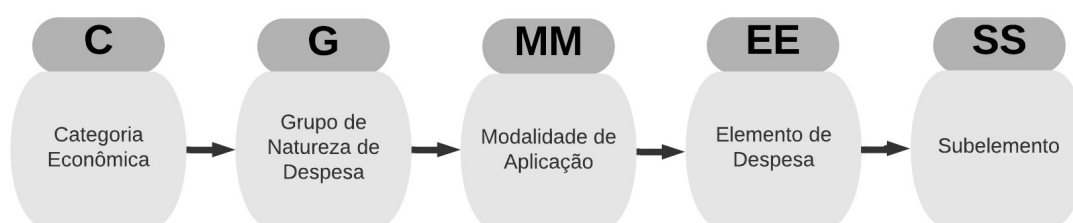
A presente pesquisa objetiva prever o custo de manutenção predial nas IFESs. No entanto, avaliar e comparar os serviços de manutenção realizados nas IFESs requer um conhecimento prévio da dotação e execução orçamentária destinada à esses serviços, além de outros aspectos técnicos e de recursos humanos, tais como: a forma de contratação e fiscalização de serviços terceirizados de manutenção, os resultados da análise de dados e indicadores de desempenho, a capacitação de pessoal, dentre outros.

Segundo Ferreira (2017) o planejamento, gerenciamento e execução dos serviços de manutenção em edificações públicas, geralmente, não são executados adequadamente em acordo com a literatura e a legislação vigente. Dessa forma, para atender ao objetivo geral da pesquisa, buscou-se analisar como é construída a dotação orçamentária para a despesa dos serviços de manutenção.

Em órgãos públicos, as despesas são classificadas e agrupadas em conformidade com as classes dos elementos de despesa. Essa classificação gera um conjunto de informações que compõem a natureza de despesa. A determinação da natureza de despesa é um atributo técnico proveniente da área contábil, e atende à necessidade de rastreabilidade do recurso (OLIVEIRA; MAGALHÃES, 2020). A ferramenta que auxilia na determinação da natureza de despesa é o Manual Técnico de Orçamento (2021). Esse manual estabelece que a natureza de despesa orçamentária é constituída por um conjunto de informações, expressas através de um código estruturado que agrega a categoria econômica, o grupo, a modalidade de aplicação, o elemento de despesa e subelemento.

A estrutura da codificação da natureza de despesa (Figura 5) é detalhada no Manual Técnico de Orçamento (2021), sendo efetuada por um conjunto numérico de 8 dígitos, onde cada posição ordinal detém um significado.

Figura 5 – Codificação da natureza de despesa.



Fonte: Manual Técnico de Orçamento (2021).

De acordo ao Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público (2018), a codificação da natureza de despesa é conduzida da seguinte forma:

1. Categoria econômica

Corresponde a um dígito do código. A categoria econômica é dividida em despesas correntes (dígito 3) e despesas de capital (dígito 4). As despesas correntes são todas as despesas que não contribuem diretamente para a formação ou aquisição de um bem de capital. As despesas de capital são as que contribuem diretamente para formação ou aquisição de um bem de capital.

## 2. Grupo de natureza de despesa

Corresponde a um dígito no código. É um agregador de elementos de despesa orçamentária com as mesmas características quanto ao objeto de gasto. É discriminado em: pessoal e encargos sociais (dígito 1); juros e encargos da dívida (dígito 2); outras despesas correntes (dígito 3); investimentos (dígito 4); inversões financeiras (dígito 5) e amortização da dívida (dígito 6).

## 3. Modalidade de aplicação

Corresponde à dois dígitos no código. Tem por finalidade indicar se os recursos são aplicados diretamente por órgãos ou entidades no âmbito da mesma esfera de governo, ou por outro ente da Federação e suas respectivas entidades.

## 4. Elemento de despesa orçamentária

Corresponde à dois dígitos no código. Identifica os objetos de gasto, tais como vencimentos e vantagens fixas, juros, diárias, material de consumo, serviços de terceiros prestados sob qualquer forma, subvenções sociais, obras e instalações, equipamentos e material permanente, auxílios, amortização e outros que a administração pública utiliza para a consecução de seus fins.

## 5. Subelemento

Corresponde a dois dígitos no código. O subelemento é facultado por parte de cada ente conforme as necessidades de escrituração contábil e controle da execução orçamentária.

Em concordância com a natureza de despesa orçamentária dos **elementos de despesa**<sup>e</sup> utilizados em Oliveira e Magalhães (2020), na composição do custo da manutenção devem ser considerados os seguintes subitens em despesas de manutenção:

- 3 3 90 30 24 – Material para manutenção de bens imóveis/instalações.

Registra o valor das despesas com materiais de consumo para aplicação, manutenção e reposição de qualquer bem público. Exemplo: Aquisição de cimento por parte do órgão para ser utilizado na manutenção do seu prédio (bem de capital já existente).

<sup>e</sup> Manual Sadipem - Classificações orçamentárias - Disponível em: <[https://conteudo.tesouro.gov.br/manuais/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1567:020332-classificacoes-orcamentarias&catid=749&Itemid=376](https://conteudo.tesouro.gov.br/manuais/index.php?option=com_content&view=article&id=1567:020332-classificacoes-orcamentarias&catid=749&Itemid=376)> Acesso em: 23/11/2020.

- 3 3 90 36 22 – Manutenção e conservação de bens imóveis (contratação de pessoa física).  
Registra o valor das despesas com serviços de reparos, consertos, revisões e adaptações de bens imóveis. Diferencia-se da conta 3 3 90 39 16, por tratar-se de contratação de pessoa física para prestação de serviço.
- 3 3 90 39 16 – Manutenção e conservação de bens imóveis (contratação de pessoa jurídica).  
Registra o valor das despesas com serviços de reparos, consertos, revisões e adaptações de bens imóveis.
- 4 4 90 39 16 – Manutenção e conservação de bens imóveis (contratação com despesa de capital).  
Registra o valor das apropriações das despesas com manutenção e conservação de bens imóveis, desde que sejam incorporáveis ao valor do bem.
- 3 3 90 37 04 – Manutenção e conservação de bens imóveis (contratação de mão de obra).  
Esse código também registra a despesa com manutenção e conservação de bens imóveis. Essa natureza de despesa pode ser classificada como aquela cuja função é registrar o valor com serviços de contratação mão de obra, na forma de locação de posto de trabalho.

Para cada Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) e a cada ano (2009-2020), o custo com a manutenção predial deve ser o resultado da soma de todos os valores coletados para os subitens dos elementos de despesa (Figura 3).

Ressalta-se que não é possível estabelecer estas naturezas de despesas como as únicas utilizadas para serviços de manutenção. Alguns órgãos podem classificar algumas despesas para contratação de mão de obra, contratação de serviços e aquisição de materiais e/ou insumos, como despesas de outras naturezas diferentes das aqui consideradas.

### 2.3.4 Classificações da receita orçamentária

A receita orçamentária é obrigatoriamente classificada para todos os entes da Federação, sendo facultado seu desdobramento a fim de atender a cada peculiaridade (MANUAL DE CONTABILIDADE APLICADA AO SETOR PÚBLICO, 2018).

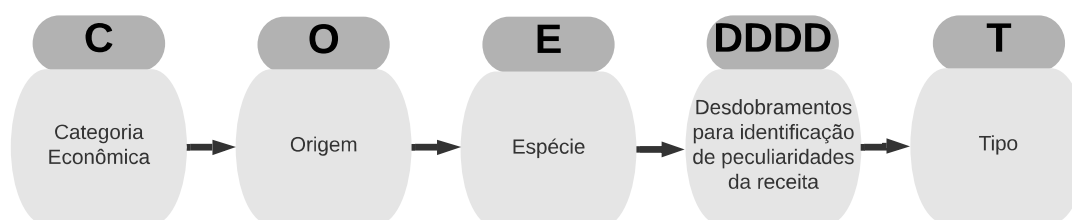
A classificação da receita orçamentária são a) Natureza de receita; b) Fonte/destinação de recursos; c) Esfera orçamentária e d) Indicador de resultado primário (MANUAL TÉCNICO DE ORÇAMENTO, 2021):

- a) Natureza de receita;

Assim como a classificação da natureza de despesa (subseção 2.3.3), os itens de discriminação da receita são identificados por números de código decimal. Tal código é denominado

natureza de receita. A natureza de receita é conceituada como a menor célula de informação no contexto orçamentário para as receitas públicas. Nesta célula de informação está contida todas as informações necessárias para as devidas alocações orçamentárias (MANUAL DE CONTABILIDADE APLICADA AO SETOR PÚBLICO, 2018). A natureza de receita é composta por um código numérico de 8 dígitos (Figura 6).

Figura 6 – Codificação da natureza de receita.



Fonte: Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público (2018).

#### b) Fonte/destinação de recursos;

É a classificação da receita segundo a destinação dos recursos arrecadados. As fontes são constituídas de agrupamentos de naturezas de receitas, atendendo a uma determinada regra de destinação legal e servem para indicar como são financiadas as despesas orçamentárias. Entende-se por fonte de recursos a origem ou a procedência dos recursos que devem ser gastos com determinada finalidade<sup>f</sup>.

Segundo o Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público (2018) e Manual Técnico de Orçamento (2021), a classificação consiste em um código de três dígitos, sendo que o primeiro indica o grupo de fonte de recursos, especificando se o recurso tem ou não origem do Tesouro Nacional e se pertence ao exercício corrente ou de exercícios anteriores. Os outros dois dígitos especificam as diferentes fontes que sejam compatíveis com o respectivo grupo de fontes. O código da classificação por fonte/destinação de recursos é representada pela Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação por fonte/destinação de recursos.

1º Dígito	2º e 3º Dígitos
Grupo da fonte de recurso	Especificação da fonte de recurso

Fonte: Manual Técnico de Orçamento (2021).

#### c) Esfera orçamentária

<sup>f</sup> Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/orcamento/glossario/fonte-de-recursos>> Acesso em: 03/11/2021

Segundo o Manual Técnico de Orçamento (2021), essa classificação tem por finalidade identificar se a receita pertence ao orçamento fiscal, da seguridade social ou de investimentos das empresas estatais

d) Indicador de resultado primário.

Essa classificação indica que as receitas podem ser divididas em *Primárias e Financeiras* (MANUAL DE CONTABILIDADE APLICADA AO SETOR PÚBLICO, 2018; MANUAL TÉCNICO DE ORÇAMENTO, 2021).

Segundo o Manual Técnico de Orçamento (2021), as receitas primárias se referem às receitas correntes que advêm de tributos, das contribuições sociais, concessões, além de outras fontes, tendo origem o Governo Federal. Já as receitas financeiras são aquelas que não alteram o endividamento líquido do Governo Federal, isto é, são decorrentes da emissão de títulos, da contratação de operações de crédito por organismos oficiais, das receitas de aplicações financeiras da União (juros recebidos, por exemplo), das privatizações e outras.

Na metodologia proposta, considera-se a classificação da receita quanto ao indicador de resultado primário. Sendo assim, é descartada a classificação de receita financeira e somente considerada a receita de origem primária.

As receitas de origem primária consideradas são as obrigatórias e as discricionárias, conforme a seguir:

- Receita Primária Obrigatória Total (*TP*) - Receita total do órgão público considerando os recursos transferidos por determinação constitucional ou legal. Considera-se como *TP* a soma das receitas obrigatórias primárias e primárias sem impacto fiscal.
- Receita Total Discricionária (*TD*) - Recursos transferidos sem obrigação legal ou constitucional. Considera-se como *TD* a composição de discricionária primária, receitas discricionárias decorrentes de emenda individual e de emenda de bancada.

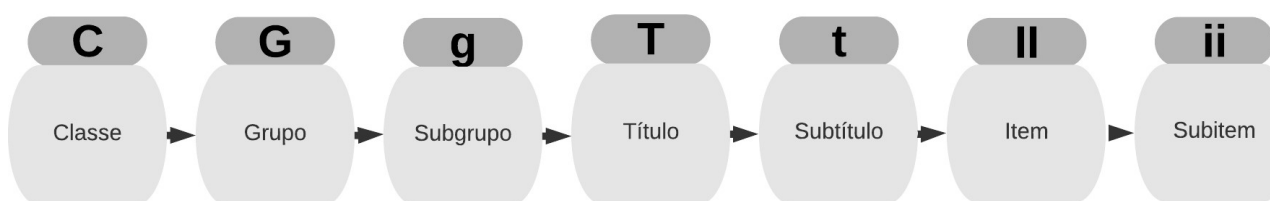
### 2.3.5 Composição da conta contábil

O Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público conceitua a conta contábil como a expressão qualitativa e quantitativa de fatos de mesma natureza. Ela evidencia a composição, variação e estado do patrimônio, bem como de bens, direitos, obrigações e situações nele não compreendido, mas que podem ser afetados direta ou indiretamente.

Assim como as naturezas de despesas e naturezas de receitas, a conta contábil também é identificada por uma codificação. A estrutura do código é composta com 7 níveis de desdobramento e possui 9 dígitos (Figura 7).

São consideradas as contas contábeis Custo da Área Construída (*CAC*) e Custo das Obras em Andamento (*OA*), sendo:

Figura 7 – Codificação da conta contábil.



Fonte: Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público (2018).

- Custo da Área Construída (*CAC*) - Essa informação é o resultado da composição de 3 contas contábeis sendo elas "Imóveis de uso Educacional- 1 2 3 2 1 02 07, "Instalações - 1 2 3 2 1 07 00" e "Edifícios - 1 2 3 2 1 01 02";
- Custo das Obras em Andamento (*OA*)- Informação correspondente à conta contábil "obras em andamento - 1 2 3 2 1 06 01"

#### 2.4 DADOS PARA A PREVISÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO PREDIAL

Devido à complexidade na análise dos parâmetros indicadores da qualidade da manutenção (quantidade de mão de obra contratada, quantidade de manutenção corretiva ou preventiva, quantidade de área construída, etc.) ou dos tipos de contratação de serviços de manutenção, propõe-se que os serviços de manutenção sejam analisados através dos dados financeiros.

A vida útil e os níveis de desempenho dos sistemas que compõem uma edificação são fatores que justificam o investimento para a realização da manutenção predial. A vida útil das edificações é diretamente proporcional à execução das rotinas de manutenção e dos recursos necessários para garantir a sua adequada utilização pelo usuário.

Espera-se que os gestores de manutenção predial se conscientizem da necessidade da execução de uma manutenção planejada, organizada de uma forma funcional e especializada. Os recursos a serem programados pelos gestores devem ser preferencialmente destinados à manutenção preventiva, e esporadicamente à corretiva, de modo a preservar o patrimônio público institucional (ARAÚJO, 2015).

Para estimar o custo da manutenção predial, é necessário o levantamento de dados inerentes ao funcionamento de uma IFES (Quadro 2). Esses dados devem ser extraídos das informações financeiras publicadas no Sistema Integrado de Administração Financeira (SIAFI)<sup>g</sup> com o auxílio do Tesouro Gerencial<sup>h</sup>. Os dados extraídos devem ser estratificados conforme os códigos das

<sup>g</sup> Sistema do governo federal, que consiste no principal instrumento utilizado para registro, acompanhamento e controle da execução orçamentária, financeira e patrimonial do Governo Federal.

<sup>h</sup> Sistema de consulta à Execução Orçamentária, Financeira, Patrimonial do Governo Federal no âmbito do

naturezas de despesas (Figura 5), naturezas de receitas (Figura 6) e contas contábeis (Figura 7) ou provenientes de informativos que correspondam às IFESs.

Com o conjunto de dados de cada IFES (por ano), tem-se estabelecido um banco de dados de todas as IFESs. Além das informações do custo de manutenção (subseção 2.3.3); das naturezas de receitas (subseção 2.3.4); e contas contábeis (subseção 2.3.5); também devem formar a base de dados das IFESs:

- Tempo de Funcionamento ( $TF$ ) - Diferença entre o ano de referência da informação e o ano de fundação da IFES.
- Quantidade de Cursos de Graduação ( $QCG$ ) - Quantidade de curso de graduação na IFES.
- Quantidade de Comunidade Acadêmica ( $QCA$ ) - Soma da quantidade de docentes, discentes e servidores técnicos administrativos de cada IFES.

Quadro 2 – Informações das IFES (variáveis) utilizadas para previsão do custo da manutenção predial.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Informação coletada</b>
$CMP$	Custo de manutenção predial
$TF$	Tempo de funcionamento
$CAC$	Custo da área construída
$TP$	Receita total primária obrigatória
$TD$	Receita total discricionárias
$OA$	Custo das obras em andamento
$QCG$	Quantidade de cursos de graduação
$QCA$	Quantidade da comunidade acadêmica

Fonte: Autor.

## 2.5 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO PREDIAL NAS IFESs

A manutenção predial é realizada por procedimentos de vistorias, limpezas e reparos, realizados em componentes e em edificações (ARAÚJO, 2015).

Segundo Araujo (2015), visando deixar a prática do improviso e da falta de planejamento, os gestores da manutenção predial, em edificações públicas, devem passar por um processo de conscientização, requerendo-se o rigor técnico e o desuso da informalidade no tratamento da manutenção. Deve-se iniciar um processo de elaboração de planos de manutenção que atendam ao gerenciamento da manutenção, e implique na inspeção predial, na análise de desempenho, eficiência ambiental e durabilidade dos materiais empregados.

---

Orçamento Fiscal e Seguridade Social, a qual se dá por meio do SIAFI. Foi criado visando consolidar as informações em uma base única para otimizar a extração de relatórios gerenciais.



De acordo com Saes (2011), os gestores do patrimônio, público ou privado, devem requerer o rigor da engenharia ao considerar riscos com: o aumento dos custos da manutenção; a insegurança do usuário; a interrupção das operações da edificação; e a desvalorização da edificação. Minimizar acidentes e prejuízos com a falta de planejamento na manutenção predial deve ser prioridade.

### 2.5.1 Consequências de manutenção inadequada

A construção de novos edifícios atualiza as instalações educacionais e contribui para uma melhor qualidade na educação. É necessário manter os edifícios existentes em um padrão funcional aceitável, sendo um instrumento facilitador para a transferência de conhecimentos, além das demais atividades acadêmicas (FERREIRA, 2017).

Araujo (2015) afirma que a vida útil e os níveis de desempenho dos sistemas que compõem uma edificação são fatores que justificam o investimento na aplicação de recursos públicos para a manutenção predial. Conforme Araujo (2015), o aumento do conforto e confiabilidade do usuário, aliado à correta utilização dos espaços físicos, proporciona a diminuição dos desgastes naturais e das deteriorações prematuras. A redução de custos com a racionalização na compra de diversos materiais contribui para a redução dos impactos e agressão ao meio ambiente.

É importante frisar que o serviço de manutenção predial não deve ser tratado como um serviço comum, realizado de última hora ou somente para corrigir possíveis falhas. Além disso, a boa funcionalidade da edificação é garantida com o uso adequado por parte dos usuários. Segundo Araujo (2015), a durabilidade das edificações está ligada diretamente à rotina de manutenção e seus custos, impostos pela forma de utilização dessas edificações. Os recursos a serem programados pelos administradores devem ser preferencialmente destinados para a manutenção preventiva, e, ocasionalmente, para a manutenção corretiva, sempre visando preservar o patrimônio público institucional (ARAÚJO, 2015).

Consoante Pujadas, Gomide e Neto (2006), a avaliação das atividades de manutenção predial é fundamental para análise crítica e sistêmica dos resultados da manutenção predial empregada.

Para a avaliação da manutenção predial, alguns passos podem ser considerados (PUJADAS; GOMIDE; NETO, 2006):

1. Identificação do tipo de estratégia da manutenção;
2. Comparação do plano com o uso da edificação e as expectativas dos usuários;
3. Execução da inspeção predial para constatação de eventuais problemas (verificação de anomalias e falhas);

4. Elaboração de orientações técnicas de acordo às não conformidades constatadas na avaliação física;
5. Classificação de anomalias constatadas quanto à criticidade, consideradas as possíveis causas, as origens e os mecanismos de ação existentes;
6. Análise de documentação referente à edificação para complementação de dados fornecidos pela inspeção e identificação de falhas em contratos de manutenção com empresas terceirizadas;
7. Avaliação da equipe de manutenção considerando a formação, dimensionamento e capacidade de cumprir determinadas ações;
8. Avaliação dos custos de manutenção;
9. Avaliação da qualidade da manutenção, destacando o item 15 da NBR 5674 (2012).

Ao avaliar as atividades de manutenção, Carlino (2012) aponta ser possível qualificar como a manutenção está sendo realizada, possibilitando os gestores a implantar medidas que garantam a redução nos riscos a acidentes, a minimização da deterioração, a valorização do imóvel, oportunizando o aumento da confiabilidade, disponibilidade e vida útil das edificações.

Verifica-se que, apesar da orientação técnica existente, inúmeros prédios públicos sofrem com escassez de manutenção, seja por falta de recursos financeiros ou de funcionários, ou a aquisição de materiais e contratação de serviços a partir de licitações pautadas pelo menor preço, ao invés da qualidade (CARLINO, 2012).

Pujadas, Gomide e Neto (2006) apresenta que os valores gastos com manutenção devem ser encarados como investimento patrimonial, havendo necessidade de acompanhamento destes custos pelos gestores. Para Carlino (2012), os recursos destinados para manutenção estão aquém que deveria ser investido e isso vem da prática dos gestores em não tratar a manutenção de forma proativa.

Prédios com capacidade de uso reduzido por má conservação das suas instalações tendem a reduzir o seu aproveitamento por parte de seus usuários (PUJADAS; GOMIDE; NETO, 2006). Em uma IFES, isso prejudica a atividade fim da instituição, pois sua população (docentes, discentes, servidores técnicos administrativos, funcionários terceirizados, etc.) estarão mal acomodados nas edificações que apresentam estado de conservação inadequado.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O serviço de manutenção predial garante e preserva a qualidade do uso das edificações conforme foram projetadas.

No Brasil, em órgãos públicos, conseqüentemente em instituições de ensino públicas, há uma cultura dos gestores aplicarem um gerenciamento deficitário dos serviços de manutenção. Em geral, o gerenciamento da manutenção é feito executando somente serviços de manutenção corretiva (CARLINO, 2012). A realização das atividades de manutenção de forma precária, sem orientação e/ou base técnica adequada, onera significativamente os cofres públicos e a sociedade.

Em um contexto de redução de verbas discricionárias (Figura 3) para os órgãos públicos, devido à crise econômica nacional (Figura 4), é imperativa uma otimização dos recursos públicos. Partindo desse pressuposto, esse trabalho avalia as características inerentes a uma autarquia como uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) a fim de prever o custo da manutenção predial, o que permite aperfeiçoar a gerenciamento da manutenção do ponto de vista econômico.

### 3 ESTRUTURA DO MODELO EM RLM E BASE DE DADOS

A obtenção de um modelo matemático capaz de prever adequadamente o montante necessário para ser alocado como custo de manutenção predial nas IFESs brasileiras deve considerar os inúmeros fatores intervenientes. Levando-se em consideração a natureza e abrangência de uma análise multivariada, visando a obtenção desse modelo, esse projeto aplica e testa uma estrutura de modelo baseada na Regressão Linear Múltipla (RLM). Espera-se encontrar uma estrutura de modelo que auxilie a análise e compreensão da influência de ações administrativas ou acadêmicas sobre os dados financeiros das IFESs.

A RLM é uma ferramenta da estatística experimental que relaciona três ou mais variáveis, das quais, apenas a saída do modelo ( $y_P$ ) é considerada dependente das demais variáveis ( $x_j$ ). Exceto a(s) variável(eis) de saída(s) ou dependente(s) ( $y_{P_i}$ ) obtidas pela simulação de um modelo, as demais variáveis são chamadas variáveis independentes, explanatórias, covariáveis ou regressoras ( $x_j$ ) (WASSERMAN, 2004). Segundo Bonamente (2017), a RLM pode ser entendida como uma extensão da regressão linear simples ou, por outro lado, a regressão linear simples pode ser vista como um caso particular da RLM.

A metodologia aqui adotada para a construção e ajuste do modelo baseado em RLM consiste na realização de três etapas (Figura 8), sendo elas: (a) revisão da literatura para obtenção de conhecimento sobre o estado da arte e ferramentas disponíveis; (b) aplicação dos conhecimentos obtido na construção/ajuste do modelo, com o destaque para a RLM e as suas ferramentas; e (c) aplicação do modelo e testes estatísticos para verificação e análise dos resultados.

A etapa (a), **revisão de literatura**, esta detalhada no Capítulo 2. Esse capítulo destaca os conceitos, formatos e nomenclaturas adotados no fluxo financeiro das IFESs, com uma ênfase para a execução da manutenção predial nessas instituições.

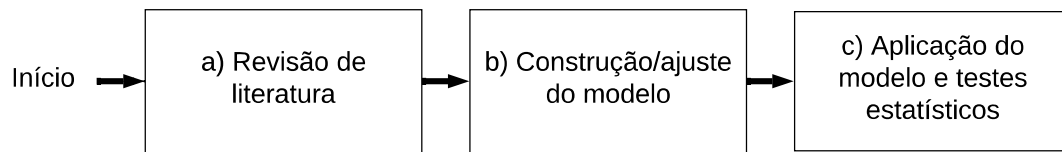
A etapa (b), **construção/ajuste do modelo**, é detalhada aqui, no Capítulo 3. Esse capítulo aborda sobre as ferramentas estatísticas utilizadas, descrevendo as principais características das variáveis independentes ( $x_j$ ) e da variável dependente ( $y_P$ ), e como elas devem ser selecionadas para a composição da estrutura de um modelo. Esse capítulo também descreve os métodos estatísticos a serem aplicados para verificar a adequação dos resultados obtidos por uma RLM.

A etapa (c), **aplicação do modelo e testes estatísticos**, tem como principal destaque a verificação dos resultados. Essa etapa é descrita no Capítulo 4. Neste capítulo são mostrados os testes realizados na estrutura proposta para o modelo. O modelo é testado e os resultados dos pressupostos estatísticos são analisados.

#### 3.1 CONSTRUÇÃO/AJUSTE DO MODELO

De acordo à Montgomery e Runger (2009), muitos problemas de engenharia e ciência envolvem a exploração das relações entre duas ou mais variáveis. A análise da RLM é uma técnica

Figura 8 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor.

estatística que é muito útil para essas categorias de problemas (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

É comum ocorrer situações relacionando duas ou mais variáveis de interesse cujo fenômeno que expressa esse relacionamento entre essas variáveis seja desconhecido. Nesses casos, pode-se construir um **modelo paramétrico** que relacione essas variáveis por meio do uso de dados observados. Essa categoria de modelo é chamado modelo empírico (OLIVEIRA, 2010).

Segundo Araujo (2016), por meio da RLM, é possível encontrar uma relação entre as variáveis independentes ( $x_j$ ) e a variável dependente ( $y_P$ ), evidenciando-se as relações empíricas contidas em informações/dados observados em medições ou coletas.

Para a seleção adequada da estrutura de um modelo, de acordo com Montgomery e Runger (2012) e Levine, Berenson e Stephan (2000), deve-se aplicar alguns critérios quantitativos, tais como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ), a média quadrática dos resíduos ( $MQ_R$ ) e a estatística de Mallows ( $C_p$ ).

A exemplo do trabalho de Floriano et al. (2006), visando ajustar e selecionar um modelo, os autores aplicaram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a estatística de Mallows ( $C_p$ ), a média quadrática dos resíduos ( $MQ_R$ ) e a análise gráfica dos resíduos ( $r_i$ ). Essas aplicações permitiram avaliar os resultados dos modelos apresentados, analisando-se se os modelos são adequados para descrever o fenômeno observado.

### 3.1.1 Pressupostos para uma RLM

Para a obtenção de um bom modelo de regressão, deve-se verificar a qualidade dos dados armazenados nas variáveis, assim como a qualidade do ajuste do modelo. Berenson, Levine e Stephan (2005), Araujo (2016) e Magalhães (2017) recomendam que, além dos testes de hipóteses (subseção 3.2.1), faz-se necessária a análise dos seguintes pressupostos estatísticos:

#### a) Linearidade

Um dos pressupostos da análise de regressão para a obtenção de bons resultados é a existência da linearidade do modelo. O modelo linear descreve corretamente a relação funcional entre as variáveis independentes ( $x_j$ ) e a variável dependente ( $y_P$ ). Se esse

pressuposto for violado, a estimativa para cada resíduo ( $r_i$ ) aumentará, na medida em que os valores observados ( $y_{O_i}$ ) se distanciam dos valores previstos ( $y_{P_i}$ ) (ARAUJO, 2016).

Para Araujo (2016), Magalhães (2017), pode-se observar a linearidade do modelo através da observação da disposição entre os valores previstos ( $y_{P_i}$ ) em relação aos valores observados ( $y_{O_i}$ ).

Para Schwaab e Pinto (2007), a linearidade entre duas variáveis mede a existência de alguma tendência de variação linear entre elas. Para esses autores, o coeficiente de correlação ( $R$ ), calculado entre a variável predita ( $y_P$ ) e a variável observada ( $y_O$ ), é considerado satisfatório se for igual ou superior à 0,9. Entretanto, esses autores afirmam que não é desejável que esse coeficiente seja alto quando é calculado entre pares das variáveis independentes ( $x_j$ ). Os coeficientes de correlação ( $R$ ) devem ser usados com cautela na interpretação de resultados, não sendo eles determinantes para estabelecer a qualidade do ajuste do modelo (SCHWAAB; PINTO, 2007).

O coeficiente de correlação ( $R$ ), entre a variável predita ( $y_P$ ) e a variável observada ( $y_O$ ), é calculado a partir da Equação 3.1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{P_i} - \bar{y}_P) \cdot (y_{O_i} - \bar{y}_O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{P_i} - \bar{y}_P)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_{O_i} - \bar{y}_O)^2}}, \quad (3.1)$$

onde  $y_{P_i}$  é  $i$ -ésima previsão da variável dependente ou de saída,  $y_{O_i}$  é  $i$ -ésima observação da variável dependente ou de saída,  $\bar{y}_P$  é o valor médio das previsões para a variável dependente ou de saída; e  $\bar{y}_O$  é o valor médio das observações para a variável dependente ou de saída,  $n$  é o número total de observações. Os valores de  $\bar{y}_P$  e  $\bar{y}_O$  são calculados pelas Equações 3.2 e 3.3.

$$\bar{y}_P = \frac{\sum_{i=1}^n y_{P_i}}{n}. \quad (3.2)$$

$$\bar{y}_O = \frac{\sum_{i=1}^n y_{O_i}}{n}. \quad (3.3)$$

#### b) Multicolinearidade entre as variáveis

A multicolinearidade corresponde a uma relação entre uma ou mais variáveis. Segundo Miloca e Conejo (2009), é preciso procurar dentre as variáveis independentes ( $x_j$ ) aquelas que tenham baixa multicolinearidade com as demais, mas que também apresentem correlações elevadas com a variável dependente ( $y_P$ ). Além disso, a multicolinearidade pode trazer efeitos negativos nas estimativas dos coeficientes ( $a_j$ ), e na aplicabilidade geral do modelo proposto (HAIR et al., 2009).

Conforme Araujo (2016) e Miloca e Conejo (2009), pode-se diagnosticar a multicolinearidade por meio dos fatores de inflação da variância (VIF - *Variance Inflation Factor*), visto

que eles medem o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado aumenta se as variáveis independentes ( $x_j$ ) estão correlacionadas.

Moreira (2008), Chatterjee e Hadi (2015) e Petrini et al. (2012) sugerem que o valor para o VIF não deve ser superior a 10, ao se considerar um conjunto de variáveis independentes ( $x_j$ ), implicando, nestes casos, que a multicolinearidade será um problema para o modelo de regressão.

De acordo à Biaggi, Medvid e Assis (2017), os *Variance Inflation Factors* (VIFs) podem ser calculados conforme a Equação 3.4.

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R^2_j}, j = 1, 2, 3, \dots, k \quad (3.4)$$

onde  $k$  é o número de variáveis independentes,  $R^2_j$  é o coeficiente de determinação múltipla (Equação 3.5), resultante da regressão de ( $x_j$ ) nas outras  $k - 1$  variáveis independentes.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é uma medida estatística que analisa e julga o ajuste de modelos matemáticos (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; ARAUJO, 2016; JOHNSON; WICHERN et al., 2002). O cálculo do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é dado por:

$$R^2 = \frac{SQ_E}{SQ_T} = 1 - \frac{SQ_R}{SQ_T}, \quad (3.5)$$

onde  $SQ_E$  é a soma quadrática da regressão (Equação 3.6),  $SQ_R$  é a soma quadrática dos resíduos ( $r_i$ ) (Equação 3.7) e  $SQ_T$  é a soma quadrática total (Equação 3.8).

$$SQ_E = \sum_{i=1}^n (y_{P_i} - \bar{y}_P)^2, \quad (3.6)$$

$$SQ_R = \sum_{i=1}^n r_i^2, \text{ com } r_i = (y_{P_i} - y_{O_i}), \quad (3.7)$$

$$SQ_T = SQ_R + SQ_E = \sum_{i=1}^n (y_{O_i} - \bar{y}_P)^2, \quad (3.8)$$

onde  $y_{P_i}$  é o  $i$ -ésimo valor estimado para a variável dependente ou de saída;  $\bar{y}_P$  é o valor médio das observações da variável dependente (Equação 3.2);  $y_{O_i}$  é  $i$ -ésima observação da variável dependente e  $n$  é o número total de observações.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a medida da fração da variabilidade nas observações estimadas para  $y_P$  (variável dependente), através da equação de regressão (MONTGOMERY; RUNGER, 2012; COUTINHO et al., 2012). Pondera-se que um valor alto para o  $R^2$  não significa que o modelo deva ser considerado bom, sem que sejam efetuadas outras avaliações estatísticas.

Segundo Wasserman (2004), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão múltipla mede estatisticamente quão próximos estão os valores previstos ( $y_{P_i}$ ) pela regressão ajustada, e os dados conhecidos para a variável dependente ( $y_{O_i}$ ). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) representa, portanto, a proporção da variância dos dados. Seus valores variam entre 0 e 1, respectivamente, a uma total ausência de ajuste, e a um ajuste perfeito. A adição de uma variável ( $x_j$ ) ao modelo sempre aumentará o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), independente se essa variável for estatisticamente significativa ou não (COUTINHO et al., 2012).

Conforme Coutinho et al. (2012), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pode ser ajustado. Para tanto, quando calculado, deve-se considerar os dados efetivamente utilizados na caracterização do modelo. Ao ser calculado dessa forma, ele passa a ser chamado de coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ) (Equação 3.9).

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{\frac{SQ_E}{n-k}}{\frac{SQ_T}{n-1}}, \quad (3.9)$$

onde  $SQ_E$  é a soma quadrática da regressão (Equação 3.6);  $n$  é o número total de observações;  $k$  é o número de variáveis independentes ( $x_j$ ) consideradas na regressão; e  $SQ_T$  é a soma quadrática total (Equação 3.8).

Segundo Martins (2014), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Equação 3.5) é o quadrado do coeficiente de correlação ( $R$ ) (Equação 3.1). Para essa autora, o coeficiente de correlação é uma medida da direção e grau com que duas variáveis se associam linearmente.

Os Quadros 3 e 4 apresentam o resumo das classes estabelecidas para os coeficientes de correlação ( $R$ ) e de determinação ( $R^2$ ), respectivamente (COUTINHO et al., 2012).

Quadro 3 – Classificação do coeficiente de correlação ( $R$ ).

Coeficiente	Correlação (R)
$R = 0$	Nula
$0 < R \leq 0,30$	Fraca
$0,30 < R \leq 0,70$	Média
$0,70 < R \leq 0,90$	Forte
$0,90 < R \leq 0,99$	Fortíssima
$R = 1$	Perfeita

Fonte: Coutinho et al. (2012).

### c) Normalidade e Homoscedasticidade dos resíduos ( $r_i$ )

A normalidade dos resíduos ( $r_i$ ) é um pressuposto essencial para que os resultados previstos pelo modelo de regressão linear sejam aplicáveis. O conjunto dos resíduos ( $r_i$ ) produzidos em todo o intervalo das observações registradas deve apresentar distribuição normal



Quadro 4 – Classificação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Coeficiente	Determinação ( $R^2$ )
$R^2 = 0$	Nula
$0 < R^2 \leq 0,09$	Fraca
$0,09 < R^2 \leq 0,49$	Média
$0,49 < R^2 \leq 0,81$	Forte
$0,81 < R^2 \leq 0,9801$	Fortíssima
$0,9801 < R^2 \leq 1$	Perfeita

Fonte: Coutinho et al. (2012).

(normalidade dos resíduos), indicando que os casos amostrados se dispõem normalmente em toda a extensão da população (VIEIRA, 2016).

O cálculo dos resíduos é dada pela Equação 3.10.

$$r_i = y_{P_i} - y_{O_i}, \text{ com } i = 1, \dots, n, \quad (3.10)$$

onde  $y_{O_i}$  é o  $i$ -ésimo valor observado para a variável dependente;  $y_{P_i}$  é o  $i$ -ésimo valor predito pelo modelo para a variável dependente e  $n$  é o número total de observações.

Conforme NBR 14653-2 (2011), Baptistella (2005), dentre outras formas, verifica-se a normalidade pela análise do gráfico de resíduos padronizados ( $z_i$ ) em relação aos valores previstos para a variável dependente ( $y_{P_i}$ ). Os resíduos padronizados ( $z_i$ ) são calculados através da Equação 3.11.

$$z_i = \frac{r_i}{\sqrt{MQ_R}}, \quad (3.11)$$

onde  $r_i$  é  $i$ -ésimo resíduo da predição (Equação 3.10) e  $MQ_R$  é a média quadrática dos resíduos (Equação 3.12).

$$MQ_R = \frac{SQ_R}{k-1}, \quad (3.12)$$

onde o  $SQ_R$  é soma quadrática de resíduos ( $r_i$ ) (Equação 3.7); e  $k$  é a quantidade de variáveis independentes ( $x_j$ ,  $j = 1, \dots, k$ ) consideradas na regressão.

Graficamente, os pontos devem se estar dispostos aleatoriamente, sem nenhum padrão definido, e com a maioria dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) situados no intervalo  $[-2\sigma; +2\sigma]$  (NBR 14653-2, 2011), sendo o desvio-padrão ( $\sigma$ ) dado pela Equação 3.13.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{O_i} - \bar{y}_O)^2}{n}}, \quad (3.13)$$

onde  $n$  é o número total de eventos ou dados,  $y_{O_i}$  é o  $i$ -ésimo valor observado para a variável dependente e  $\bar{y}_O$  é o valor médio das observações para a variável dependente (Equação 3.3).

Conforme Araujo (2016), a homoscedasticidade está relacionada a uma variância constante dos resíduos ( $r_i$ ), em torno de sua média ( $\bar{r}_i$ ) (Equação 3.14).

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}, \quad (3.14)$$

onde  $r_i$  é o conjunto de resíduos (Equação 3.10) e  $n$  é o número de observações.

O pressuposto da homoscedasticidade não é violado caso, no gráfico de resíduos ( $r_i$ ) versus valores previstos ( $y_{P_i}$ ), não exista um padrão na dispersão dos dados observados.

Portanto, os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade dos resíduos ( $r_i$ ) para um modelo de regressão com sua equação ajustada podem ser verificados por uma análise gráfica (MILOCA; CONEJO, 2009).

#### d) Ausência de autocorrelação serial dos resíduos ( $r_i$ )

O exame da autocorrelação serial dos resíduos ( $r_i$ ) deve ser precedido pelo pré-ordenamento dos elementos amostrais em relação aos valores previstos ( $y_{P_i}$ ). A verificação pode ser conduzida através da análise da disposição dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) em relação aos valores previstos ( $y_{P_i}$ ), devendo apresentar pontos dispersos aleatoriamente, sem nenhum padrão definido (NBR 14653-2, 2011).

### 3.1.2 Análise de resíduos e $C_p$ de Mallows

Segundo Guedes (2005), os modelos de RLM não apresentam resultados exatos na previsão da variável dependente ( $y_P$ ), principalmente por existir uma influência de outras variáveis ( $x_j$ ) que possam não ter sido consideradas na descrição do processo analisado, já que elas podem não estar inseridas na equação da regressão, ou simplesmente, por tais modelos terem sido simplificados, ou por ambos os motivos.

Uma medida utilizada para avaliar o erro de previsão de um modelo de RLM é o conjunto de resíduos ( $r_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ) para os  $n$  valores disponíveis na base de dados. O  $i$ -ésimo resíduo (Equação 3.10) é a diferença entre o valor previsto pelo modelo ( $y_{P_i}$ ) e o valor observado no sistema analisado ( $y_{O_i}$ ). A análise de resíduos ( $r_i$ ) fornece um conjunto de diagnósticos para o exame do modelo de regressão, permitindo avaliar a sua adequação, a validade das hipóteses de distribuição dos resíduos ( $r_i$ ), e a existência de valores discrepantes entre a saída predita ( $y_{P_i}$ ) e observada ( $y_{O_i}$ ) (GUEDES, 2005).

Em Perez (2014) são listadas algumas suposições sobre os resíduos ( $r_i$ ), que devem ser verificadas com o objetivo de confirmar se o modelo de RLM é válido. São elas:

1. apresentar média zero (Equação 3.14) e a mesma variância ( $\sigma^2$ ) (Equação 3.15) (ES-QUERRE, 2003);

2. não apresentar correlação com outro resíduo, ou seja, o valor de um resíduo não depender de qualquer outro (para o caso de haver mais de uma saída no modelo);
3. apresentar distribuição normal.

O cálculo da variância ( $\sigma^2$ ) é obtido pelo quadrado do desvio-padrão ( $\sigma$ ) (Equação 3.13) e é dada pela Equação 3.15.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{O_i} - \bar{y}_O)^2}{n}, \quad (3.15)$$

onde  $n$  é o número total de eventos ou dados,  $y_{O_i}$  é o  $i$ -ésimo valor observado para a variável dependente e  $\bar{y}_O$  é o valor médio das observações para a variável dependente ou de saída.

Para verificar essas suposições, Perez (2014) indica que se realize a análise residual das seguintes formas:

- **Gráfico de probabilidade normal:** Usado para verificar se os resíduos ( $r_i$ ) se comportam consoante a distribuição normal (subseção 3.1.1 - Item c));
- **Histograma:** Caso a amostra seja razoavelmente grande e se concluirmos que os resíduos ( $r_i$ ) provêm de uma distribuição normal, o histograma deverá também indicar esta normalidade (subseção 3.1.1 - Item c));
- **Resíduos ( $r_i$ ) ou resíduos padronizados ( $z_i$ ) versus valores previstos ( $y_{P_i}$ ):** Usado para verificar se não está faltando nenhum termo quadrático no modelo, se a variância ( $\sigma^2$ ) é constante ao longo de todos os valores previstos ( $y_{P_i}$ ) e se não existe nenhum *outlier*<sup>a</sup>. Se observarmos a existência de qualquer padrão não aleatório neste gráfico, é sinal que algumas das suposições foram violadas (subseção 3.1.1 - Item c) e Item d));

Um modelo de regressão com muitas variáveis independentes ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ) pode acarretar elevados custos computacionais para o ajuste desse modelo, dificultando o seu uso e a análise de seus resultados. Há, portanto, que se considerar que o número de variáveis independentes ( $k$ ) utilizadas na construção de um modelo deva possibilitar a descrição, o controle e a predição adequada (TEIXEIRA et al., 2013).

Para Pimenta et al. (2008), em muitos campos, modelos teóricos são raros. Dessa forma, os pesquisadores são estimulados a investigar as possíveis relações entre as variáveis independentes ( $x_j$ ) e uma variável dependente ( $y_P$ ). É possível que a inclusão de uma variável independente qualquer ( $x_j, \forall j \in \mathbf{Z}$  com  $j \neq 1, \dots, k$ ) venha a dificultar o ajuste de um modelo. Isso ocorre quando essa variável ( $x_j$ ) está sujeita a grandes erros de medição, ou então ela seja linearmente

<sup>a</sup> Dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros, são pontos fora da curva normal. Em outras palavras, um *outlier* é um valor que foge da normalidade e pode (e provavelmente irá) causar anomalias nos resultados obtidos por algoritmos e sistemas de análise.

dependente de uma outra variável já incluída como uma das entradas. Nesses casos, essa variável ( $x_j$ ) pode ser descartada do processo de criação e ajuste do modelo.

Em uma RLM, é natural que o processo aplicado no ajuste do modelo implique em encontrar, em um conjunto de variáveis independentes ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ), um subconjunto que melhor explique o sistema estudado através do modelo. Levine, Berenson e Stephan (2000) consideram que deve haver o princípio da parcimônia, ou seja, deve-se selecionar o modelo mais simples que possa cumprir a sua função adequadamente.

É possível selecionar o modelo mais simples através da aplicação de ferramentas estatísticas, tais como o  $C_p$  de Mallows (Equação 3.16). O  $C_p$  de Mallows é uma ferramenta que pode ser usada para ajudar a escolher os melhores subconjuntos de variáveis independentes ( $x_j \mid j \in [1, \dots, k]$ ) durante a construção de modelos de regressão (TEIXEIRA et al., 2013).

O  $C_p$  é calculado pela equação:

$$C_p = \frac{(1 - R_k^2) \cdot (n - T)}{1 - R_T^2} - (n - 2(k + 1)), \quad (3.16)$$

onde  $R_k^2$  é o coeficiente de determinação múltipla para um modelo de regressão que possua  $k$  variáveis independentes ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ) (Equação 3.5);  $k$  é a quantidade de variáveis independentes consideradas no modelo;  $n$  é o número total de observações;  $T$  é o número total de coeficientes ou coeficientes de regressão ( $a_j$ ) (incluindo a intersecção) a serem estimados no modelo completo de regressão;  $R_T^2$  é o coeficiente de determinação múltipla para um modelo completo de regressão que contenha todos os  $T$  coeficientes estimados (Equação 3.5).

Iaffe et al. (2000), Floriano et al. (2006), Pimenta et al. (2008), Oliveira (2010) são harmônicos quando afirmam que o  $C_p$  de Mallows contribui para a simplificação do modelo. Um valor baixo de  $C_p$  indica que o modelo é relativamente preciso e possui pequena variância na estimativa verdadeira dos coeficientes da regressão ( $a_j$ ) e na previsão de respostas futuras ( $y_P$ ).

Teixeira et al. (2013) aponta que a estatística  $C_p$  de Mallows mede as diferenças entre os valores previstos por meio de um modelo de regressão e valores observados. Quando um modelo de regressão, com  $k$  variáveis independentes, contém somente diferenças aleatórias em relação aos dados observados, o valor médio de  $C_p$  é próximo de  $k + 1$ . Ao avaliar muitos modelos de regressão alternativos, tem-se como objetivo encontrar modelos cuja a estatística  $C_p$  esteja próxima ou inferior a  $k + 1$ . Para Montgomery e Runger (2012), modelos que apresentam  $C_p$  muito maior que  $k$  apresentam baixa capacidade preditiva.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO DO MODELO

De acordo à Box et al. (2015), a metodologia para construção de modelos consiste em três estágios: i) identificação; ii) estimação de coeficientes ( $a_j$ ) e iii) checagem diagnóstica. Na etapa de identificação, subclasses de modelos são selecionadas de uma classe geral pré estabelecida,

com base na análise dos dados e/ou conhecimento do processo. Depois, são estimados os coeficientes ( $a_j$ ) buscando a otimização de algum critério de desempenho. Por fim, no terceiro estágio, os modelos estimados são avaliados quanto à capacidade de produzirem respostas adequadas para a série.

Em seguida, procede-se com a avaliação estatística dos valores ( $y_P$ ) estimados pelo modelo. Esse estágio é fundamental para a garantia da adequação do modelo na representação do processo e, conseqüentemente, consolidar o seu poder de generalização (BOX et al., 2015).

A obtenção de modelo empírico é possível de diversas formas (ARAUJO, 2016). Para a obtenção da previsão com a série de dados utilizados neste trabalho, a técnica utilizada é a modelagem por análise de Regressão Linear Múltipla (RLM). Um dos objetivos de modelos matemáticos que se baseiam em RLMs é poder avaliar o comportamento da resposta, variando uma ou mais das variáveis independentes ( $x_j$ ), analisando-se esse impacto sobre a variável dependente ( $y_P$ ) (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Para Johnson, Wichern et al. (2002), a análise por meio da RLM é uma metodologia estatística para predição de valores de uma ou mais respostas ( $y_P$ ) (variável dependente), a partir de uma coleção de valores de entrada ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ) (variáveis independentes).

### 3.2.1 Teste de hipóteses do modelo RLM

Para garantir a adequação dos modelos RLMs desenvolvidos, Montgomery e Runger (2009) indica a necessidade de fazer alguns testes de hipóteses.

De acordo à Araujo (2016) e Magalhães (2017), as hipóteses apropriadas são:

$$Hipótese = \begin{cases} H_0 & a_1 = a_2 = a_3 \dots a_k = 0; \\ H_1 & a_j \neq 0 \text{ Para no mínimo um valor qualquer de } j \text{ com } j = 1, \dots, k, \end{cases}$$

onde  $a_j$  são os coeficientes da variável independente  $x_j$ .

A rejeição de  $H_0$  implica em termos que ao menos uma variável independente ( $x_j$ , com  $j = 1, \dots, k$ ) contribui significativamente para o modelo (ARAUJO, 2016; MAGALHÃES, 2017).

Para testar a significância da regressão, utiliza-se um método denominado Análise de Variância (ANOVA). A Tabela ANOVA (Tabela 1), indica todos os dados necessários para a análise de variância (ARAUJO, 2016; MAGALHÃES, 2017).

Como aplicado por Araujo (2016) e Magalhães (2017), o teste estatístico  $F_0$  (resultado do  $F$  de Fisher) com a ANOVA é dada pela Equação 3.17.

$$F_0 = \frac{\frac{SQ_R}{k-1}}{\frac{SQ_E}{n-1}} = \frac{MQ_R}{MQ_E}, \quad (3.17)$$

Tabela 1 – Análise de Variância para testar a significância do modelo.

Fonte da Variância	Graus de Liberdade	SQ(Aj.)	QM(Aj.)	Valor F	Valor-p
Regressão	k	$SQ_R$	$MQ_R$	$MQ_R/MQ_E$	
Erro ou Resíduo	n-k	$SQ_E$	$MQ_E$		
Total	n	$SQ_T$			

Fonte: Araujo (2016).

onde  $SQ_R$  é a soma quadrática dos resíduos ( $r_i$ ) (Equação 3.7),  $SQ_E$  é a soma quadrática da regressão (Equação 3.6),  $MQ_R$  é a média quadrática dos resíduos ( $r_i$ ) (Equação 3.12),  $MQ_E$  é a média quadrática da regressão (Equação 3.18),  $k$  é o número de variáveis independentes ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ) da regressão e  $n$  é o número total de observações.

$$MQ_E = \frac{SQ_E}{n - k}. \quad (3.18)$$

Para rejeitar ou não uma hipótese, utiliza-se o valor-p. O valor-p é a probabilidade de rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) quando ela é verdadeira. Quanto menor é o valor-p, menor é a probabilidade de que seja cometido um erro por rejeitar uma hipótese nula ( $H_0$ ) verdadeira (OLIVEIRA, 2010).

Neste trabalho, considera-se como intervalo de confiança  $IC = 95\%$ , isto é, considera-se que a probabilidade de o verdadeiro valor do coeficiente estimado ( $a_j$ ) esteja no intervalo calculado seja  $95\%$ . Segundo Bracarense (2012), o intervalo de confiança ( $IC$ ) definido não implica necessariamente que o valor do coeficiente ( $a_j$ ) estará inserido neste, mas que os dados sugerem evidências suficientes para considerar tal intervalo como verdadeiro. Considerando a relação  $IC = 1 - \alpha$ , com  $\alpha$  sendo a significância estatística, consideraremos como nível de significância  $\alpha = 0,05$  ou  $\alpha = 5\%$ .

Considerando-se  $\alpha = 5\%$  de significância estatística, a obtenção de um valor-p inferior a  $\alpha = 0,05$  indica que se deve rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ) de que a variável dependente ( $y_P$ ) não é linearmente influenciada por nenhuma das variáveis independentes ( $x_j, \forall j \in [1, \dots, k]$ ), dentre as variáveis independentes consideradas (BONAMENTE, 2017; FERREIRA; PATINO, 2015), ou seja, é aceito haver uma relação entre pelo menos uma das variáveis independentes ( $x_j, \forall j \in [1, \dots, k]$ ) e a variável dependente ( $y_P$ ) (fenômenos medidos) (DEKKING et al., 2005).

Pode-se rejeitar  $H_0$  se  $F_0 > F_{(\alpha; k; n-k)}$  ou se o valor-p for menor que  $\alpha = 0,05$  (considerando a significância estatística de  $5\%$ ), sendo  $F_0$  (Equação 3.17) o resultado do teste  $F$  calculado e  $F_{(\alpha; k; n-k)}$  o resultado do teste  $F$  tabelado (ver Apêndice A). Se a hipótese  $H_0$  for aceita, a regressão não é significativa (ARAUJO, 2016; MAGALHÃES, 2017).

Conforme Araujo (2016), o teste de significância indica se a equação de regressão é significativa, ou seja, se a relação funcional estabelecida entre a variável dependente ( $y_P$ ) e os efeitos combinados das variáveis independentes ( $x_j, j = 1, \dots, k$ ) são relevantes. O teste

pode determinar se existe uma relação linear entre as variáveis dependentes ( $y_P$ ) e as variáveis independentes ( $x_j, \forall j \in [1, \dots, k]$ ).

Segundo Oliveira (2010), uma forma orientativa de interpretar o valor-p (para  $\alpha = 0,05$  de significância) está descrita no Quadro 5:

Quadro 5 – Classificação das correlações para valor-p.

Valor-p	Correlação
$0,05 < p \leq 0,1$	Fraca
$0,01 < p \leq 0,05$	Forte
$p \leq 0,01$	Fortíssima

Fonte: Oliveira (2010).

Através da aplicação do teste de significância e análise do valor-p, pode-se avaliar a validação do modelo. No entanto, somente essas análises não são suficientes, tornando-se necessária a análise de alguns outros pressupostos estatístico (subseção 3.1.1).

### 3.2.2 Avaliação da qualidade das informações

A palavra “incerteza” significa dúvida, assim, “incerteza de medição” significa dúvida acerca da validade do resultado de uma medição e caracterizada pela dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. O resultado de uma medição é uma estimativa do valor verdadeiro do mensurando. Ao resultado da medição sempre é associada uma incerteza devido à variabilidade dos processos, às imperfeições dos sistemas de medição, falhas do procedimento e quantidade limitada de amostras (BIPM; IFCC; ISO, 2008).

O conhecimento da incerteza de uma informação traz credibilidade para a mesma (HOWARTH et al., 2008). A incerteza é também entendida como uma indicação da qualidade dos resultados da medição, ou seja, pode-se afirmar que quanto menor a incerteza da medição, melhor a qualidade da informação.

É importante acentuar ser desejável que uma informação apresente uma incerteza relativamente pequena. A informação associada à incerteza ( $e_i$ ) maior que seu módulo implica que ela não tem significado estatístico, devendo ser descartada.

Em Schwaab e Pinto (2007), observa-se que ao verificar verdadeira a condição  $F_0 > F_{(\alpha; k; n-k)}$ , a variância experimental característica das medidas de ( $y_O$ ) e a variância dos desvios de previsão ( $y_P$ ) não podem ser consideradas diferentes. Portanto, o modelo pode ser considerado bom e com incertezas de previsão comparáveis às incertezas experimentais.

Admitindo-se a normalidade dos resíduos ( $r_i$ ) ou dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) da medição, com cerca de 95% de nível de confiança (5% de significância), com os resíduos padronizados ( $z_i$ ) da medida na ordem de dois desvios-padrão ( $\pm 2 \cdot \sigma_{y_O}$ ) e com grande parte

dos desvios-padrão ( $\sigma_{y_P}$ ) observados dentro deste intervalo, são minimizados os problemas com pontos suspeitos ou *outlier*.

Finalmente, ao avaliar os pressupostos estatísticos, verifica-se se o modelo pode ser usado para fazer previsões de  $y_P$  a ‘posteriori’. Somente após esta etapa é conveniente calcular as incertezas ( $e_i$ ) de previsão com o modelo.

### 3.2.3 Variáveis independentes ( $x_j$ ) e variável dependente ( $y_P$ )

O estudo tem como base os dados extraídos das IFESs, considerando-se os processos financeiros realizados e em informações administrativas, sendo todas essas informações descritas na seção 2.4, para o período de 2009 a 2020. Os processos, embora de fontes distintas e com características não uniformes, apresentam os elementos quantitativos e qualitativos necessários para alimentar o modelo. Todas as informações são disponibilizadas em Oliveira (2022).

O modelo RLM proposto processa as informações contidas nas variáveis que influenciam no custo de manutenção predial de uma IFES (Quadro 2). Elementos quantitativos específicos foram selecionados como variáveis independentes ( $x_j$ ) para o modelo proposto, observadas dos dados anuais publicados pelas IFES.

Para análise do problema e composição do modelo preditivo foram consideradas oito possíveis variáveis (Quadro 2).

A variável correspondente ao **Custo da manutenção predial** ( $CMP$ ) é a variável de interesse para a predição, portanto, ela é considerada como variável dependente ( $y_P$ ). As demais são consideradas como prováveis variáveis independentes ( $x_j$ ). Considerando-se que: para a previsão do **Custo da manutenção predial** ( $CMP$ ) em um determinado ano subsequente, deve-se utilizar as informações observadas do **Custo da manutenção predial** ( $CMP$ ) realizado em anos anteriores, verifica-se que o modelo proposto é recursivo. Essa recursão será melhor compreendida na seção 3.4.

Para Montgomery e Runger (2009), um modelo de regressão linear é aquele que possui mais de uma variável independente ( $x_j$ ). O modelo *Multiple Input, Single Output* (MISO) proposto é descrito conforme a Equação 3.19.

$$y_{P_i} = a_0 + a_1 \cdot x_{1_i} + a_2 \cdot x_{2_i} + \dots + a_k \cdot x_{k_i} + r_i, \quad (3.19)$$

onde  $y_{P_i}$  é a  $i$ -ésima predição para a variável dependente;  $a_j$  com  $j = 0, \dots, k$  são os coeficientes de regressão das variáveis independentes;  $x_{j_i}$  com  $j = 1, \dots, k$  e  $i = 1, \dots, n$  é a  $i$ -ésima observação da  $j$ -ésima variável independente;  $r_i$  é o  $i$ -ésimo resíduo (Equação 3.10);  $n$  é o número total de observações e  $k$  é o número total de variáveis independentes consideradas no modelo.



### 3.3 COLETA E ESTRUTURA DA BASE DE DADOS

Diante da necessidade de consolidar os dados de custo com a manutenção predial nas IFESs, considera-se a aquisição de informações em um período pré-definido, utilizando-se a metodologia descrita nas seções 2.3 e 2.4. O modelo RLM proposto utiliza esses dados históricos como variáveis independentes ( $x_j$ ) (Quadro 2), tendo o custo de manutenção predial ( $CMP$ ) como resposta, ou variável dependente ( $y_P$ ).

Conforme a metodologia descrita por Jung (2003), Miguel et al. (2010), Nahmias (2009), a coleta de dados se dá visando a obtenção das informações necessárias para a construção de uma base de dados que represente, de forma genérica, as dinâmicas mais frequentes ocorridas no âmbito do gerenciamento de uma IFES.

As 63 IFESs em funcionamento no ano de 2018 foram estabelecidas como o conjunto tido como objeto de estudo. As informações necessárias para a composição do banco de dados foram extraídas do SIAFI (que pode ser acessado por meio do Tesouro Gerencial<sup>b</sup>), além dos relatórios anuais de gestão (constituídos por planilhas que compõem a Sinopse do Ensino Superior<sup>c</sup>). Esses relatórios também estão disponíveis no Portal da Transparência<sup>d</sup>.

A série de dados coletados compreende 12 anos (2009 - 2020), sendo composta por 730 observações registradas (seção 2.4). Os dados referentes ao período de 2009 a 2017 foram utilizados para o treinamento do modelo, e os dados referentes ao período entre 2018 e 2020 foram utilizados para o teste do modelo.

As observações registradas em todo o período (2009 - 2020) correspondem ao conjunto de dados disponíveis para as 63 universidades consideradas. Alguns dos dados não estavam disponíveis, pois, em certos momentos do período, houve ocorrência de IFESs que não estavam funcionais (algumas foram criadas no meio desse período). O Tabela 2 mostra a quantidade de universidades federais existentes/funcionais em cada ano do período considerado.

### 3.4 ESTRUTURA DO MODELO

A estrutura adotada para o modelo proposto considera 8 variáveis independentes ( $x_j$ ) e uma dependente ( $y_P$ ) como resposta do modelo. Para a previsão do custo da manutenção predial ( $CMP$ ) em um determinado ano em específico ( $t$ ), considerou-se que os dados de até 4 anos anteriores influenciam na obtenção da resposta, tendo-se em vista que no Plano Plurianual (PPA), aplica-se a vigência de 4 anos para que sejam estabelecidas as diretrizes, objetivos e metas de médio prazo na administração pública. Dessa maneira, pretende-se prever o

<sup>b</sup> O Tesouro Gerencial é o sistema que substituiu o SIAFI Gerencial para consultas dos dados do SIAFI a partir do ano de 2015. É um sistema construído em arquitetura *Business Intelligence* (BI) e tem como vantagem a facilidade de análise de grande volume de dados, dando ao usuário maior flexibilidade para extração dos dados do universo SIAFI.

<sup>c</sup> Disponível em: <<http://inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-superior>> Acesso em: 23/11/2020.

<sup>d</sup> Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br>> Acesso em: 23/11/2020.

Tabela 2 – Quantidade de IFES em funcionamento em cada ano.

Ano	Nº IFES
2020	63
2019	63
2018	63
2017	63
2016	63
2015	63
2014	63
2013	59
2012	59
2011	59
2010	57
2009	55

Fonte: Autor.

custo da manutenção predial (*CMP*) de uma IFES com a aplicação das informações alinhadas com o Plano Plurianual (PPA) e, conseqüentemente, à Lei Orçamentária Anual (LOA).

O diagrama de blocos (Figura 9) apresenta a estrutura proposta para o modelo MISO, que deve ser ajustado conforme a Equação 3.19.

Nessa configuração (Figura 9), o modelo requer informações dos 4 anos anteriores ao ano em que se deseja prever o *CMP*. Conforme o diagrama de blocos (Figura 9), para a predição do *CMP* no ano  $t$ , necessita-se das informações de entradas (Quadro 2) referentes aos anos  $(t - 1)$ ,  $(t - 2)$ ,  $(t - 3)$  e  $(t - 4)$ .

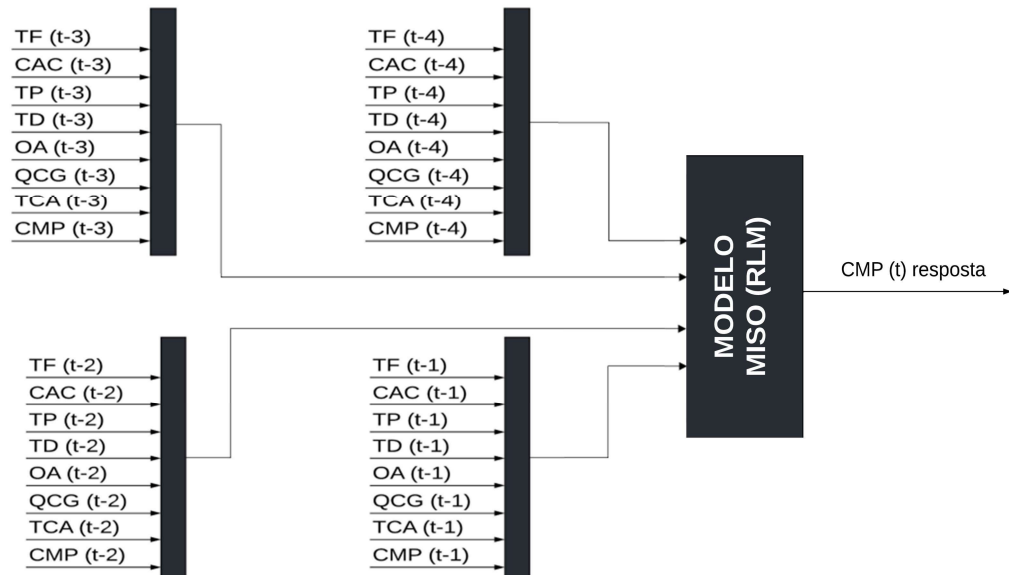
Uma vez adotada a estrutura do modelo descrita no diagrama de blocos (Figura 9), e realizado os ajustes dos coeficientes ( $a_j$  – Equação 3.19), deve-se aplicar os testes estatísticos com o objetivo de avaliar os resultados obtidos. Dessa maneira, através da aplicação da estrutura adotada para o modelo, é possível certificar se os resultados obtidos atendem aos pressupostos estatísticos necessários (subseção 3.1.1) e ao teste de hipótese (subseção 3.2.1). Os pressupostos e teste atendidos indicam a robustez da resposta dada pela estrutura adotada para o modelo, possibilitando, caso necessário, a realização de mudanças nessa estrutura.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas para estruturar o modelo RLM com base em pressupostos estatísticos, e como deve ser realizada a avaliação dos resultados do modelo.

Para avaliar o resultado da previsão do modelo, faz-se necessário a aplicação de pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) e teste de hipóteses (subseção 3.2.1) que validam a resposta desse modelo.

Figura 9 – Estrutura do modelo com 32 variáveis independentes.



Fonte: Autor.

Observa-se que, considerando-se as 8 variáveis de entrada (Quadro 2), é possível mudar a configuração da estrutura do modelo ao utilizarmos informações dos anos progressos. Neste caso, a configuração do modelo MISO da RLM se desdobrou de 8 para 32 variáveis independentes ( $x_j$ ), e uma variável dependente ( $y_P$ ).

O Capítulo 4 apresenta a aplicação dos conceitos estudados nesse capítulo.

## 4 PREVISÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DA RLM

Este capítulo descreve o processo aplicado com o objetivo de obtermos a melhor estrutura a ser adotada para o modelo matemático baseado em Regressão Linear Múltipla (RLM). O modelo que atende aos critérios previamente definidos é aplicado para a predição do custo de manutenção predial (*CMP*) nas IFESs. Com o auxílio das técnicas de RLM, avaliam-se os pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) e teste de hipóteses (subseção 3.2.1), validando-se a estrutura para o modelo.

A obtenção da estrutura para o modelo de predição do *CMP* se realiza sem a retirada dos *outliers* da base de dados, já que todos os valores registrados nessa base são valores que expressam a realidade das instituições, e, portanto, são informações relevantes na construção do banco de dados. Conforme Feigenbaum (1994), independentemente de quão precisos sejam os métodos estatísticos utilizados, os dados são os elementos de maior importância.

Uma separação aleatória da base de dados em dois conjuntos (treinamento e teste) poderia concentrar as amostras (*outliers*) em um desses conjuntos, o que ocasionaria um problema na análise e comparação dos resultados obtidos. A separação dos registros históricos das informações (Tabela 2) em conjunto de treinamento e conjunto de teste se dá de acordo com o período a que se referem os dados. Os dados históricos dos períodos mais antigos (2009 a 2017) são utilizados para treinar o modelo, ou seja, estimar os coeficientes ( $a_j$ ), ajustando-se a equação utilizada para a predição da resposta ( $y_P$ ) em um período subsequente. Os dados dos períodos mais recentes (2018 a 2020) são utilizados para verificação dos valores previstos pelo modelo ( $y_{P_i}$ ), comparando-se esses valores com as informações observadas e registradas no banco de dados ( $y_{O_i}$ ).

Portanto, utiliza-se como conjunto de treinamento o período que compreende as entradas ( $x_j$ ) registradas até ao ano de 2017, e saída predita ( $y_P$ ) até ao ano de 2018. O conjunto de teste consiste nas entradas ( $x_j$ ) registradas até os anos de 2018, 2019 e 2020. Aplicando-se essas entradas ao modelo, compara-se as respostas obtidas com as informações observadas e registradas no banco de dados ( $y_{O_i}$ ), referentes aos mesmos anos. Assim, tendo-se a previsão do modelo ( $y_P$ ) comparada com a resposta registrada e observada na série histórica ( $y_O$ ).

A determinação da estrutura adequada, a estimação dos coeficientes ( $a_j$ ) e avaliação se as respostas ( $y_{P_i}$ ) possuem um significado estatístico são vistas neste capítulo. Por fim, também nesta etapa, realizam-se as análises estatísticas.

### 4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS ( $x_j$ ) E REDUÇÃO DO MODELO DE RLM

De acordo a Abreu et al. (2015), os métodos de seleção de variáveis independentes ( $x_j$ ) têm a finalidade de escolher as variáveis de entrada que são mais significativas em um conjunto de observações registradas, descartando-se as variáveis de entrada que são menos significativas,

sem que haja prejuízo para a previsão do modelo.

As estruturas propostas para o modelo *Multiple Input, Single Output* (MISO) dão como resposta ( $y_{P_i}$ ) a predição do custo de manutenção predial  $CMP_t$  de um ano subsequente aos dados considerados como entrada. As informações referentes as variáveis de entrada, ou variáveis independentes ( $x_j$ ), encontram-se no Quadro 2.

Realizado o ajuste/estimativa dos coeficientes ( $a_j$ ), por meio do conjunto de treinamento, constata-se que o termo constante ( $a_0$ ) do modelo baseado em RLM apresenta a incerteza associada ( $e_i$ ) maior que o valor do módulo do próprio termo ( $a_0$ ). Como não é fenomenologicamente realizável um coeficiente ( $a_j$ ) com incerteza ( $e_i$ ) maior que seu módulo (subseção 3.2.2), essa característica do modelo deve ser corrigida. A correção se realiza considerando que  $a_0 = 0$  (Equação 3.19). Dessa forma, para o modelo de previsão do custo de manutenção predial ( $CMP$ ), será considerado que o valor do termo  $a_0$  é igual a zero.

Considerando-se que o modelo proposto requer as informações dos 4 anos anteriores ao ano em se deseja prever o  $CMP_t$  (Custo de Manutenção Predial no ano  $t$ ) (seção 3.4), são estabelecidas como entradas para o modelo as 8 informações descritas no Quadro 2, com cada uma delas contendo as informações referentes aos anos  $(t - 1)$ ,  $(t - 2)$ ,  $(t - 3)$  e  $(t - 4)$ , o que implica em um modelo RLM com 32 variáveis de entrada, ou variáveis independentes ( $x_j$ ).

Portanto, a equação inicial (Equação 4.1) que representa a estrutura proposta para o modelo tem 32 variáveis independentes ( $x_j$ ), e é apresentada no diagrama de blocos (Figura 9).

$$\begin{aligned}
 CMP_t = & a_1 \cdot TF_{t-1} + a_2 \cdot TF_{t-2} + a_3 \cdot TF_{t-3} + a_4 \cdot TF_{t-4} + a_5 \cdot CAC_{t-1} + \\
 & + a_6 \cdot CAC_{t-2} + a_7 \cdot CAC_{t-3} + a_8 \cdot CAC_{t-4} + a_9 \cdot TP_{t-1} + a_{10} \cdot TP_{t-2} + \\
 & + a_{11} \cdot TP_{t-3} + a_{12} \cdot TP_{t-4} + a_{13} \cdot TD_{t-1} + a_{14} \cdot TD_{t-2} + a_{15} \cdot TD_{t-3} + \\
 & + a_{16} \cdot TD_{t-4} + a_{17} \cdot OA_{t-1} + a_{18} \cdot OA_{t-2} + a_{19} \cdot OA_{t-3} + a_{20} \cdot OA_{t-4} + \\
 & + a_{21} \cdot QCG_{t-1} + a_{22} \cdot QCG_{t-2} + a_{23} \cdot QCG_{t-3} + a_{24} \cdot QCG_{t-4} + a_{25} \cdot TCA_{t-1} + \\
 & + a_{26} \cdot TCA_{t-2} + a_{27} \cdot TCA_{t-3} + a_{28} \cdot TCA_{t-4} + a_{29} \cdot CMP_{t-1} + a_{30} \cdot CMP_{t-2} + \\
 & + a_{31} \cdot CMP_{t-3} + a_{32} \cdot CMP_{t-4}.
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

É possível definir o melhor subconjunto de variáveis independentes ( $x_j$ ) por meio de diversos procedimentos. Um deles é o procedimento de seleção/eliminação de variáveis intitulado *backward*.

O procedimento *backward* é iniciado com a presença de todas as variáveis no modelo (Equação 4.1). Então, as variáveis devem ser retiradas à medida que não satisfaçam algum critério estatístico pré-estabelecido (TABACHNICK; FIDELL; ULLMAN, 2007). Segundo Alves (2013), o procedimento de seleção/eliminação de variáveis *backward* deve seguir os passos descritos na Etapa 01 (Figura 10).

A Etapa 01 tem o seguinte detalhamento:

1. Seja  $x_j, \forall j \in [1, \dots, k]$  a variável de entrada a ser avaliada para seleção/eliminação do modelo e  $a_j$  o coeficiente associado a  $x_j$ . Eliminando-se essa variável, tendo-se como base as demais variáveis que permaneceram no modelo, os valores dos coeficientes são recalculados. É calculado o novo coeficiente de correlação ( $R$ ) (Equação 3.1) entre a resposta do modelo ( $y_P$ ) e a resposta observada ( $y_O$ ).
2. Caso o novo coeficiente de correlação ( $R$ ) calculado com a eliminação de  $x_j$  seja maior que o coeficiente de correlação ( $R$ ) anterior (com a presença da variável  $x_j$ ), a variável  $x_j$  deve ser eliminada do conjunto de variáveis de entrada do modelo, caso contrário, a variável  $x_j$  deve ser selecionada para permanecer no conjunto de variáveis de entrada do modelo.
3. O processo deve ser repetido até que todas as variáveis sejam testadas.

Ao realizarmos a seleção do subconjunto das variáveis ( $x_j$ ) que produzem a melhor performance do modelo, nós estamos obtendo a melhor estrutura do modelo, que é obtida com a realização da Etapa 01 (Figura 10), tendo-se como ponto de partida a Equação 4.1. Obtida a melhor estrutura de modelo, essa estrutura deve ser avaliada. Para tanto, deve-se considerar o princípio da parcimônia (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000), o que se realiza com a execução da Etapa 02 (Figura 10).

A Etapa 02 tem o seguinte detalhamento:

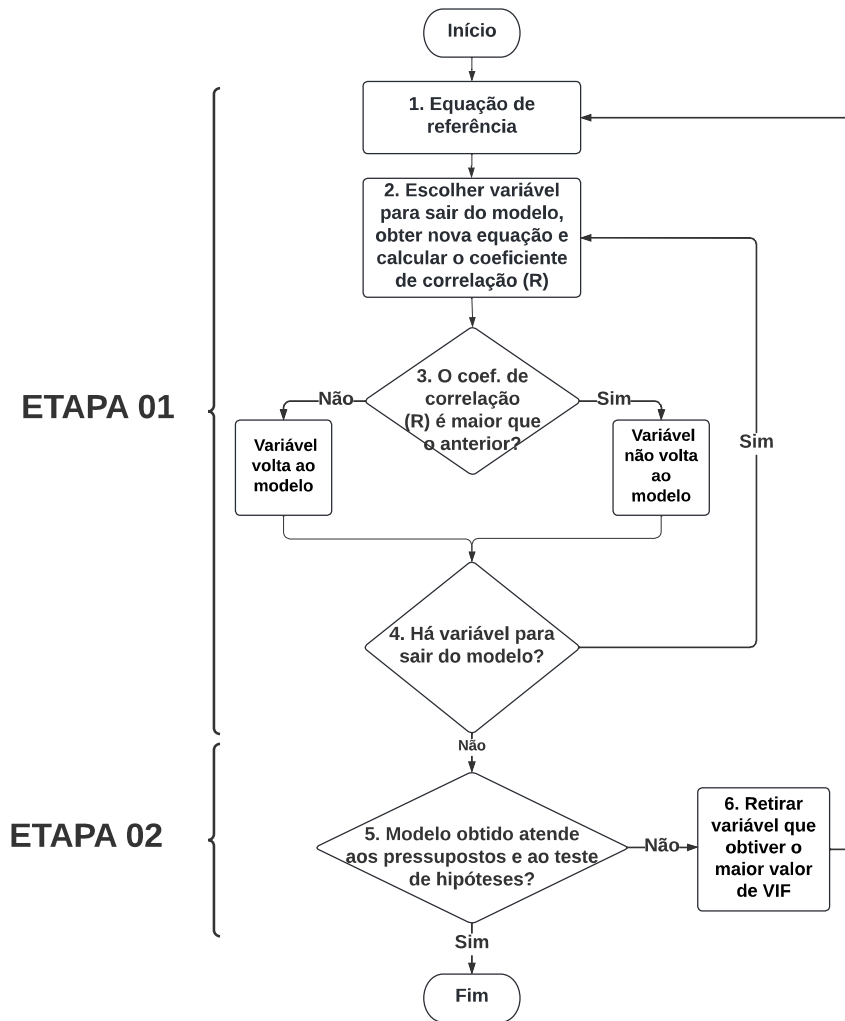
1. Investigar se o modelo obtido atende aos requisitos dados pelos pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) e ao teste de hipótese (subseção 3.2.1).
2. Caso o modelo MISO obtido apresente uma (ou mais) variável(is) ( $x_j$ ) que não atenda(m) aos pressupostos (subseção 3.1.1) ou ao teste de hipótese (subseção 3.2.1), deve-se retirar a variável ( $x_j$ ) com o maior valor de VIF e aplicar novamente o procedimento de seleção/eliminação *backward* (Etapa 01 - Figura 10) para obter a nova equação de referência.
3. O processo deve ser repetido até que o modelo atenda a todos os pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) e ao teste de hipótese (subseção 3.2.1).

A execução do fluxograma do método de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) (Figura 10) se dá conforme os seguintes passos:

- **Passo 01:** Execução da Etapa 01 (Figura 10) sobre a Equação 4.1

Tomando-se a Equação 4.1 como a equação de referência e aplicando o *backward* (Etapa 01 - Figura 10), resulta em:

Figura 10 – Fluxograma de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) com *backward*.



Fonte: Autor.

$$\begin{aligned}
 CMP_t = & a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TP_{t-3} + a_4 \cdot TP_{t-4} + \\
 & + a_5 \cdot TD_{t-1} + a_6 \cdot OA_{t-2} + a_7 \cdot QCG_{t-4} + a_8 \cdot TCA_{t-2} + \\
 & + a_9 \cdot CMP_{t-1} + a_{10} \cdot CMP_{t-3} + a_{11} \cdot CMP_{t-4}.
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

- **Passo 02:** Execução da Etapa 02 (Figura 10) sobre a Equação 4.2

A partir da estrutura obtida para o modelo (Equação 4.2), ajustam-se os coeficiente ( $a_j$ ) e se calcula os valores VIF (Equação 3.4) para cada variável ( $x_j$ ). Os valores obtidos estão registrados na Tabela 3. Observa-se que algumas variáveis não atendem ao critério  $VIF \leq 10$  (MOREIRA, 2008; CHATTERJEE; HADI, 2015; PETRINI et al., 2012). Essas variáveis são candidatas para a eliminação do modelo.

Tabela 3 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da primeira regressão do modelo.

Termo	Coeficiente	Incerteza do coeficiente	Valor-t	VIF	Atende VIF
$TD_{t-1}$	<b>0,0095</b>	<b>0,0027</b>	<b>3,45</b>	<b>12,67</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-1}$	0,8598	0,0403	21,32	6,37	Sim
$CAC_{t-2}$	0,0012	0,0004	2,94	4,75	Sim
$OA_{t-2}$	-0,0072	0,0018	-3,99	3,22	Sim
$TCA_{t-2}$	<b>62,4000</b>	<b>29,0000</b>	<b>2,15</b>	<b>33,01</b>	<b>Não</b>
$CAC_{t-3}$	-0,0012	0,0004	-2,84	4,46	Sim
$TP_{t-3}$	<b>-0,0153</b>	<b>0,0047</b>	<b>3,23</b>	<b>461,87</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-3}$	<b>-0,3420</b>	<b>0,0649</b>	<b>-5,27</b>	<b>14,69</b>	<b>Não</b>
$TP_{t-4}$	<b>-0,0159</b>	<b>0,0051</b>	<b>-3,13</b>	<b>427,89</b>	<b>Não</b>
$QCG_{t-4}$	<b>-9041,0000</b>	<b>5207,0000</b>	<b>-1,74</b>	<b>16,70</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-4}$	<b>0,1378</b>	<b>0,0648</b>	<b>2,13</b>	<b>12,15</b>	<b>Não</b>

Fonte: Autor.

Dentre as variáveis candidatas para a eliminação, elimina-se a variável que apresenta o maior valor para o VIF, que no caso é a variável  $TP_{t-3}$  (Equação 4.2). Obtém-se uma nova equação de referência (Equação 4.3):

$$\begin{aligned}
 CMP_t = & a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TP_{t-4} + a_4 \cdot TD_{t-1} + a_5 \cdot OA_{t-2} + \\
 & + a_6 \cdot QCG_{t-4} + a_7 \cdot TCA_{t-2} + a_8 \cdot CMP_{t-1} + a_9 \cdot CMP_{t-3} + \\
 & + a_{10} \cdot CMP_{t-4}.
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

- **Passo 03:** Execução da Etapa 01 (Figura 10) sobre a Equação 4.3

Tomando-se a Equação 4.3 como equação de referência, e aplicando o backward (Etapa 01 - Figura 10), resulta-se em:

$$\begin{aligned}
 CMP_t = & a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TD_{t-1} + a_4 \cdot OA_{t-2} + a_5 \cdot QCG_{t-4} + \\
 & + a_6 \cdot TCA_{t-2} + a_7 \cdot CMP_{t-1} + a_8 \cdot CMP_{t-3} + a_9 \cdot CMP_{t-4}.
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

- **Passo 04:** Execução da Etapa 02 (Figura 10) sobre a Equação 4.4

A partir da estrutura obtida para o modelo (Equação 4.4), ajustam-se os coeficiente ( $a_j$ ) e se calcula os valores VIF (Equação 3.4) para cada variável ( $x_j$ ). Os valores obtidos estão registrados na Tabela 4. Observa-se que algumas variáveis não atendem ao critério  $VIF \leq 10$  (MOREIRA, 2008; CHATTERJEE; HADI, 2015; PETRINI et al., 2012). Essas variáveis são candidatas para a eliminação do modelo.

Dentre as variáveis candidatas para a eliminação, elimina-se a variável que apresenta o maior valor para o VIF, que no caso é a variável  $TCA_{t-2}$  (Equação 4.4). Obtém-se uma nova equação de referência (Equação 4.5):



Tabela 4 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da segunda regressão do modelo.

Termo	Coeficiente	Incerteza do coeficiente	Valor-t	VIF	Atende VIF
$TD_{t-1}$	<b>0,0095</b>	<b>0,0028</b>	<b>3,46</b>	<b>12,53</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-1}$	0,8569	0,0401	21,38	6,14	Sim
$CAC_{t-2}$	0,0012	0,0004	2,96	4,75	Sim
$OA_{t-2}$	-0,0071	0,0018	-3,89	3,22	Sim
$TCA_{t-2}$	<b>84,8000</b>	<b>26,4000</b>	<b>3,22</b>	<b>26,69</b>	<b>Não</b>
$CAC_{t-3}$	-0,0012	0,0004	-2,57	4,43	Sim
$CMP_{t-3}$	<b>-0,3124</b>	<b>0,0648</b>	<b>-4,82</b>	<b>14,28</b>	<b>Não</b>
$QCG_{t-4}$	<b>-9579,0000</b>	<b>5264,0000</b>	<b>-1,82</b>	<b>16,67</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-4}$	<b>0,1104</b>	<b>0,0603</b>	<b>1,83</b>	<b>10,29</b>	<b>Não</b>

Fonte: Autor.

$$CMP_t = a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TD_{t-1} + a_4 \cdot OA_{t-2} + a_5 \cdot QCG_{t-4} + a_6 \cdot CMP_{t-1} + a_7 \cdot CMP_{t-3} + a_8 \cdot CMP_{t-4}. \quad (4.5)$$

- **Passo 05:** Execução da Etapa 01 (Figura 10) sobre a Equação 4.5

Tomando-se a Equação 4.5 como equação de referência, e aplicando o backward (Etapa 01 - Figura 10), resulta-se em:

$$CMP_t = a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TD_{t-1} + a_4 \cdot OA_{t-2} + a_5 \cdot CMP_{t-1} + a_6 \cdot CMP_{t-3} + a_7 \cdot CMP_{t-4}. \quad (4.6)$$

- **Passo 06:** Execução da Etapa 02 (Figura 10) sobre a Equação 4.6

A partir da estrutura obtida para o modelo (Equação 4.6), ajustam-se os coeficiente ( $a_j$ ) e se calcula os valores VIF (Equação 3.4) para cada variável ( $x_j$ ). Os valores obtidos estão registrados na Tabela 5. Observa-se que algumas variáveis não atendem ao critério  $VIF \leq 10$  (MOREIRA, 2008; CHATTERJEE; HADI, 2015; PETRINI et al., 2012). Essas variáveis são candidatas para a eliminação do modelo.

Dentre as variáveis candidatas para a eliminação, elimina-se a variável que apresenta o maior valor para o VIF, que no caso é a variável  $CMP_{t-3}$  (Equação 4.6), obtém-se uma nova equação de referência (Equação 4.7):

$$CMP_t = a_1 \cdot CAC_{t-2} + a_2 \cdot CAC_{t-3} + a_3 \cdot TD_{t-1} + a_4 \cdot OA_{t-2} + a_5 \cdot CMP_{t-1} + a_6 \cdot CMP_{t-4}. \quad (4.7)$$

Tabela 5 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da terceira regressão do modelo.

Termo	Coeficiente	Incerteza do coeficiente	Valor-t	VIF	Atende VIF
$TD_{t-1}$	0,0139	0,0022	6,19	8,03	Sim
$CMP_{t-1}$	0,8749	0,0403	21,72	6,04	Sim
$CAC_{t-2}$	0,0009	0,0004	2,48	4,66	Sim
$OA_{t-2}$	-0,0055	0,0018	-3,10	2,96	Sim
$CAC_{t-3}$	-0,0011	0,0004	-2,66	4,38	Sim
$CMP_{t-3}$	<b>-0,2928</b>	<b>0,0654</b>	<b>-4,48</b>	<b>14,16</b>	<b>Não</b>
$CMP_{t-4}$	<b>0,1363</b>	<b>0,0607</b>	<b>2,24</b>	<b>10,13</b>	<b>Não</b>

Fonte: Autor.

- **Passo 07:** Execução da Etapa 01 (Figura 10) sobre a Equação 4.7

Tomando-se a Equação 4.7 como equação de referência, e aplicando o backward (Etapa 01 - Figura 10), resulta-se em:

$$CMP_t = a_1 \cdot TD_{t-1} + a_2 \cdot CMP_{t-1} + a_3 \cdot OA_{t-2} + a_4 \cdot CAC_{t-4}. \quad (4.8)$$

- **Passo 08:** Execução da Etapa 02 (Figura 10) sobre a Equação 4.8

A partir da estrutura obtida para o modelo (Equação 4.8), ajustam-se os coeficiente ( $a_j$ ) e se calcula os valores VIF (Equação 3.4) para cada variável ( $x_j$ ). Os valores obtidos estão registrados na Tabela 6. Observa-se que todas as variáveis atendem ao critério  $VIF \leq 10$  (MOREIRA, 2008; CHATTERJEE; HADI, 2015; PETRINI et al., 2012). Portanto, não há variáveis candidatas à eliminação do modelo por esse critério.

Tabela 6 – Coeficientes ( $a_j$ ) do ajuste da quarta regressão do modelo.

Termo	Coeficiente	Incerteza do coeficiente	Valor-t	VIF	Atende VIF
$TD_{t-1}$	0,0139	0,0022	6,21	7,55	Sim
$CMP_{t-1}$	0,7854	0,0357	21,99	4,49	Sim
$OA_{t-2}$	-0,0049	0,0018	-2,74	2,94	Sim
$CMP_{t-4}$	-0,0945	0,0331	-2,86	2,85	Sim

Fonte: Autor.

De posse do melhor subconjunto de variáveis independentes ( $x_j$ ), dado pela Equação 4.8, aplica-se mais um critério para a avaliação do modelo através da estatística  $C_p$  de Mallows.

Com as variáveis independentes ( $x_j$ ), expressas na Equação 4.8, utiliza-se a estatística  $C_p$  de Mallows como uma ferramenta para identificar o melhor subconjunto formado pelas variáveis independentes selecionadas. Os resultados da aplicação da estatística  $C_p$  de Mallows estão registrados na Tabela 7. Por esse critério, o melhor subconjunto é aquele que apresenta o menor valor  $C_p$ . Portanto, confirma-se que a Equação 4.8 é a que apresenta o melhor valor

para  $C_p$  (Equação 3.16). Segundo Iaffe et al. (2000), Floriano et al. (2006), Pimenta et al. (2008), Oliveira (2010), um valor baixo de  $C_p$  indica que o modelo é relativamente preciso e possui pequena variância na estimativa verdadeira dos coeficientes da regressão ( $a_j$ ), e na previsão de respostas futuras ( $y_P$ ).

Tabela 7 – Análise do  $C_p$  de Mallows.

N° Vars	$R_2$	$R_{2(a_j)}$	$R_2$ (pred)	$C_p$	$TD_{t-1}$	$CMP_{t-1}$	$OA_{t-2}$	$CMP_{t-4}$
1	81,5%	81,4%	80,5%	28,7		X		
1	56,2%	56,0%	55,1%	567,5	X			
2	82,0%	81,9%	80,6%	18,7	X	X		
2	81,6%	81,5%	80,3%	28,3		X	X	
3	82,5%	82,4%	81,0%	10,0	X	X	X	
3	82,5%	82,3%	80,8%	11,2	X	X		X
<b>4</b>	<b>82,9%</b>	<b>82,7%</b>	<b>81,0%</b>	<b>5,0</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

Fonte: Autor.

Dado o processo de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) com a realização das Etapas 01 e 02 (Figura 10), verifica-se que a redução de 32 variáveis de entradas (Equação 4.1) para 4 variáveis de entradas (Equação 4.8) (Quadro 6). No entanto, isso não reflete em uma significativa redução do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Tabela 8), demonstrando que o modelo com quantidade reduzida de variáveis ( $x_j$ ) ainda obtém uma boa aderência das respostas previstas ( $y_P$ ) em comparação às respostas observadas ( $y_O$ ), sendo classificado como "fortíssimo" (Quadro 4).

Quadro 6 – Resumo do processo de seleção/eliminação de variáveis ( $x_j$ ) com *backward*.

Equação	Critério eliminação - Figura 10	Qtd. $x_j$ eliminadas	Qtd. $x_j$ restantes
4.1	equação inicial		32 variáveis
4.2	eliminação $x_j$ por <i>backward</i>	21 variáveis	11 variáveis
4.3	eliminação de $TP_{t-3}$ por $VIF > 10$	1 variável	10 variáveis
4.4	eliminação $x_j$ por <i>backward</i>	1 variável	9 variáveis
4.5	eliminação de $TCA_{t-2}$ por $VIF > 10$	1 variável	8 variáveis
4.6	eliminação $x_j$ por <i>backward</i>	1 variável	7 variáveis
4.7	eliminação de $CMP_{t-3}$ por $VIF > 10$	1 variável	6 variáveis
4.8	eliminação $x_j$ por <i>backward</i>	2 variáveis	4 variáveis

Fonte: Autor.

A substituição dos valores dos coeficientes ( $a_j$ ) na Equação 4.8, resulta na Equação 4.9, representada pela configuração com 4 entradas ( $TD_{t-1}$ ,  $CMP_{t-1}$ ,  $OA_{t-2}$  e  $CMP_{t-4}$ ) e uma saída ( $CMP_t$ ) (Figura 11), sendo essa a estrutura final obtida para o modelo.

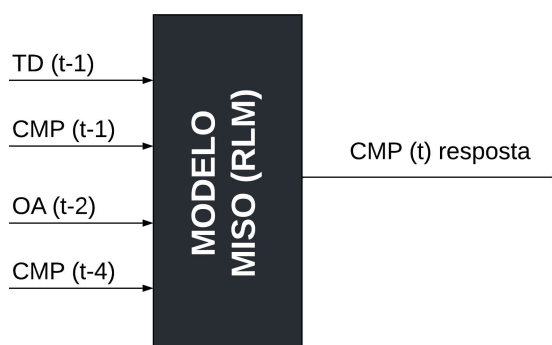
$$CMP_t = 0,0139 \cdot TD_{t-1} + 0,7854 \cdot CMP_{t-1} - 0,0049 \cdot OA_{t-2} - 0,0945 \cdot CAC_{t-4}. \quad (4.9)$$

Tabela 8 – Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações ao final de cada Etapa 02 do fluxo-grama (Figura 10).

Equação	Qtd. variáveis $x_j$	$R^2$	$R^2_{aj}$
4.1	32 variáveis	90,85%	90,04%
4.2	11 variáveis	90,52%	90,23%
4.4	9 variáveis	90,24%	90,00%
4.6	7 variáveis	89,91%	89,72%
4.8 e 4.9	4 variáveis	89,25%	89,14%

Fonte: Autor.

Figura 11 – Estrutura final do modelo com 4 variáveis independentes ( $x_j$ ).



Fonte: Autor.

#### 4.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO RLM

Os testes estatísticos garantem a adequação estatística dos modelos desenvolvidos (seção 3.2). Esses testes (seção 4.1) verificam alguns requisitos mínimos que os modelos devem ter para que as respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) pelo modelo tenham significado estatístico.

As incertezas dos coeficientes ( $e_i$  - Equação 4.10) pode ser tratada como um fator associado ao resultado de uma medida, e ela caracteriza a dispersão dos valores atribuídos ao mensurando (subseção 3.2.2). Isso significa que o valor exato do mensurando é desconhecido (BIPM; IFCC; ISO, 2008), mas que ele é um valor contido em um intervalo.

As incertezas associadas aos coeficientes da regressão são:

$$e_i = \frac{a_i}{Valor - t}, \tag{4.10}$$

onde  $e_i$  é a incerteza associada ao coeficiente ( $a_j$ ) e valor-t é um parâmetro dado em função da distribuição  $t$  de *Student*, com base em um nível de significância  $\alpha = 5\%$ .

Através da análise de variâncias sobre os dados (Equação 4.9 - Tabela 9), são destacados os resultados para o valor-p de cada uma das variáveis, a saber:  $TD_{t-1}$ ,  $CMP_{t-1}$ ,  $OA_{t-2}$  e

$CMP_{t-4}$ . Esses valores indicam uma correlação “fortíssima” (Quadro 5) dessas variáveis com a variável dependente ( $y_P$ ).

Tabela 9 – Análise de variância dos coeficientes para configuração com 4 variáveis independentes ( $x_j$ ).

Fonte da Variância	Graus de Liberdade	SQ(Aj.)	QM(Aj.)	Valor F	Valor-p
Regressão	4	$1,53 \cdot 10^{16}$	$3,82 \cdot 10^{15}$	760,03	0,000
$PD_{t-1}$	1	$1,94 \cdot 10^{14}$	$1,94 \cdot 10^{14}$	38,56	0,000
$CMP_{t-1}$	1	$2,43 \cdot 10^{15}$	$2,43 \cdot 10^{15}$	483,70	0,000
$OA_{t-2}$	1	$3,78 \cdot 10^{13}$	$3,78 \cdot 10^{13}$	7,53	0,006
$CMP_{t-4}$	1	$4,10 \cdot 10^{13}$	$4,10 \cdot 10^{13}$	8,16	0,005
Erro	366	$1,84 \cdot 10^{15}$	$5,02 \cdot 10^{12}$		
Total	370	$1,71 \cdot 10^{16}$			

Fonte: Autor.

### 4.3 PRESSUPOSTOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE HIPÓTESES NO TREINAMENTO DO MODELO

O Capítulo 3 descreve as análises estatísticas necessárias para a validação dos modelos. Portanto, atendendo-se aos critérios estabelecidos nas subseções 3.1.1 e 3.2.1, as análises necessárias para a validação do modelo devem ser realizadas segundo os seguintes requisitos:

#### 4.3.1 Pressupostos do modelo

A aplicação dos pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) para a análise da Regressão Linear Múltipla (RLM) expressa pela Equação 4.9 apresenta como resultado:

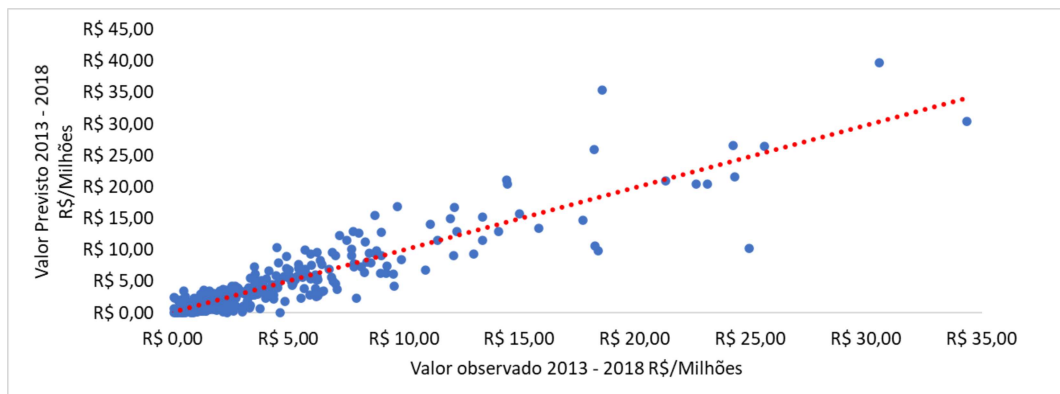
- **Linearidade**

A disposição dos valores previstos ( $y_{P_i}$ ) com os valores observados ( $y_{O_i}$ ) (Figura 12) indicam uma linearidade dos pontos observados entre os resultados, garantindo o atendimento a esse pressuposto.

Essas informações ( $y_{P_i}$  e  $y_{O_i}$ ) apresentam uma correlação  $R = 91,02\%$ , classificada como correlação “fortíssima”(Quadro 3).

- **Multicolinearidade entre as variáveis ( $x_j$ )**

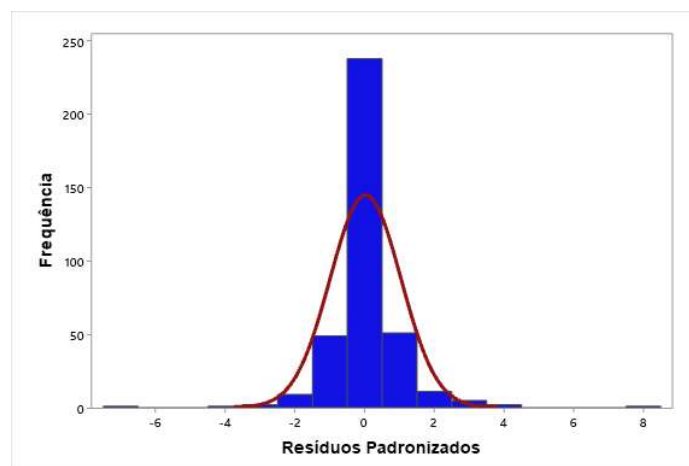
Conforme Moreira (2008), Chatterjee e Hadi (2015), Petrini et al. (2012), verifica-se que modelo atende ao pressuposto da multicolinearidade através da análise de VIF (Equação 3.4) das variáveis independentes ( $x_j$ ) (Tabela 6). Portanto, conclui-se que as variáveis  $TD_{t-1}$ ,  $CMP_{t-1}$ ,  $OA_{t-2}$  e  $CMP_{t-4}$  atendem ao critério  $VIF \leq 10$ .

Figura 12 – Valores previstos ( $y_{P_i}$ ) versus valores observados ( $y_{O_i}$ ).

Fonte: Autor.

- **Normalidade e Homoscedasticidade dos resíduos ( $r_i$ - Equação 3.10)**

O teste da normalidade do modelo é garantido verificando-se a distribuição normal dos pontos representados pelo conjunto dos resíduos ( $r_i$ - Equação 3.10) ou resíduos padronizados ( $z_i$ - Equação 3.11) em relação ao intervalo das observações (VIEIRA, 2016). Graficamente, apura-se a normalidade dos resíduos padronizados através do histograma dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) (Figura 13), indicando que as amostras se dispõem normalmente em toda a extensão do gráfico (MAGALHÃES, 2017).

Figura 13 – Histograma dos resíduos padronizados ( $z_i$ - Equação 3.11) e gráfico de distribuição normal.

Fonte: Autor.

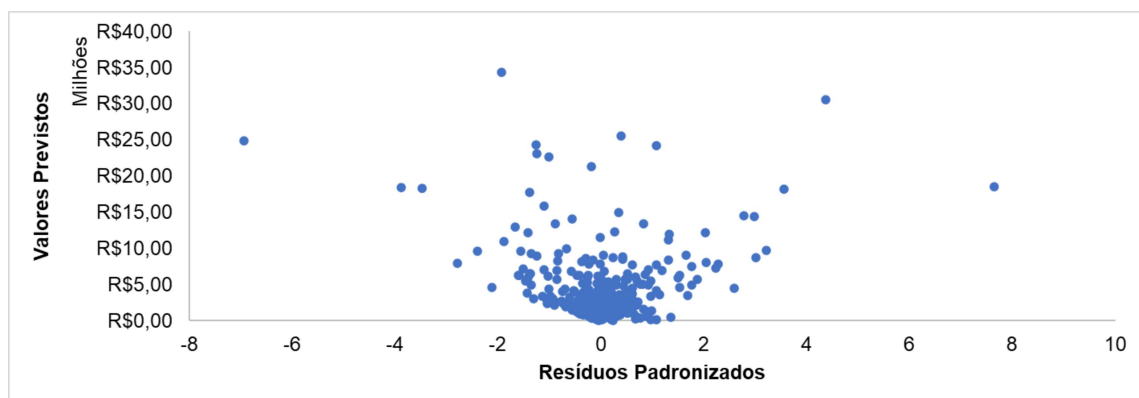
Comprova-se a normalidade dos resíduos tanto por meio do histograma (Figura 13), quanto por meio da disposição dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) em relação aos valores previstos ( $y_{P_i}$ ) (Figura 14). Ao analisar a Figura 14, verifica-se que a maioria dos pontos está disposta

no intervalo  $[-2\sigma; +2\sigma]$  (NBR 14653-2, 2011). Portanto, o resultado obtido indica que 95,14 % dos resíduos padronizados ( $z_i$ ), ou seja, 352 das 370 ocorrências, acontecem no intervalo  $[-2\sigma; +2\sigma]$  desvios-padrão.

O teste da homoscedasticidade é realizado por meio da análise da disposição dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) em relação aos valores previstos ( $y_{P_i}$ ) (Figura 14), cujo padrão deve apresentar pontos dispostos aleatoriamente, sem nenhum padrão definido (BAPTISTELLA, 2005; NBR 14653-2, 2011).

Na disposição dos pontos entre os resíduos padronizados ( $z_i$ ) e as respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) (Figura 14), não se observa um padrão definido. Portanto, essa aleatoriedade na disposição dos pontos denota o atendimento ao critério de homoscedasticidade.

Figura 14 – Resíduos padronizados ( $z_i$ - Equação 3.11) versus valores previstos ( $y_{P_i}$ ).



Fonte: Autor.

- **Ausência de autocorrelação serial dos resíduos ( $r_i$ - Equação 3.10)**

A aleatoriedade na disposição dos resíduos padronizados ( $z_i$ ) versus as respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) (Figura 14) também indica a ausência de autocorrelação serial dos resíduos ( $r_i$ ) (NBR 14653-2, 2011; ARAUJO, 2016).

#### 4.3.2 Resultado do teste de hipóteses

Para garantir que o modelo (Equação 4.9) apresenta significado estatístico, esse deve apresentar  $F_0 > F_{(\alpha;k;n-k)}$  ou valor-p da regressão  $< 0,05$  no teste de significância ( $\alpha$ ), para o caso de significância  $\alpha = 5\%$ .

O valor calculado para  $F_0$  é  $F_0 = 760,03$  (Tabela 9) e o valor tabelado para  $F_{(\alpha;k;n-k)}$  é  $F_{(0,05;4;366)} \approx 2,37$  (Figura A.1). Esses valores certificam o atendimento ao requisito do teste de significância (subseção 3.2.1), dado que  $F_0 = 760,03 > F_{(0,05;4;366)} \approx 2,37$ , e valor-p = 0,000 para a regressão (Tabela 9) (ARAUJO, 2016; MAGALHÃES, 2017).

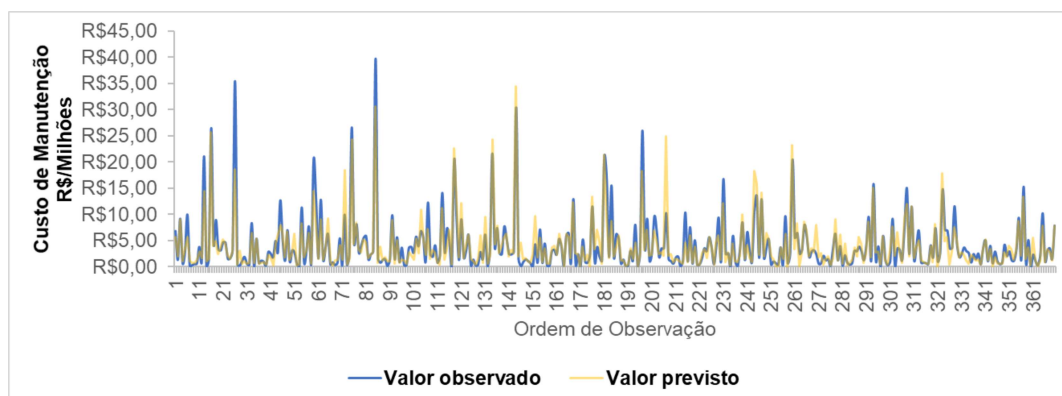
### 4.3.3 Respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) versus respostas observadas ( $y_{O_i}$ )

O teste dos pressupostos estatísticos (subseção 4.3.1) e o do teste de hipóteses (subseção 4.3.2) garantem a existência de significância estatística necessária para procedermos com a comparação das respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) e respostas observadas ( $y_{O_i}$ ), considerando-se o modelo ajustado (Equação 4.9).

O modelo ajustado prevê o custo de manutenção predial em um ano  $t$  ( $CMP_t$ ) de uma série temporal. Ao aplicar esse modelo ao conjunto de treinamento (seção 3.3), obtêm-se um coeficiente de determinação  $R^2 = 89,25\%$ , e um coeficiente de determinação ajustado  $R_{aj}^2 = 89,14\%$  (Tabela 8), ou seja, as variáveis independentes ( $TD_{t-1}$ ,  $CMP_{t-1}$ ,  $OA_{t-2}$  e  $CMP_{t-4}$ ) explicam 89,14% das variações observadas na resposta ( $CMP_t$ ) (AZEVEDO, 2016).

Observa-se um acompanhamento das tendências entre os pontos (Figura 15) que representam o custo de manutenção predial ( $CMP$ ) observado ( $y_{O_i}$ ) e previsto pelo modelo ( $y_{P_i}$ ), quando considerado o set de treinamento (seção 3.3).

Figura 15 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) do treinamento para modelo (respostas até 2018).



Fonte: Autor.

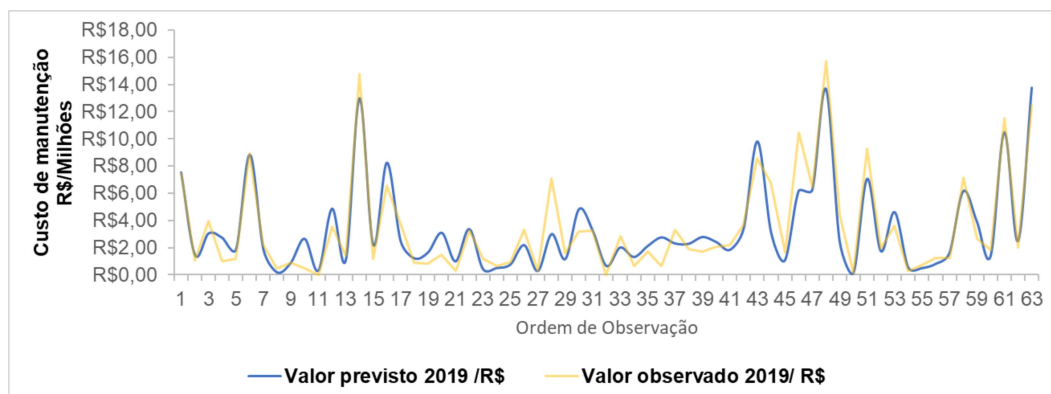
## 4.4 TESTE DO MODELO

Como já visto, o teste dos pressupostos estatísticos (subseção 4.3.1) e o teste de hipóteses (subseção 4.3.2) permitem a realização da previsão dos valores do custo de manutenção predial ( $CMP_t$ ) para além do período de treinamento (até 2018), obtendo-se respostas ( $y_{P_i}$ ) para os anos 2019, 2020 e 2021 através da Equação 4.9, aplicando-se o conjunto de teste (seção 3.3).

A obtenção das respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) no período de teste possibilita a comparação desses valores com as respostas observadas ( $y_{O_i}$ ) nos anos 2019 (Figura 16), 2020 (Figura 17) e 2021 (Figura 18)

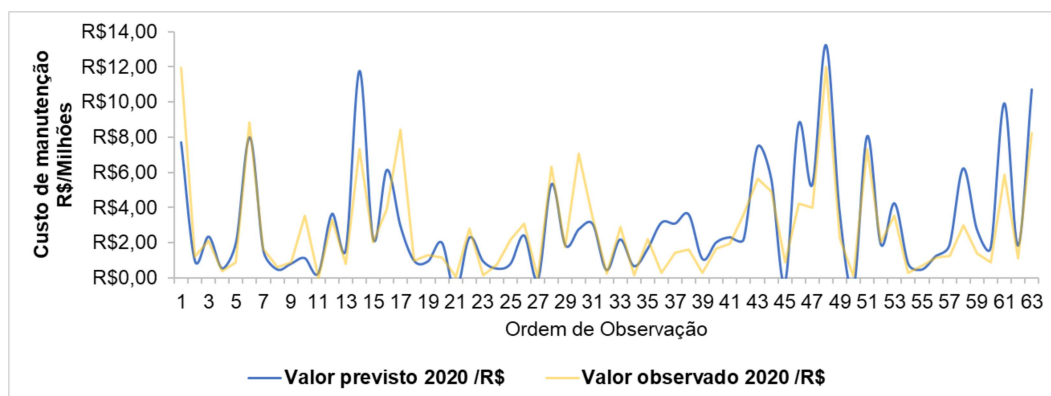


Figura 16 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2019.



Fonte: Autor.

Figura 17 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2020.



Fonte: Autor.

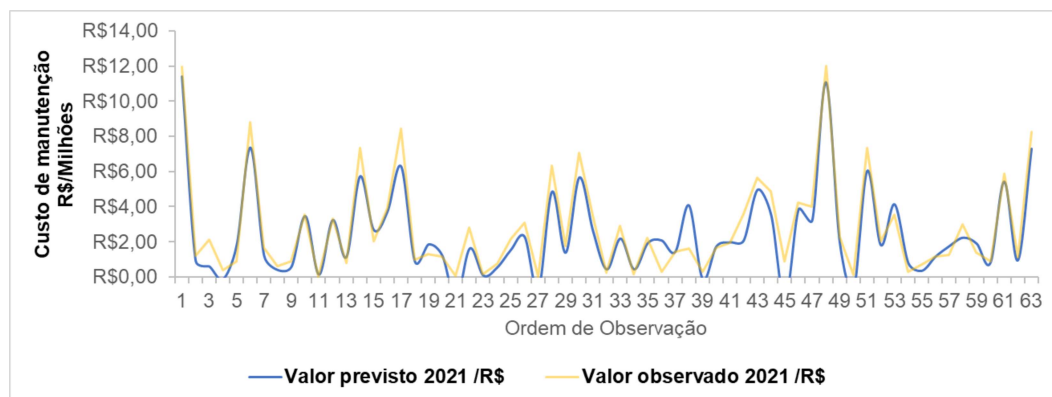
Os resultados do teste do modelo registrados na Tabela 10 (respostas previstas a partir de 2019) mostram uma correlação ( $R$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com classificação, no mínimo, "forte"(Quadro 3 e Quadro 4) entre os valores previstos ( $y_P$ ) e observados ( $y_O$ ), indicando uma boa aderência do modelo.

A forte correlação ( $R$ ) no período de teste é observada através da disposição dos valores das respostas observadas ( $y_{O_i}$ ) com as respostas previstas ( $y_{P_i}$ ) (Figura 19) entre 2019 e 2021.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, foram desenvolvidos os estudos para averiguar a significância estatística do modelo proposto para previsão do custo de manutenção predial no ano  $t$  ( $CMP_t$ ) nas IFESs. O modelo ajustado é submetido à avaliação de pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1) e teste

Figura 18 – Comparação entre os valores observados ( $y_{O_i}$ ) e os previstos ( $y_{P_i}$ ) para modelo em 2021.



Fonte: Autor.

Tabela 10 – Coeficiente de Correlação ( $R$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre dados observados ( $y_O$ ) e previstos ( $y_P$ ) do modelo ano a ano.

Ano	Correlação (R)	Determinação (R <sup>2</sup> )	Classificação
2013	93,8%	88,1%	Fortíssima
2014	93,9%	88,2%	Fortíssima
2015	96,8%	93,6%	Fortíssima
2016	80,9%	65,5%	Forte
2017	93,7%	87,7%	Fortíssima
2018	94,2%	88,7%	Fortíssima
2019	93,6%	87,6%	Fortíssima
2020	83,3%	69,5%	Forte
2021	79,1%	62,5%	Forte
<b>Treinamento (2013 a 2018)</b>	<b>91,0 %</b>	<b>82,8%</b>	<b>Fortíssima</b>
<b>Teste (2019 a 2021)</b>	<b>86,4%</b>	<b>74,6%</b>	<b>Forte</b>
<b>Total (2013 a 2021)</b>	<b>90,4%</b>	<b>81,8%</b>	<b>Fortíssima</b>

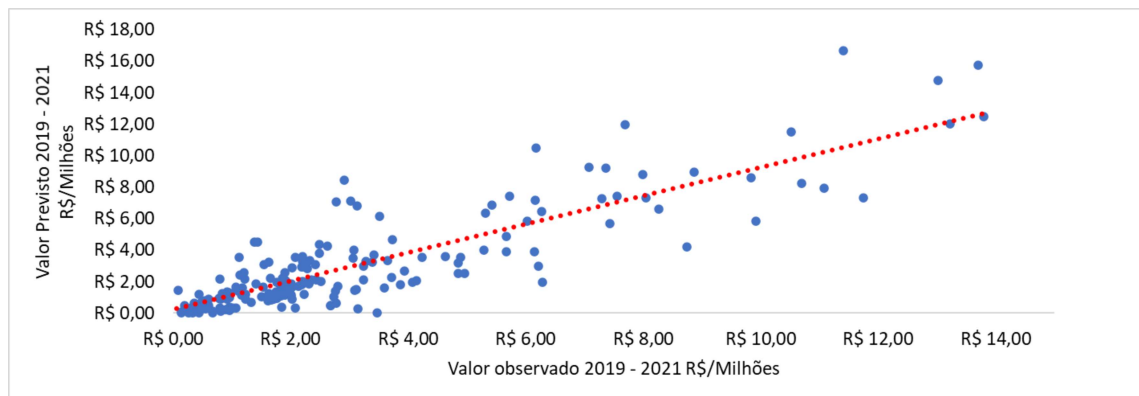
Fonte: Autor.

de hipóteses (subseção 3.2.1) que devem obrigatoriamente ser atendidos simultaneamente para assegurar o seu significado estatístico.

Para o treinamento do modelo, foi proposto um fluxograma (Figura 10) que intenciona encontrar o melhor ajuste do modelo, atentando para o princípio da parcimônia (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

Segundo Ribon et al. (2014), os principais procedimentos de seleção/eliminação de variáveis são os métodos: *backward*, *forward* e *stepwise*. Verificou-se que a equação final é a mesma utilizando qualquer um dos métodos, sendo definido a utilização do *backward* neste trabalho.

Da base de dados analisada (seção 3.3), cuja informação explorada possibilita a construção de modelo com 32 variáveis independentes ( $x_j$ ) (Equação 4.1), observa-se, após treinamento (da-

Figura 19 – Valores previstos ( $y_P$ ) versus valores observados ( $y_O$ ) no teste do modelo.

Fonte: Autor.

dos previstos até 2018), a redução para modelo com 4 variáveis independentes ( $x_j$ ) (Equação 4.9) que atendem aos pressupostos estatísticos (subseção 4.3.1) e teste de hipóteses (subseção 4.3.2).

Verifica-se que o resultado para o custo de manutenção predial previsto ( $CMP_t$ ) é fortemente influenciado pela mesma grandeza observada no ano imediatamente anterior ( $CMP_{t-1}$ ). Na prática, isso significa haver uma correlação ( $R$ ) forte entre essas variáveis. Essa relação pode ser explicada pelo método atualmente praticado pelos gestores das IFESs, onde se infere que o valor do custo da manutenção predial ( $CMP$ ) deve ser, na medida do possível, com pouca variação ao longo dos anos ( $t$ ).

Observa-se que os anos de 2016, 2020 e 2021 foram os anos que os resultados tiveram as menores aderências ao modelo (Tabela 10). A baixa aderência dos dados de 2016 pode ser explicada por ocorrência de uma queda acentuada no custo de manutenção predial ( $CMP$ ) em 2016 em uma das IFESs (Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)), que teve o valor reduzindo de R\$ 30 403 263, 84 em 2015 para R\$ 10 203 754, 95 em 2016, mantendo a tendência de queda nos anos seguintes.

A média do custo de manutenção predial ( $CMP$ ) de 2009 até 2015 dessa IFES era R\$ 22 615 564, 86 e, após esse ano, reduziu para R\$ 3 771 530, 56. Não se apurou o motivo dessa variação, sendo possível elencar uma reclassificação da composição das naturezas de despesas, conforme visto na subseção 2.3.3, a principal suspeita. Dessa forma, a IFES poderia ter começado a considerar como significativa outra natureza de despesa na composição do custo de manutenção predial ( $CMP$ ).

Outro fator que explica essa baixa na aderência ao modelo (Tabela 10) é que a expectativa (Figura 3) para o custo de manutenção predial nas IFESs era manter a tendência crescente (2009 - 2014), no entanto, em 2015 houve uma redução desses custos e isso afetou a previsão da resposta ( $y_P$ ) para 2016.

Já a baixa correlação ( $R$ ) dos dados em 2020 e 2021 pode ser explicado pela ocorrência da pandemia do coronavírus<sup>a</sup>, que acarretou rígidas políticas de isolamento social, o uso do regime do trabalho remoto, a suspensão das aulas, dentre outras mudanças que esvaziaram os espaços físicos das instituições. Somado a isso, a crise financeira ocasionada pela pandemia pode também ter afetado o repasse para as instituições públicas e implicado diretamente nos contratos de serviços pagos com despesas discricionárias.

Entretanto, constata-se, após as avaliações, que o modelo está bem ajustado considerando a previsão da resposta para o ano  $t$  ( $CMP_t$ ). Portanto, o modelo desenvolvido pode ser utilizado como uma ferramenta para realizar a predição do custo de manutenção predial ( $CMP$ ), auxiliando o planejamento das tarefas de manutenção das IFESs.

---

<sup>a</sup> Os coronavírus (CoV) são uma ampla família de vírus que podem causar uma variedade de condições, do resfriado comum a doenças mais graves, como a síndrome respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV) e a síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV). O novo coronavírus (nCoV) é uma nova cepa de coronavírus que havia sido previamente identificada em humanos. Conhecido como 2019-nCoV ou COVID-19, ele só foi detectado após a notificação de um surto em Wuhan, China, em dezembro de 2019. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/topicos/coronavirus>>. Acesso em: 28/11/2021.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho propõe um modelo para realizar a previsão do custo de manutenção predial (*CMP*) nas IFESs. A estrutura obtida para o modelo proposto se apresenta de forma robusta e com resultados com acurácia adequada, o que está evidenciado através da avaliação dos pressupostos estatísticos (subseção 3.1.1 - subseção 4.3.1) e do teste de hipóteses (subseção 3.2.1 - subseção 4.3.2) do modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM).

A aplicação desse modelo proposto (RLM) permitirá aos gestores das IFESs a realização de uma estimativa eficiente para o custo de manutenção predial (*CMP*), em um determinado ano  $t$ , possibilitando um melhor planejamento do serviço de manutenção, e, conseqüentemente, otimizando os recursos públicos destinados para este fim.

Existe uma convenção entre os gestores das IFESs em utilizar as informações dos anos pregressos do custo de manutenção predial ( $CMP_{t-1}$ ,  $CMP_{t-2}$ ,  $CMP_{t-3}$  e  $CMP_{t-4}$ ) para estimar o valor no ano  $t$  ( $CMP_t$ ), considerando-se o ciclo de 4 anos estabelecido pelo Plano Plurianual (PPA). Dessa convenção, é adotado um modelo matemático que utiliza as variáveis como entrada ( $x_j$ ) e resposta ( $y_P$ ), acrescentando-se outras variáveis informativas das IFESs que por ventura possam influenciar no custo de manutenção predial (*CMP*) (Quadro 2).

Os resultados obtidos apresentam consistência na previsão do custo da manutenção predial (*CMP*) para o ano  $t$ , pois, uma vez ajustados os parâmetros do modelo, verifica-se que o modelo pode prever de forma satisfatória a resposta ( $y_P$ ), fato constatado mediante a análise de  $R$  e  $R^2$ , e a comparação desses resultados com os valores observados ( $y_O$ ). O resultado da previsão mostra um modelo com coeficiente de correlação ( $R$ ) de 90,4 % e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 81,8 % (Tabela 10).

Os resultados são promissores, pois, ao aplicar a convenção dos gestores das IFESs, ou seja, a utilização do custo de manutenção predial do ano  $t - 1$  ( $CMP_{t-1}$ ) como único critério de previsão do custo de manutenção predial no ano  $t$  ( $CMP_t$ ), os resultados experimentais apresentam coeficiente de correlação ( $R$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), respectivamente, 89,7 % e 80,5 %. A comparação entre o resultado da previsão do modelo (Equação 4.9) e a aplicação da convenção dos gestores, observa-se, portanto, uma melhora nos resultados da previsão.

Diferente dos resultados de uma abordagem com a previsão empírica, que possui um componente subjetivo, podendo variar conforme a estratégia de cada gestor, o modelo proposto para a previsão se caracteriza como uma ferramenta objetiva para a tomada de decisão. O modelo proposto possibilita, de uma maneira direta, que os gestores das IFESs atuem adequadamente por meio das informações observadas ( $y_O$ ) e previstas ( $y_P$ ).

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento deste trabalho e das investigações aqui conduzidas, destacam-se os possíveis desdobramentos para trabalhos futuros:

- Investigar se todas as IFESs classificam corretamente as naturezas de despesas, as receitas orçamentárias e as contas contábeis, uniformizando-se as informações e aproximando os dados a uma real execução dos recursos.
- Estudar, aplicar e comparar com outras técnicas de modelagem para o caso estudado, como, por exemplo, as técnicas aplicadas por meio de modelos não lineares.
- Identificar e separar as IFESs de acordo as características que influenciam diretamente a execução e gerenciamento da manutenção, tais como: o porte (grande, média ou pequena), a quantidade e localizações (capital ou interior) dos Campi, o modelo de contrato do serviço de manutenção, os indicadores dos serviços de manutenção (corretiva ou preventiva), dentre outras. A partir dessa separação, avaliar os modelos matemáticos para cada caso.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, T. et al. Rede neural stepwise-artmap fuzzy aplicada ao problema de previsão de cargas elétricas. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 3, n. 1, 2015.
- ABREU, W. G. de. **IDENTIFICAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS ÀS EDIFICAÇÕES**. 169 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ, 2012.
- ALVES, M. F. Previsão de demanda de cargas elétricas por seleção de variáveis stepwise e redes neurais artificiais. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2013.
- AMARAL, N. C. **Financiamento da educação superior: estado x mercado**. 1. ed. [S.l.]: Cortez Editora, 2003.
- AMATO, F.; MODZELESKI, A. **Universidades, fiscalização, policiamento nas estradas: veja serviços parados ou reduzidos por falta de dinheiro federal**. 2017. Disponível em: <<https://glo.bo/3rG3I2G>>. Acesso em: 30 março 2021.
- ARAUJO, J. J. A. **Modelo para Predição de Indicadores de Continuidade em um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, uma Aplicação à Gestão de Manutenção com a Perspectiva do uso da Termografia**. 146 p. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Salvador - BA, 2016.
- ARAUJO, P. G. de. A manutenção predial nas edificações públicas, um estudo sobre a legislação. **E&S Engineering and Science**, v. 3, n. 1, p. 85–93, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-2**: Avaliação de bens parte 2: Imóveis urbanos. [S.l.], 2011. 54 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações - requisitos para o sistema de gestão de manutenção. [S.l.], 2012. 31 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. [S.l.], 2014. 22 p.
- AZEVEDO, P. R. M. d. **Introdução à estatística**. 3. ed. [S.l.]: EDUFERN, 2016.
- BAPTISTELLA, M. **O uso de redes neurais e regressão linear múltipla na engenharia de avaliações: determinação dos valores venais de imóveis urbanos**. 123 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2005.
- BERENSON, M. L.; LEVINE, D.; STEPHAN, D. Estatística: teoria e aplicações usando microsoft excel em português. **Rio de Janeiro: LTC, Machado, DC**, 2005.
- BIAGGI, M.; MEDVID, M.; ASSIS, C. Fator de inflação da variância e regressões auxiliares para diagnóstico do problema de multicolinearidade nos modelos de regressão. In: **Anais XIX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–26.
- BIPM, I.; IFCC, I.; ISO, I. **Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**. Joint Committee for Guides in Metrology. [S.l.], 2008.

- BONAMENTE, M. **Statistics and analysis of scientific data**. [S.l.]: Springer, 2017.
- BOX, G. E. et al. **Time series analysis: forecasting and control**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- BRACARENSE, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. [S.l.]: Iesde Brasil Sa, 2012.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 8.666/93**. Brasília, DF, 1993.
- BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 6.096**. Brasília, DF, 2007.
- BRASIL. Presidência da República. **Emenda Constitucional nº 95/16**. Brasília, DF, 2016.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União/Plenário. **Acórdão nº 2573/19**. Brasília, DF, 2019.
- CARLINO, A. E. **Melhoria dos processos de manutenção em prédios públicos**. 153 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2012.
- CHATTERJEE, S.; HADI, A. S. **Regression analysis by example**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- COUTINHO, L. S. d. A. L. et al. Modelagem do tempo de execução de obras civis: estudo de caso na universidade federal do pará. **Ambiente Construído**, SciELO Brasil, v. 12, n. 1, p. 243–256, 2012.
- DEKKING, F. M. et al. **A Modern Introduction to Probability and Statistics: Understanding why and how**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005.
- ESQUERRE, K. P. S. O. R. **Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas e de redes neurais na modelagem de um sistema de tratamento de efluentes industriais**. 134 p. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.
- FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total**. [S.l.]: Makron Books, 1994.
- FERREIRA, F. M. C. **Modelo para gestão de manutenção predial em Universidades Públicas: Caso das IFES Mineiras**. 187 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2017.
- FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M. What does the p value really mean? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (Brazilian Thoracic Society), v. 41, n. 5, p. 485, 2015.
- FILHO, F. d. H. B. A crise econômica de 2014/2017. **Estudos Avançados**, scielo, v. 31, p. 51 – 60, 04 2017. ISSN 0103-4014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142017000100051&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100051&nrm=iso)>.
- FLORIANO, E. P. et al. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 16, n. 2, p. 177–199, 2006.
- GUEDES, M. F. **A Propensão ao Financiamento Através de Cartões de Crédito**. 124 p. Dissertação (Mestrado) — FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, São Paulo - SP, 2005.
- HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. [S.l.]: Bookman editora, 2009.
- HOWARTH, P. et al. metrology—in short. **EURAMET project**, v. 1011, 2008.



- IAFFE, Â. et al. Quantificação do efeito dos elementos agrometeorológicos na produção de um ensaio de café em ribeirão preto - sp. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**. Poços de Caldas, Minas Gerais: [s.n.], 2000.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. et al. **Applied multivariate statistical analysis**. [S.l.]: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, 2002. v. 5.
- JUNG, C. Metodologia científica: Ênfase em pesquisa tecnológica. 3 ed. **Revisada e Ampliada**, 2003.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - função estratégica**. 2. ed. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2006.
- LESSA, A.; SOUZA, H. L. Gestão da manutenção predial: uma aplicação prática. **Rio de Janeiro: Editora Qualitymark**, 2010.
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. Estatística: teoria e aplicações. **Rio de Janeiro: LTC**, 2000.
- LIMA, L. F.; JORGE, P. R. A influência do fator humano na implantação de novos procedimentos no gerenciamento de obras públicas. **I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**, v. 1, 1999.
- LIMA, M. R. de C. Impactos econômicos do estágio atual da cultura da manutenção predial no Brasil. In: **XIV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Manutenção Predial no Brasil**. Salvador - BA, Brasil: [s.n.], 2007.
- MAGALHÃES, E. F. A. **Modelagem e Simulação de Indicadores de Continuidade: Ferramenta Auxiliar para a Manutenção em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 142 p. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Salvador - BA, 2017.
- MARTINS, M. E. G. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 2, p. 69, 2014.
- MEC/SESU/DIFES. Programa de apoio a planos de reestruturação e expansão das universidades federais - relatório de primeiro ano. **Brasília, DF, REUNI**, 2008.
- MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2010.
- MILOCA, S.; CONEJO, P. Análise fatorial e a multicolinearidade em modelos de regressão. **XIII ERMAC - Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**, Pato Branco - PR, v. 13, 2009.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 521 p.
- MOREIRA, L. F. Multicolinearidade em análise de regressão. **Anais do XII ERMAC**, ERMAC Foz do Iguaçu, p. 61–75, 2008.

- NAHMIAS, S. Production & operations analysis 6th edición mc graw-hill. **New York**, 2009.
- NOBLAT, P. L. D.; BARCELOS, C. L. K.; SOUZA, B. C. G. d. **Orçamento Público: Conceitos Básicos**. Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 2014. 93 p. Disponível em: <<http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2164>>.
- OLIVEIRA, A. B. de. **Melhoria do processo Hatschek, por meio de tratamento de dados históricos, para fabricação de telhas onduladas**. 100 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2010.
- OLIVEIRA, A. G. d.; MAGALHÃES, R. d. S. Gerenciamento da manutenção em universidades públicas federais: Revisão bibliográfica. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - XXVI SIMPEP**. Bauru - SP, Brasil: [s.n.], 2019. ISSN 1809-7189.
- OLIVEIRA, A. G. d.; MAGALHÃES, R. d. S. Previsão do custo de manutenção em universidades públicas federais através de modelagem por regressão linear. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - XXVII SIMPEP**. Bauru - SP, Brasil: [s.n.], 2020. ISSN 1809-7189.
- OLIVEIRA, A. G. de. **Informações das IFES do Brasil para ajuste de modelo RLM**. Zenodo, 2022. Disponível em: <[https://zenodo.org/record/7049775#.YxWrhGXMI\\_4](https://zenodo.org/record/7049775#.YxWrhGXMI_4)>.
- PEREZ, N. B. **Aplicação de Ferramentas Estatísticas para Análise de Produtividade em um Centro de Distribuição**. 2014. Monografia (Bacharel em Engenharia Química), USP (Universidade de São Paulo), Lorena - SP, Brazil.
- PETRINI, J. et al. Degree of multicollinearity and variables involved in linear dependence in additive-dominant models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 47, n. 12, p. 1743–1750, 2012.
- PIMENTA, C. D. et al. Planejamento de experimentos (doe) aplicado no processo de têmpera e revenimento de arames de aço sae 9254. **Jânus**, v. 5, n. 8, 2008.
- PUJADAS, F. Z. A.; GOMIDE, T. L. F.; NETO, J. C. P. F. Técnicas de inspeção e manutenção predial. **São Paulo**, 2006.
- RIBON, A. A. et al. Seleção de método estatístico para modelos de estimativa da. **Revista de Agricultura**, v. 89, n. 1, p. 29–40, 2014.
- SAES, F. Comissionamento de edificações. **Pini, Mario Sergio et al. Manutenção Predial**. São Paulo, p. 29–33, 2011.
- SCHWAAB, M.; PINTO, J. C. **Análise de Dados Experimentais: I. Fundamentos de Estatística e Estimção de Parâmetros**. [S.l.]: Editora E-papers, 2007.
- SECRETARIA DE ORÇAMENTO FEDERAL Ministério da Economia. **Manual Técnico de Orçamento**. 3. ed. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<https://www1.siop.planejamento.gov.br/mto/lib/exe/fetch.php/mto2021:mto2021-versao3.pdf>>.
- SECRETARIA DO TESOUREIRO NACIONAL Ministério da Fazenda. **Manual de Contabilidade Aplicada ao Setor Público**. 8. ed. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://www.tesourotransparente.gov.br/publicacoes/manual-de-contabilidade-aplicada-ao-setor-publico-mcasp/2019/26>>.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S.; ULLMAN, J. B. **Using multivariate statistics**. [S.l.]: pearson Boston, MA, 2007. v. 5.

TEIXEIRA, C. F. A. et al. Estatística de mallows na seleção de modelos de predição da precipitação média mensal e anual no rio grande do sul. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 145–153, 2013.

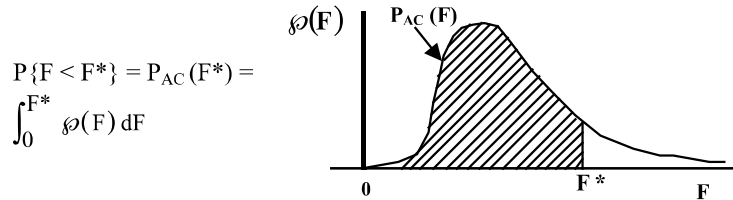
VIEIRA, R. F. **Regressão linear múltipla aplicada na solução da cavitação no medidor de fluxo coriolis do sistema de MPD**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Petróleo), UFF (Universidade Federal Fluminense), Niterói - RJ, Brazil.

WASSERMAN, L. **All of statistics: a concise course in statistical inference**. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2004.

## **Anexos**

**ANEXO A – TABELAS PARA TESTE F COM NÍVEL DE CONFIANÇA DE 0,95**

Figura A.1 – Valores para as probabilidades acumuladas.

**Tabela A.4d** – A Distribuição F -  $P_{AC}(F^*) = 0.95$ 

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353
3	10.1280	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867
4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942
5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759
6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067
7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870
8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066
16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767
19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435
20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638
23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047
26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883
27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732
28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593
29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868
$\infty$	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096

Figura A.2 – Valores para as probabilidades acumuladas (cont. 1).

**Tabela A.4d** (cont.) – A Distribuição F -  $P_{AC}(F^*) = 0.95$ 

$v_2 \backslash v_1$	8	9	10	12	15	20
1	238.88	240.54	241.88	243.91	245.95	248.01
2	19.371	19.385	19.396	19.413	19.429	19.446
3	8.8452	8.8123	8.7855	8.7446	8.7029	8.6602
4	6.0410	5.9988	5.9644	5.9117	5.8578	5.8025
5	4.8183	4.7725	4.7351	4.6777	4.6188	4.5581
6	4.1468	4.0990	4.0600	3.9999	3.9381	3.8742
7	3.7257	3.6767	3.6365	3.5747	3.5108	3.4445
8	3.4381	3.3881	3.3472	3.2840	3.2184	3.1503
9	3.2296	3.1789	3.1373	3.0729	3.0061	2.9365
10	3.0717	3.0204	2.9782	2.9130	2.8450	2.7740
11	2.9480	2.8962	2.8536	2.7876	2.7186	2.6464
12	2.8486	2.7964	2.7534	2.6866	2.6169	2.5436
13	2.7669	2.7144	2.6710	2.6037	2.5331	2.4589
14	2.6987	2.6458	2.6021	2.5342	2.4630	2.3879
15	2.6408	2.5876	2.5437	2.4753	2.4035	2.3275
16	2.5911	2.5377	2.4935	2.4247	2.3522	2.2756
17	2.5480	2.4943	2.4499	2.3807	2.3077	2.2304
18	2.5102	2.4563	2.4117	2.3421	2.2686	2.1906
19	2.4768	2.4227	2.3779	2.3080	2.2341	2.1555
20	2.4471	2.3928	2.3479	2.2776	2.2033	2.1242
21	2.4205	2.3660	2.3210	2.2504	2.1757	2.0960
22	2.3965	2.3419	2.2967	2.2258	2.1508	2.0707
23	2.3748	2.3201	2.2747	2.2036	2.1282	2.0476
24	2.3551	2.3002	2.2547	2.1834	2.1077	2.0267
25	2.3371	2.2821	2.2365	2.1649	2.0889	2.0075
26	2.3205	2.2655	2.2197	2.1479	2.0716	1.9898
27	2.3053	2.2501	2.2043	2.1323	2.0558	1.9736
28	2.2913	2.2360	2.1900	2.1179	2.0411	1.9586
29	2.2783	2.2229	2.1768	2.1045	2.0275	1.9446
30	2.2662	2.2107	2.1646	2.0921	2.0148	1.9317
40	2.1802	2.1240	2.0772	2.0035	1.9245	1.8389
60	2.0970	2.0401	1.9926	1.9174	1.8364	1.7480
120	2.0164	1.9588	1.9105	1.8337	1.7505	1.6587
$\infty$	1.9384	1.8799	1.8307	1.7522	1.6664	1.5705

Figura A.3 – Valores para as probabilidades acumuladas (cont. 2).

**Tabela A.4d** (cont.) - A Distribuição F -  $P_{AC}(F^*) = 0.95$ 

$V_2 \backslash V_1$	24	30	40	60	120	$\infty$
1	249.05	250.09	251.14	252.20	253.25	254.32
2	19.454	19.462	19.471	19.479	19.487	19.496
3	8.6385	8.6166	8.5944	8.5720	8.5494	8.5265
4	5.7744	5.7459	5.7170	5.6878	5.6581	5.6281
5	4.5272	4.4957	4.4638	4.4314	4.3984	4.3650
6	3.8415	3.8082	3.7743	3.7398	3.7047	3.6688
7	3.4105	3.3758	3.3404	3.3043	3.2674	3.2298
8	3.1152	3.0794	3.0428	3.0053	2.9669	2.9276
9	2.9005	2.8637	2.8259	2.7872	2.7475	2.7067
10	2.7372	2.6996	2.6609	2.6211	2.5801	2.5379
11	2.6090	2.5705	2.5309	2.4901	2.4480	2.4045
12	2.5055	2.4663	2.4259	2.3842	2.3410	2.2962
13	2.4202	2.3803	2.3392	2.2966	2.2524	2.2064
14	2.3487	2.3082	2.2664	2.2230	2.1778	2.1307
15	2.2878	2.2468	2.2043	2.1601	2.1141	2.0658
16	2.2354	2.1938	2.1507	2.1058	2.0589	2.0096
17	2.1898	2.1477	2.1040	2.0584	2.0107	1.9604
18	2.1497	2.1071	2.0629	2.0166	1.9681	1.9168
19	2.1141	2.0712	2.0264	1.9796	1.9302	1.8780
20	2.0825	2.0391	1.9938	1.9464	1.8963	1.8432
21	2.0540	2.0102	1.9645	1.9165	1.8657	1.8117
22	2.0283	1.9842	1.9380	1.8895	1.8380	1.7831
23	2.0050	1.9605	1.9139	1.8649	1.8128	1.7570
24	1.9838	1.9390	1.8920	1.8424	1.7897	1.7331
25	1.9643	1.9192	1.8718	1.8217	1.7684	1.7110
26	1.9464	1.9010	1.8533	1.8027	1.7488	1.6906
27	1.9299	1.8842	1.8361	1.7851	1.7307	1.6717
28	1.9147	1.8687	1.8203	1.7689	1.7138	1.6541
29	1.9005	1.8543	1.8055	1.7537	1.6981	1.6377
30	1.8874	1.8409	1.7918	1.7396	1.6835	1.6223
40	1.7929	1.7444	1.6928	1.6373	1.5766	1.5089
60	1.7001	1.6491	1.5943	1.5343	1.4673	1.3893
120	1.6084	1.5543	1.4952	1.4290	1.3519	1.2539
$\infty$	1.5173	1.4591	1.3940	1.3180	1.2214	1.0000





**UFBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI**

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: [pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)

Home page: <http://www.pei.ufba.br>