



**ESTIMATIVA PARAMÉTRICA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE PISTAS DE  
POUSOS E DECOLAGENS**

**LEONARDO DE OLIVEIRA SANTANA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA PARAMÉTRICA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE  
PISTAS DE POUSOS E DECOLAGENS**

**LEONARDO DE OLIVEIRA SANTANA**

**ORIENTADOR: FRANCISCO GILDEMIR SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-002/2024  
BRASÍLIA/DF: JUNHO/2024**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA PARAMÉTRICA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE  
PISTAS DE POUSOS E DECOLAGENS**

**LEONARDO DE OLIVEIRA SANTANA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE/DOCTOR EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**FRANCISCO GILDEMIR SILVA, Dr., (UFC)  
(ORIENTADOR)**

---

**REINALDO CRISPINIANO GARCIA, Dr., (UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**VIVIANE ADRIANO FALCÃO, Dra, (UFC)  
(EXAMINADORA EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 21 de JUNHO de 2024.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTANA, LEONARDO DE OLIVEIRA

Estimativa paramétrica de custos de construção de pista de pousos e decolagens.  
Brasília, 2024.

xiii, 94p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, ANO).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Pista de Pouso e Decolagem

2 – Estimativa Paramétrica

3 – Regressão Linear Múltipla

4 – Avaliação de Viabilidade

I – ENC/FT/UnB

II – Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTANA, L. O. (2024). Estimativa paramétrica de custos de construção de pista de pousos e decolagens. Publicação T.DM-002/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Leonardo de Oliveira Santana

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estimativa paramétrica de custos de construção de pista de pousos e decolagens.

GRAU: Mestre

ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Leonardo de Oliveira Santana

leodfsantana@yahoo.com.br

Anexo SG-12, 1º andar. Campus Universitário Darcy Ribeiro Asa Norte: Brasília: Distrito Federal: 70910-900: Brasil. Email: ppgt@unb.br

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão do meu mestrado. Este percurso foi marcado por desafios e aprendizados, e cada um que esteve ao meu lado foi fundamental para que eu pudesse chegar até aqui.

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a força, a sabedoria e a paciência necessárias para superar cada obstáculo encontrado ao longo desta jornada. Sua presença constante foi a fonte de luz que iluminou meu caminho nos momentos mais difíceis, e sua graça me proporcionou a paz e a serenidade para seguir em frente.

À minha mãe, minha eterna fonte de inspiração e apoio incondicional. Sua dedicação, amor e sacrifícios sempre me motivaram a buscar o melhor de mim mesmo. Sou eternamente grato por todo carinho, incentivo e compreensão que sempre demonstrou. Seu exemplo de determinação e resiliência foi um farol guiando-me nos dias de tempestade.

Ao meu professor orientador, Francisco Gildemir, expresso meu sincero agradecimento por sua orientação competente e paciência ao longo de todo o processo de pesquisa. Suas valiosas contribuições, críticas construtivas e encorajamento foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço a confiança depositada em mim e por ter sido uma verdadeira fonte de conhecimento e inspiração.

À minha esposa, Danuza, minha eterna companheira e melhor amiga. Agradeço por seu amor, apoio e compreensão durante os momentos mais desafiadores desta jornada. Sua presença ao meu lado foi um alicerce fundamental que me manteve firme e motivado. Obrigado por acreditar em mim e por compartilhar comigo cada conquista e cada dificuldade superada.

Agradeço ao PPGT por proporcionar um ambiente acadêmico enriquecedor e por todo o suporte oferecido. Agradeço também aos colegas de curso e professores por contribuírem com suas ideias e discussões, que ampliaram minha visão e enriqueceram meu aprendizado.

Por fim, agradeço à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pelo apoio e incentivo à pesquisa, e por acreditar na importância do desenvolvimento acadêmico para o setor de aviação

civil. O suporte fornecido foi essencial para a realização deste estudo, e espero que os resultados aqui apresentados possam contribuir de alguma forma para o avanço do setor.

A todos, o meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

Este estudo propõe o desenvolvimento de um modelo paramétrico para prever os custos de construção ou expansão de um elemento chave da infraestrutura aeroportuária, notadamente a pista de pouso e decolagem (PPD). Inicialmente, destaca-se a importância estratégica dos aeroportos para o desenvolvimento econômico e social, especialmente no contexto brasileiro, onde a gestão privada tem ganhado relevância. Além disso, enfatiza-se a singularidade deste trabalho, que aborda de maneira especializada as complexidades da infraestrutura aeroportuária, preenchendo uma lacuna na literatura devido à necessidade de especificidade de estudos nesse campo somada a natureza sigilosa dos custos envolvidos. Adicionalmente, a importância de estimativas precisas de custos é discutida, destacando sua influência nas decisões gerenciais e na viabilidade de projetos de infraestrutura aeroportuária. Para o desenvolvimento do modelo, optou-se pelo método paramétrico devido às suas vantagens comparativas em relação a outras metodologias, com destaque para a possível simplicidade e transparência. Utilizando a técnica de regressão linear múltipla, são desenvolvidos modelos que consideram variáveis como área da pista, classificação do pavimento e localização do aeroporto. Os custos associados às obras de expansão e construção de PPDs foram obtidos a partir de dados da estatal brasileira de gestão aeroportuária (INFRAERO) e de orçamentos dos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental para o programa de concessões de aeroportos brasileiros. Cabe destacar que esses dados frequentemente são não consolidados, incompletos ou não aplicáveis, exigindo uma análise extensa e criteriosa no processo de tratamento e seleção das informações. Os resultados do estudo demonstram a eficácia e viabilidade dos modelos propostos para prever os custos envolvidos na construção ou expansão de PPDs, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9 para alguns casos. No entanto, alguns serviços específicos, como terraplenagem e sinalização, enfrentaram desafios significativos em sua modelagem, devido, principalmente, à limitação de dados disponíveis. A contribuição deste estudo para a compreensão e aprimoramento da gestão e desenvolvimento da infraestrutura aeroportuária é representativa.

Palavras-chave: Pista de Pouso e Decolagem, Estimativa Paramétrica, Regressão Linear Múltipla, Avaliação de Viabilidade.

## ABSTRACT

This study proposes the development of a parametric model to predict the costs of constructing or expanding a key element of airport infrastructure, notably the runway. Initially, the strategic importance of airports for economic and social development is highlighted, especially in the Brazilian context, where private management has become increasingly relevant. Additionally, the uniqueness of this work is emphasized, as it addresses the complexities of airport infrastructure in a specialized manner, filling a gap in the literature due to the need for specificity in studies in this field combined with the confidential nature of the costs involved. Furthermore, the importance of accurate cost estimates is discussed, emphasizing their influence on managerial decisions and the viability of airport infrastructure projects. For the development of the model, the parametric method was chosen due to its comparative advantages over other methodologies, particularly its potential simplicity and transparency. Using multiple linear regression technique, models are developed considering variables such as runway area, pavement classification, and airport location. The costs associated with runway construction and expansion were obtained from data provided by the Brazilian airport management state agency (INFRAERO) and budgets from Technical, Economic, and Environmental Feasibility Studies for the Brazilian airport concessions program. It is worth noting that these data are often unconsolidated, incomplete, or not applicable, requiring extensive and careful analysis in the process of data treatment and information selection. The study results demonstrate the effectiveness and feasibility of the proposed models in predicting the costs involved in the construction or expansion of runways, with coefficients of determination ( $R^2$ ) above 0.9 for some cases. However, some specific services, such as earthworks and signaling, faced significant challenges in their modeling, mainly due to the limitation of available data. The contribution of this study to the understanding and improvement of airport infrastructure management and development is significant.

Palavras-chave: Runway, Parametric Estimation, Multiple Linear Regression, Feasibility Assessment.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	4
1.2.1	Objetivo Geral .....	4
1.2.2	Objetivos Específicos .....	4
1.3	JUSTIFICATIVA .....	4
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	10
<b>2</b>	<b>ASPECTOS GERAIS DOS AEROPORTOS</b> .....	<b>11</b>
2.1	BREVE CONTEXTO DA GESTÃO AEROPORTUÁRIA BRASILEIRA.....	11
2.2	INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA .....	15
2.2.1	Aeródromo e Aeroporto .....	15
2.2.2	A pista de pouso e decolagem e singularidades das obras aeroportuárias .....	16
2.2.3	Segurança operacional e construções aeroportuárias .....	22
2.3	INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA, MODO AÉREO E A RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO.....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO QUANTO AOS MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE CUSTOS</b> .....	<b>28</b>
3.1	CUSTOS – MÉTODOS DE ESTIMATIVA.....	29
3.2	MÉTODO PARAMÉTRICO .....	33
3.2.1	Estudos com abordagens paramétricas para estimativas de custos .....	36
<b>4</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>39</b>
4.1	REGRESSÃO LINEAR .....	39
4.2	DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	43
4.3	DADOS .....	44
4.4	TRATAMENTO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS.....	48
4.5	DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	52
4.6	AVALIAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS E VALIDAÇÃO DOS MODELOS .....	53
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
5.1	MODELO CUSTO TOTAL.....	55
5.2	MODELO DE CUSTO POR ELEMENTO CONSTRUTIVO .....	59
5.2.1	Revestimento .....	59
5.2.2	Base .....	63
5.2.3	Terraplenagem.....	64
5.2.4	Sinalização .....	65
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	68
5.3.1	Modelo Custo Total.....	68

5.3.2	Modelo Custo por elemento construtivo .....	69
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS COLETADOS .....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE B – RESULTADOS GRETL .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 Resultado modelo custo total .....	55
Tabela 5.2 Resultado modelo de custo total ajustado .....	57
Tabela 5.3 Resultado modelo custo revestimento .....	60
Tabela 5.4 Resultado modelo custo revestimento com variáveis eliminadas .....	60
Tabela 5.5 Resultado modelo custo revestimento com variáveis eliminadas 2 .....	60
Tabela 5.6 Resultado modelo custo revestimento ajustado.....	61
Tabela 5.7 Resultado modelo custo da base.....	64
Tabela 5.8 Modelo para elasticidade de custos da base .....	64
Tabela 5.9 Resultado modelo custo da sinalização .....	65
Tabela 5.10 Resultado modelo custo da sinalização em função da área.....	66
Tabela 5.11 Modelo custo da sinalização ajustado .....	67
Tabela 5.12 Impacto da Sinalização no custo total .....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Investimento público e privado na Infraestrutura .....	5
Figura 1.2 Métodos de estimativas de custos por infraestrutura de transporte .....	7
Figura 1.3 Estudos de estimativas de custos distribuídos nos anos .....	8
Figura 2.1 Aeroporto esquematizado .....	16
Figura 2.2 Pavimento Flexível e Rígido.....	18
Figura 2.3 Diferenças entre pavimentos de aeroporto e rodovais .....	20
Figura 4.1 Método. ....	39
Figura 4.2 Portal licitações da INFRAERO. ....	44
Figura 4.3 Proposta Habilitada da licitação 171/LALI-1/SBFI/2019. ....	46
Figura 4.4 EVTEA. ....	47
Figura 4.5 Planilha orçamentaria do processo de licitação da INFRAERO. ....	48
Figura 4.6 Planilha orçamentária EVTEA. ....	49
Figura 4.7 Planilhas de custos conforme codificação. ....	49
Figura 4.8 Planilha de quantidades EVTEA. ....	50
Figura 5.1 Gráfico do modelo de previsões para o custo total. ....	56
Figura 5.2 Gráfico do modelo de previsões para o custo total ajustado.....	57
Figura 5.3 Resultados modelo de previsões para o custo total ajustado. ....	58
Figura 5.4 Gráfico do modelo de previsões para o custo do revestimento. ....	61
Figura 5.5 Gráfico do modelo de previsões para o custo do revestimento ajustado. ....	62
Figura 5.6 Resultado do modelo de previsões para o custo do revestimento ajustado. ....	63
Figura 5.7 Gráfico do modelo de previsões para o custo da sinalização. ....	66
Figura 5.8 Gráfico do modelo de previsões para o custo da sinalização. ....	67
Figura B.1 Resultado Gretl do modelo de custo total. ....	86
Figura B.2 Resultado Gretl do modelo de custo total ajustado. ....	87
Figura B.3 Resultado Gretl modelo custo revestimento. ....	88
Figura B.4 Resultado Gretl modelo custo revestimento com remoção de variáveis não significativas.....	89
Figura B.5 Resultado Gretl modelo custo revestimento ajustado. ....	90
Figura B.6 Resultado Gretl modelo custo da base. ....	91
Figura B.7 Resultado Gretl modelo custo terraplenagem. ....	92
Figura B.8 Resultado Gretl modelo custo da sinalização.....	93
Figura B.9 Resultado Gretl modelo custo da sinalização ajustado. ....	94

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AACE	Associação para o Desenvolvimento da Engenharia de Custos
ABDIB	Associação Brasileira de infraestrutura e indústria de base
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
CBR	<i>Case-based reasoning</i>
DAC	Departamento de Aeronáutica Civil
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnica, Econômico, Financeira e Ambiental
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FCD	Fluxo de caixa descontado
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ISPA	<i>International Society of Parametric Analysts</i>
INCC	Índice Nacional de Custo da Construção
LCCA	<i>Life Cycle Cost Analysis</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MCS	<i>Monte Carlo Simulation</i>
MLE	Máxima verossimilhança
MQO	Mínimos quadrados ordinários
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research Council</i>
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
PIB	Produto Interno Bruto
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>
PND	Programa Nacional de Desestatização
PPD	Pista de Pouso e decolagem
RA	<i>Regression analysis</i>
RBAC	Regulamento brasileiro da aviação civil
SARPs	<i>Standards and Recommended Practices</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
VPL	Valor presente líquido
WSDOT	<i>Washington State Department of Transportation</i>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Resumo aeroportos concedidos .....	13
Quadro 2.2 Casualidade entre transporte aéreo e desempenho econômico .....	26
Quadro 3.1 Classes de estimativas de custos .....	32
Quadro 3.2 Método paramétrico - vantagens .....	35

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento de um Estado, abrangendo tanto seus aspectos econômicos quanto sociais, é fortemente influenciado pelos investimentos em infraestrutura e sua disponibilidade. Ao longo de anos de estudos, a literatura tem destacado o papel crucial desempenhado pela infraestrutura na melhoria da produtividade, na redução dos custos de produção e transporte, no aumento da competitividade empresarial, bem como na diminuição da desigualdade e na melhoria da qualidade de vida (ASCHAUER, 1989; MUNNELL, 1992; CALDERÓN & SERVÉN, 2004; ESTACHE & FAY, 2007; IIMI & AHMED, 2016; RAMEY *et al.*, 2020; MEDEIROS *et al.*, 2021).

À medida que as economias buscam promover o desenvolvimento e superar desafios, a importância estratégica da infraestrutura se torna cada vez mais evidente. Especificamente no âmbito aeroportuário, o aeródromo desempenha um papel central, tanto como principal alvo de investimento quanto na sua função essencial na cadeia de processos desse modo de transporte, configurando-se como um elemento-chave quando se trata de infraestrutura, logística de cargas e transporte de passageiros. Em um contexto mais contemporâneo, o aeroporto evoluiu de sua função original de ponto de partida e chegada para tornar-se um centro multifuncional que impulsiona o comércio, o turismo e as conexões, adotando o conceito de aerótrópole proposto por Kasarda (2011). Portanto, compreender profundamente as nuances de aeroportos tornam-se cada vez mais imperativo para alinhar o desenvolvimento de Estados apoiadas em infraestruturas.

Nesse foco, e sustentado na suposição da administração privada eficiente, é possível perceber que gestão da infraestrutura aeroportuária brasileira tem passado por um significativo processo de transformação ao longo da última década, migrando da esfera estatal para uma de operação privada. Na esteira do contexto mundial, estima-se que haja mais de 600 aeródromos privatizados no mundo, com exemplos internacionais relevantes como Reino Unido, que a partir dos anos 80 iniciou o processo de privatização de seus aeroportos (SUGIMURA & KATO, 2022), ou a Austrália, que teve a maioria de seus aeroportos privatizados a partir de 1994

(NETO *et al.*, 2016). A concessão do Aeroporto Governador Aluizio Alves (SBSG/RN), em São Gonçalo do Amarante, em 2011, marcou o início de uma nova era na gestão aeroportuária brasileira, rumo à gestão privada, resultando em sete (7) rodadas de concessões, cada uma com características específicas, que, segundo dados da Casa Civil (BRASIL, 2022), resultaram na transferência de aproximadamente 91,6% da infraestrutura aeroportuária brasileira para a gestão não estatal.

A qualificação, seleção e atratividade dos projetos tornaram-se de suma importância dentro desse contexto. Assim, a viabilidade de um projeto inevitavelmente envolve uma análise criteriosa dos aspectos econômicos, financeiros e imponderáveis relacionados (CASAROTTO FILHO & KOPITKE, 2007). Na esfera da administração pública, esta etapa é comumente materializada no Estudo de Viabilidade Técnica, Econômico, Financeira e Ambiental (EVTEA), que utiliza métricas de valoração amplamente difundidas, como o Valor Presente Líquido (VPL) ou os Fluxos de Caixa Descontados (FCD) (DIXIT & PINDYCK, 1994; TRIGEORGIS, 1993; OPPENHEIMER, 2002).

Estreitamente relacionadas às avaliações de viabilidade, assim como às decisões tomadas nas outras fases dos projetos, estão as estimativas de custos de investimento. O custo estimado, por exemplo na fase preliminar, é determinante para a continuidade do projeto, uma vez que, juntamente com os retornos esperados, influencia a rentabilidade e deve, portanto, ser o mais precisa possível e confiável, além de exigir rapidez e fácil aplicação, dadas as necessidades de tomada de decisão tempestivas (KARSHENAS, 1984). Melhado e Agopyan (1995) reforçam esta ideia, ao pontuar a importância das estimativas precisas, destacando seu papel crucial para o sucesso do projeto, permitindo ajustes e decisões oportunas, além de possibilitar a avaliação de inovações tecnológicas e conceituais (CARDOSO & ABIKO, 2000).

Isto posto, quando se fala em estimativas em obras aeroportuárias, as práticas destacam alguns métodos de estimativa de custos, por exemplo, baseados em históricos de preços e composição de custos. No entanto, esses métodos exigem um vasto banco de dados sistematizados, que é exíguo na realidade brasileira, ou tempo e informações suficientes para a elaboração da composição, o que praticamente inviabiliza sua aplicação nas fases iniciais e conceituais do projeto (TRB, 2014).

Ainda mais, as estimativas de custo em diferentes estágios de um projeto evoluem progressivamente, tornando-se mais refinadas em termos de conceituação, detalhamento, precisão quantitativa e informação sobre preços unitários. Essa progressão resulta em estimativas de custo mais precisas ao longo do tempo, embora as estimativas preliminares, particularmente aquelas relacionadas à decisão de iniciar ou não um projeto, permaneçam sujeitas a incertezas substanciais. Consequentemente, é esperado que tais estimativas iniciais apresentem certa imprecisão. No entanto, quando o foco recai sobre a tomada de decisões estratégicas, é exatamente a estimativa de custo preliminar que se torna crucial, fornecendo a base para a definição de políticas e estratégias de investimento. Nesse contexto, equilibrar a necessidade de informações detalhadas com a urgência na tomada de decisões é um desafio (FLYVBJERG *et al.*, 2002).

Além disso, as estimativas de custos, especificamente para a infraestrutura aeroportuária do lado ar, “a parte do aeródromo utilizada para decolagem, pouso e taxi de aeronaves, consistindo na área de manobras e pátios de aeronaves” como definida pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil 154 (RBAC 154), adicionam complexidade ao desafio das estimativas, devido à especificidade e complexidade desses componentes. Portanto, são poucos os estudos dedicados à determinação de custos aceitáveis para esses elementos (MEMBAH & ASA, 2015).

Em acréscimo as complexidades das características aeroportuárias, a área de orçamento, como pontua Ribeiro (2014), é a atividade da indústria da construção em que pouco se identifica a troca de conhecimentos, de modo que as construtoras têm um incentivo a ocultar pontos-chaves de seus orçamentos, lucros e despesas, haja vista a vantagem competitiva relacionado a esse processo, dificultando a proliferação do conhecimento, obtenção de informações confiáveis e, por conseguinte, elaboração de trabalhos nesta seara.

Dessa forma, diante da importância das estimativas preliminares para projetos públicos e privados, da escassez de estudos dedicados especificamente à infraestrutura aeroportuária e do oportuno momento da gestão aeroportuária brasileira, este estudo visa propor um modelo capaz de estimar de forma rápida, eficiente e razoavelmente precisa os custos de construção ou ampliação da principal infraestrutura do aeródromo, a pista de pouso e decolagem.

Para isso, será aplicado um método paramétrico, devido às suas vantagens comparativas em termos de rapidez, facilidade de reprodução, transparência e capacidade de inclusão de novos

parâmetros. Esse modelo será baseado em uma base de dados composta por informações públicas, especialmente da INFRAERO, Secretaria de Aviação Civil e ANAC, e terá como objetivo fornecer suporte efetivo à tomada de decisões nas fases preliminares do projeto, quando poucos conceitos e informações sobre os investimentos planejados estão disponíveis.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho é propor um modelo de previsão do custo para construção de pista de pouso e decolagem em fase preliminar de projeto

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Identificar os métodos aderentes ao objetivo dentre os aplicados nos modelos de previsões.
- Selecionar as variáveis do modelo e identificar base de dados.

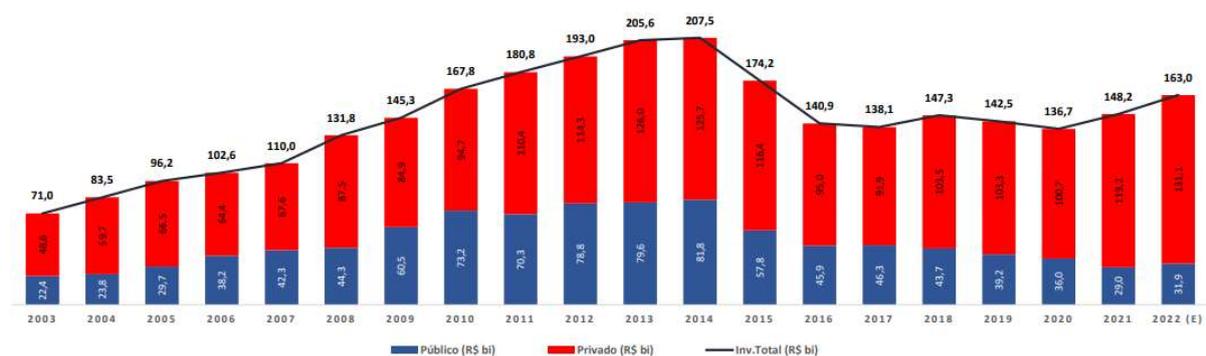
## **1.3 JUSTIFICATIVA**

A relevância e singularidade deste estudo residem em três pilares essenciais: primeiro, o papel central da infraestrutura no desenvolvimento da capacidade de transporte de passageiros e cargas, e sua significativa contribuição para o crescimento econômico e desenvolvimento geral; segundo, a crescente demanda por estudos de viabilidade mais robustos, fundamentados e transparentes, capazes de guiar as decisões de investimento governamentais e atrair investimentos privados, além da necessidade de estimativas de custos ágeis dos ativos para embasar decisões estratégicas; por último, a complexidade peculiar da infraestrutura aeroportuária, em conjunto com os desafios na estimativa de custos, seja devido ao sigilo dos custos praticados, devido às vantagens competitivas associadas, seja pelas graves consequências de estimativas super ou subvalorizadas na conclusão do projeto, que resulta em uma escassez de estudos comparáveis nesta área.

O investimento em infraestrutura tem demonstrado ser crucial para o crescimento econômico de uma nação, com impactos significativos na produtividade, redução de disparidades sociais e no desenvolvimento industrial. No entanto, o investimento nessa área tem diminuído ao longo do tempo, atingindo 1,71% do PIB em 2021, diante da estimativa de necessidade de investimentos de 4,31% do PIB para mitigar os desafios de desenvolvimento econômico e social. Em relação ao setor de transporte, os investimentos representam apenas 0,35% do PIB, frente à estimativa de necessidade de 2,26% do PIB (ABDID, 2023).

Além de sua contribuição para o crescimento econômico, a infraestrutura aeroportuária desempenha um papel crucial no desenvolvimento do transporte aéreo, limitando a capacidade de processamento de passageiros, cargas e aeronaves. Neste século, a demanda por transporte aéreo no Brasil tem crescido continuamente, como evidenciado nos anuários estatísticos da agência reguladora (ANAC, 2023a), registrando-se em 2019 a marca histórica de 119,4 milhões de passageiros transportados. Portanto, em uma situação normal, não pandêmica, a infraestrutura aeroportuária tende a ser cada vez mais demandada.

Por outro lado, a capacidade governamental de investir em infraestrutura tem decrescido, atingindo um patamar baixo em 2021, conforme dados da ABDIB, Figura 1.1. Nesse contexto, o atual cenário de investimento em infraestrutura busca alternativas para atrair investimentos privados e promover o desenvolvimento da infraestrutura. Uma das soluções propostas no setor aéreo são os processos de concessão aeroportuária.



**Figura 1.1** Investimento público e privado na Infraestrutura  
 Fonte: Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústrias de Base (ABDIB) (2022).

O sucesso desses processos e a atração efetiva de capital dependem de ofertas estruturadas de ativos e avaliações confiáveis, com o mínimo de incertezas associadas. Em paralelo, o potencial

crescimento nacional neste campo é considerável, o Brasil registra, para 2019, cerca de 0,5 viagens aéreas *per capita*, enquanto países como Chile (1,2 *per capita*), Estados Unidos (2,6 *per capita*) e Espanha (4,5) apresentam números muito superiores (STEINBERG, 2022). Desta maneira, os estudos de viabilidade desempenham um papel crucial ao delinear as condições econômicas e financeiras dos investimentos, da região e do mercado, influenciando a capacidade governamental de conceder ativos de interesse.

Adicionalmente, a avaliação de CAPEX desempenha um papel central nos estudos de viabilidade. Geralmente desenvolvidos por empresas especializadas, com a utilização de técnicas diversas, desde composições unitárias de custos até pesquisas de mercado, esses estudos contam com uma equipe multidisciplinar e grande dispêndio de recursos para avaliar o custo necessário para adequar cada um dos objetos concedidos, neste caso, os aeródromos.

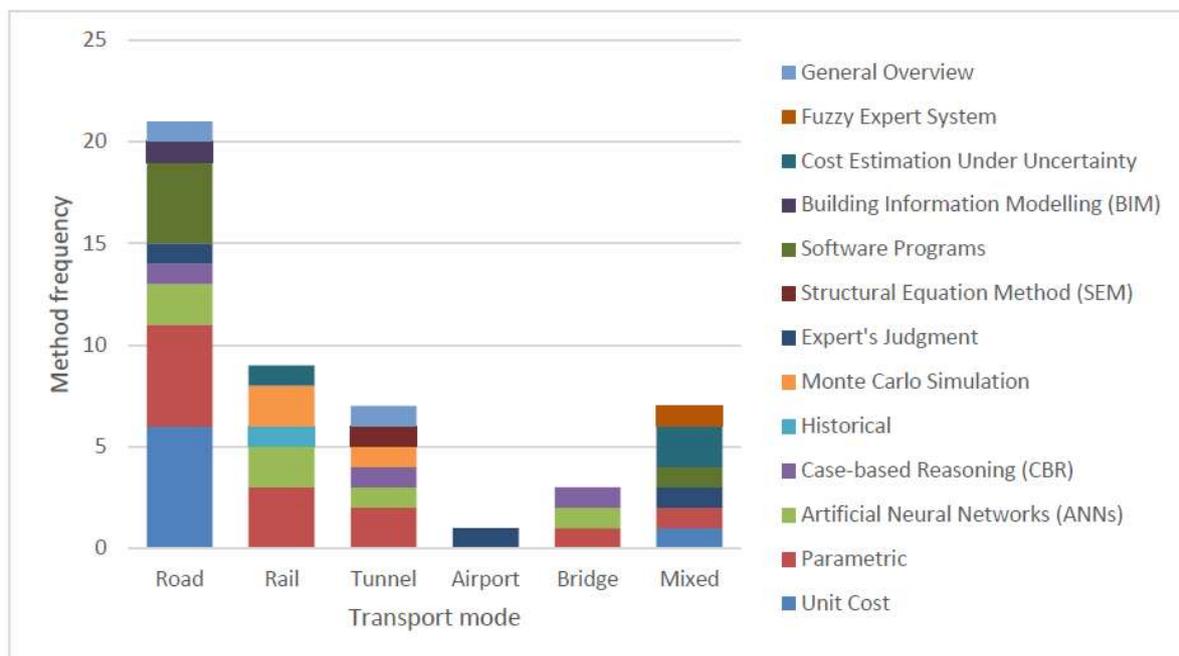
Isto posto, reitera-se a importância da estimativa de custo do projeto como elemento chave do processo de avaliação de viabilidade e dos estudos de custo-benefício dos projetos, obtenção do CAPEX e conseqüentemente, na alocação de recursos públicos e privados dentre as diversas opções disponíveis. Não obstante, é recorrente a necessidade de avaliações mais expeditas, com empenhos de poucos recursos humanos ou financeiros, para embasar decisões em níveis mais estratégicos, que, neste caso, não comportariam ou permitiram a aplicação dos métodos utilizados nos mencionados estudos de viabilidade.

É possível citar ainda a utilização de estimativas de custos em momentos mais maduros das concessões aeroportuárias, novamente para embasar uma escolha gerencial, ou subsidiar a avaliação do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos nos mais diversos casos extraordinários, que exigem além de metodologia embasada, transparência e celeridade. Exemplo recente é o caso da Solução Consensual disposta do Acórdão 51/2024-Plenário do TCU, em que foi decidido por alteração contratual que removia necessidade de investimento obrigatório no aeroporto de Cuiabá, e conseqüentemente exigia, dada o contexto, uma estimativa de custo tempestiva.

Cabe ressaltar complementarmente que as estimativas prévias de custos, sob uma perspectiva de orçamento governamental, é essencialmente associado a disponibilidade de recursos, ou seja, com base nestas estimativas são autorizadas ou incluídas nos instrumentos legislativos e,

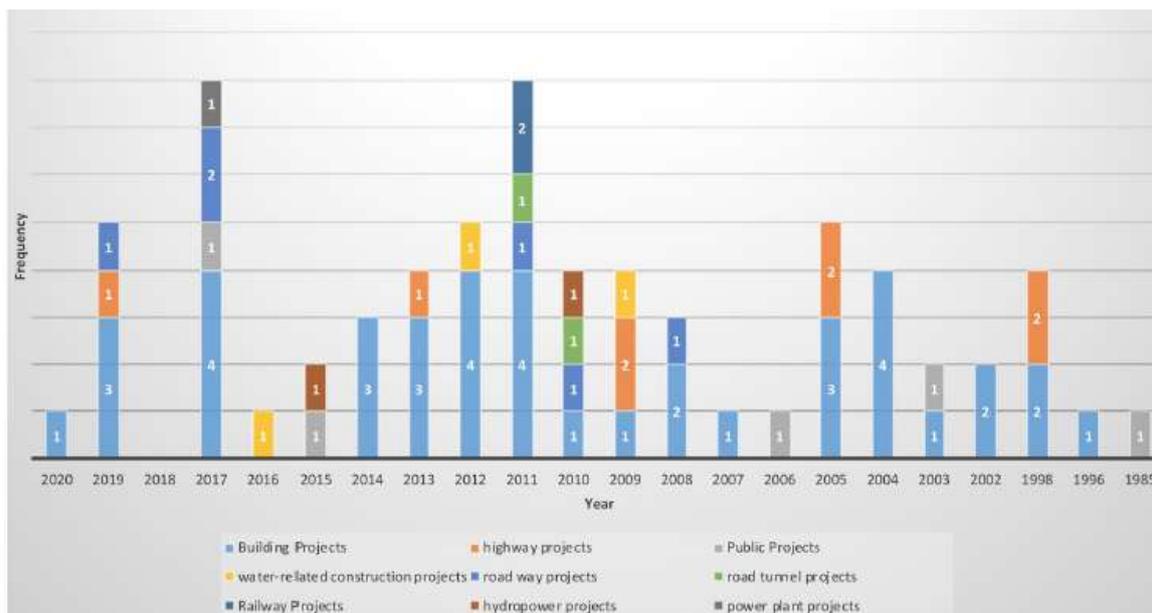
consequentemente, autorizado o investimento que eventualmente dará origem ao projeto e delimitação de escopos (NCHRP, 2016).

Ademais, poucos trabalhos se dedicam a delimitar e definir metodologias de estimativas de custos aplicáveis as particularidades da infraestrutura aeroportuária (BARAKCHI *et al.*, 2017; FALCÃO *et al.*, 2021), de maneira que a decisão gerencial, ou qualquer questão que se exija uma estimativa de custos razoável para a este tipo de infraestrutura, não tem uma literatura difundida para se apoiar sem que haja o desenvolvimento maduro do projeto. Nessa linha a Figura 1.2, desenvolvida por Barakchi *et al.* (2017), ilustra os métodos de estimativa utilizados para cada tipo de infraestrutura, onde é possível observar a carência dos estudos na área aeroportuária.



**Figura 1.2** Métodos de estimativas de custos por infraestrutura de transporte  
Fonte: Barakchi *et al.* (2017).

Do mesmo modo, Tayefeh Hashemi *et al.* (2020), identificou uma quantidade considerável de estudos focados em previsão de custos de construções, para diversas áreas, entretanto, não foi capaz de identificar trabalhos na área de infraestrutura aeroportuária, como apontado na Figura 1.3.



**Figura 1.3** Estudos de estimativas de custos distribuídos nos anos

Fonte: Tayefeh Hashemi *et al.* (2020).

Adicionalmente, poucos estudos nessa linha estão associados a realidade brasileira. Em pesquisa com a sintaxe “*cost infrastructure estimate*” e “*cost infrastructure estimating*” no acervo da Web os Science, para os últimos 5 anos, filtrado para região brasileira, dos 65 artigos resultantes, nenhum tratava de infraestrutura aeroportuária.

Em que pese o grande número de estudos para outros modos, as particularidades das construções aeroportuárias distanciam os modelos aplicados em outras modalidades da realidade aérea. Ainda que as ferramentas possam ser essencialmente as mesmas, por exemplo o método paramétrico é aplicável a rodovias, ferrovias ou túneis, os aeroportos têm dinâmicas diferenciadas no acesso as áreas restritas, particularmente para áreas de pouso e decolagem.

Adicionalmente, em caso de aeroportos operacionais, é necessário o estabelecimento de uma operação especial onde toda a equipe e equipamentos deve entrar e sair da área em momentos especificados, criando uma camada de complexidade, isso sem considerar as demandas construtivas especiais frente aos requisitos das aeronaves. Desta forma, os resultados de trabalhos com métodos semelhantes, mas em modos de transportes diferentes, se distancia consideravelmente no modo aéreo.

É imprescindível destacar a camada adicional de complexidade na questão da infraestrutura aeroportuárias, dada pela singularidade em torno da segurança operacional. Segurança na aviação é uma preocupação central, normas internacionais e nacionais, como as da OACI e da ANAC no Brasil, estabelecem regulamentos detalhados para construção, operação e manutenção de pistas. Essas regulamentações são complexas, rígidas e exigem conhecimento multidisciplinar para garantir a segurança operacional, um projeto adequado e o gerenciamento eficaz de riscos.

Associado a estas exigências, os pavimentos aeroportuários apresentam desafios únicos em comparação com os rodoviários, devido às cargas extremas e pressões elevadas dos pneus das aeronaves. Enquanto os pavimentos rodoviários são projetados para cargas móveis e repetitivas, concentradas nas bordas das pistas, os pavimentos aeroportuários lidam com cargas estáticas e dinâmicas muito maiores, concentradas principalmente nos 20 metros centrais da pista.

Além disso, a gestão dos pavimentos aeroportuários requer monitoramento contínuo para identificar precocemente fissuras e deformações que possam comprometer a segurança. Essa gestão eficaz combina planejamento, monitoramento e manutenção proativa para garantir operações seguras e eficientes a longo prazo, evidenciando a complexidade técnica e operacional envolvida na manutenção e operação de pavimentos aeroportuários.

Por fim, a engenharia de custos apresenta um desafio adicional para projetos dessa natureza. A escassez de divulgação e o caráter confidencial dos custos reais praticados pelas empresas podem ser identificados como uma das principais barreiras. As organizações e construtoras deste segmento de mercado protegem zelosamente as informações relacionadas aos custos, devido à sua capacidade de conferir vantagens competitivas e de incorporar conhecimento e inovações, afetando assim a produtividade e outras características fundamentais nas estimativas de custos.

Reforçando o exposto, o *National Cooperative Highway Research Council* (NCHRP) salienta que estudos e pesquisas no campo das estimativas de custos preliminares são necessários para entender o seu atual estado e práticas, disseminar os métodos mais eficientes, e desenvolver novas ferramentas que aprimorem a acurácia das estimativas (NCHRP, 2016).

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é organizada em 6 capítulos:

- Capítulo 1: Introdução, apresenta o contexto geral, a importância da estimativa de custos para a viabilidade do projeto, além de situar o estudo quanto a sua relevância, metodologia e objetivos.
- Capítulo 2: Aspectos da infraestrutura aeroportuária, contempla uma abordagem geral sobre a gestão da infraestrutura aeroportuária, o entendimento do conceito de aeródromo, configuração aeroportuária e as relações desta na perspectiva econômica.
- Capítulo 3: Revisão quanto aos métodos de estimativas de custo, demonstra as referências na literatura sobre os conceitos de custos. Aborda ainda as estimativas de custos e as metodologias aplicadas, com enfoque para a regressão linear.
- Capítulo 4: Método, defini os parâmetros necessários para a estimativa dos custos, as fontes e formas de obtenção dos dados de interesse e a modelo selecionado como mais aderente.
- Capítulo 5: Resultados, em continuidade ao capítulo 4, desenvolve as estimativas dos modelos de custos e a avalia os resultados sob uma perspectiva econométrica.
- Capítulo 6: Conclusões, analisa os resultados obtidos frente aos objetivos estabelecidos, tece comentários gerais sobre o estudo e sugere encaminhamentos no sentido de aprimoramento geral e contínuo do trabalho.

## **2 ASPECTOS GERAIS DOS AEROPORTOS**

### **2.1 BREVE CONTEXTO DA GESTÃO AEROPORTUÁRIA BRASILEIRA**

A gestão e operação aeroportuária brasileira passa por fases influenciadas pelo contexto histórico mundial e caracteriza-se especialmente pela participação governamental em sua gestão, civil ou militar, bem como por marcos relevantes que transformaram o seu curso. O primeiro voo comercial, em hidroavião na década de 20, inicia o processo de transportes de passageiros e conseqüentemente a necessidade de expansão da infraestrutura para esse novo modo de transporte, entretanto essa evolução acontece de maneira tímida nos anos seguintes (BRASIL, 2023a).

Nessa esteira, antes dos avanços derivados da Segunda Grande Guerra, viajar de avião era caro, desconfortável e perigoso, nessa linha, as aeronaves viajavam em baixa altitudes, enfrentando intempéries atmosféricas não previsíveis e necessitavam de várias paradas para reabastecimento (FERREIRA, 2017).

A década de 40 traz junto com a Segunda Guerra Mundial uma maior pressão por disponibilidade de campos de pouso e bases adequadas para operações militares. No ano de 1941 é instituída a Força Aérea Brasileira, que reúne o Departamento de Aeronáutica Civil (DAC), criado por Getúlio Vargas 10 anos antes (Decreto nº 19.902, de 22 de abril de 1931), e aviação militar e naval. O DAC tem seu nome modificado em 1969 para Departamento de Aviação Civil e exerce suas atividades como tal até o evento de sua extinção em 2006. Nesse cenário, as décadas de 40, 50 e 60, caracterizam-se, portanto, por uma gestão aeroportuária militarizada, com casos pontuais de gestão compartilhada em aeroportos mistos, operação civil realizadas por estados e municípios, ou seja, um sistema complexo e não centralizado de operadores (BRASIL, 2023b).

Exemplos clássicos dessa miscelânea são: O Aeroporto Internacional de Belém (SBBE/PA), que chegou a ser emprestado por anos aos EUA e posteriormente devolvido ao Ministério da Aeronáutica. O Aeroporto Internacional Hercílio Luz em Florianópolis (SBFL/SC), que ocupa o local de antiga Base Naval. O Aeroporto Santos Dumont (SBRJ/RJ) que em 1970 teve como responsável por sua administração a sociedade de economia mista brasileira ARSA –

Aeroportos do Rio de Janeiro S.A. posteriormente absorvida por empresa pública nacional, a INFRAERO.

Em 1973 inicia suas atividades a INFRAERO, o que viria a modificar totalmente a administração dos aeroportos nacionais. Logo no ano de sua fundação são passados para sua gestão o Aeroporto Internacional de Brasília Presidente Juscelino Kubitschek e do Aeroporto de Ponta Pelada, em Manaus. Nos anos seguintes diversos aeroportos estratégicos passam à INFRAERO, e em 1977/1978 a empresa se consolida com diversos aeroportos sob sua administração e graças as receitas comerciais, deixa de depender dos repasses do Governo Federal para despesas de custeio, a partir de então, os recursos federais são usados apenas para investimentos. Após seu desenvolvimento a INFRAERO chegou a estar entre as três maiores operadoras aeroportuárias do mundo e por mais de 30 anos foi a administradora dos principais aeroportos brasileiros, chegando a operar, segundo McKinsey e Company (2010), cerca de 97 % dos passageiros nacionais (INFRAERO, 2013).

Já para o cenário observado nos anos 2000, Yosimoto *et al.*, (2016) e Gonçalves da Silva *et al.*, (2022) destacam que grande parte da infraestrutura aeroportuária brasileira se encontrava saturada, especificamente, dentre os 20 mais movimentados, dos quais 10 estavam totalmente saturados, 4 tinham necessidade de investimentos frente a demanda projetada até 2014, outros 2 até 2020 e 4 com investimentos necessários até 2030, isto associado a baixa capacidade de investimento público, e conseqüentemente da INFRAERO.

Com objetivos diversos, ainda que com foco primordial na viabilização de investimentos nos aeroportos, de tal maneira que o gargalo oferta-demanda fosse suprimida, o Decreto 6.373, de 14 de fevereiro de 2008 (BRASIL, 2008), incluí o ASGA (Aeroporto de São Gonçalo do Amarante – Rio Grande do Norte) no Programa Nacional de Desestatização (PND), com o leilão do aeródromo realizado em 2011, inaugurando assim o processo de concessões das infraestrutura aeroportuária brasileira como resposta as necessidades do setor. Na esteira da experiência adquirida, optou-se em seguida, diante da urgência de investimentos e do horizonte próximo da realização dos grandes eventos (Copa do Mundo e Olimpíadas), pela concessão dos aeroportos de Guarulhos (SP), Viracopos (SP) e Brasília (BR). O Decreto nº 7.531, de 21 de julho de 2011 inclui os ativos no PND e em 7 de fevereiro de 2012 ocorreu o leilão (GONÇALVES DA SILVA *et al.*, 2022; YOSIMOTO *et al.*, 2016).

Desde então, com a recente assinatura dos contratos de concessão pelos vencedores dos blocos da 7ª rodada, em agosto de 2022, 59 aeroportos passaram para a gestão privada, consolidando a transferência governamental da operação aeroportuária. Neste processo de pouco mais de 11 anos, observa-se um constante aprimoramento regulatório, mudanças nos regimes de outorga, na regulação tarifária, nas obrigações de investimento e na gestão do nível de serviço. Rememora-se ainda os casos de interrupção antecipada de contratos e consequente relicitação, aeroportos de São Gonçalo do Amarante (RN), Viracopos (SP) e Galeão (RJ), sugerindo alguma necessidade de aprimoramento no modelo contratual ou regulatório destes ativos. (FALCÃO *et al.*, 2022; ANAC, 2023b). O Quadro 2.1 resume o cenário decorrido deste período, e resume as rodadas de concessões realizadas.

**Quadro 2.1** Resumo aeroportos concedidos

RODADA	AERÓDROMOS	EMPRESAS(S)	OUTORGA(R\$)	DURAÇÃO(ANOS)
1ª Rodada	São Gonçalo do Amarante-Natal/RN	Inframérica Concessionária do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante S.A.*	166 mi.	38
2ª Rodada	Brasília/DF	Inframérica Concessionária do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante S.A.	4.5 bi	25
	Guarulhos/SP	Concessionária do Aeroporto Internacional de Guarulhos S.A.	16.2 bi	20
	Viracopos-Campinas/SP	Concessionária Aeroportos Brasil Viracopos S.A.*	3.8 bi	30
3ª Rodada	Rio de Janeiro-Galeão/RN	Concessionária Aeroporto Rio de Janeiro S.A.	19 bi	25
	Confins-Belo Horizonte/MG	Concessionária do Aeroporto de Confins S.A.	1.8 bi	30
4ª Rodada	Porto Alegre/RS	Fraport Brasil S.A. Aeroporto de Porto Alegre.	290.5 mi	25
	Florianópolis/SC	Fraport Brasil S.A. Aeroporto de Porto Alegre.	83.3 mi	25
	Salvador/BA	Concessionária do Aeroporto de Salvador S.A.	660.9 mi	30

<b>RODADA</b>	<b>AERÓDROMOS</b>	<b>EMPRESAS(S)</b>	<b>OUTORGA(R\$)</b>	<b>DURAÇÃO(ANOS)</b>
	Fortaleza/CE	Fraport Brasil S.A. Aeroporto de Fortaleza.	425 mi	30
5ª Rodada	BLOCO NORDESTE Recife/PE Maceió/AL Aracajú/SE Campina Grande/PB João Pessoa/PB Juazeiro do Norte/CE	Aeroportos do Nordeste do Brasil S.A.	1.9 bi	30
	BLOCO CENTRO-OESTE Cuiabá/MT Rondonópolis/MT Alta Floresta/MT Sinop/MT	SPE Concessionária Aeroeste Aeroportos S.A.	40 mi	30
	BLOCO SUDESTE Vitória/ES Macaé/RJ	Aeroportos do Sudeste do Brasil S.A	437 mi	30
6ª Rodada	BLOCO NORTE Manaus/AM Porto Velho/RO Rio Branco/AC Cruzeiro do Sul/AC Tabatinga/AM Tefé/AM Boa Vista/RR	Concessionária dos Aeroportos da Amazônia S/A	420 mi	30
	BLOCO SUL Curitiba/PR Foz do Iguaçu/PR Navegantes/SC Londrina/PR Joinville/SC Bacacheri/PR Pelotas/RS Uruguaiana/RS Bagé/RS	Concessionária do Bloco Sul S.A	2,12 bi	30
	BLOCO CENTRAL Goiânia/GO São Luís/MA Teresina/PI Palmas/TO Petrolina/PE Imperatriz/MA	Concessionária do Bloco Central S.A	749.9 mi	30
7ª Rodada	BLOCO SP/MS/PA/MG Congonhas/SP Campo Grande/MS Corumbá/MS Ponta Porã/MS Santarém/PA Marabá/PA	Bloco de Onze Aeroportos do Brasil S.A. - BOAB.	2.4 bi	30

RODADA	AERÓDROMOS	EMPRESAS(S)	OUTORGA(R\$)	DURAÇÃO(ANOS)
	Parauapebas/PA Altamira/PA Uberlândia/MG Uberaba/MG Montes Claros/MG			
	BLOCO NORTE II Belém/PA Macapá/AP	SPE Novo Norte Aeroportos S.A.	125 mi	30
	BLOCO AVIAÇÃO GERAL Campo de Marte – São Paulo/SP Jacarepaguá – Rio de Janeiro/RJ	PRS Aeroportos S.A.	141.4 mi	30

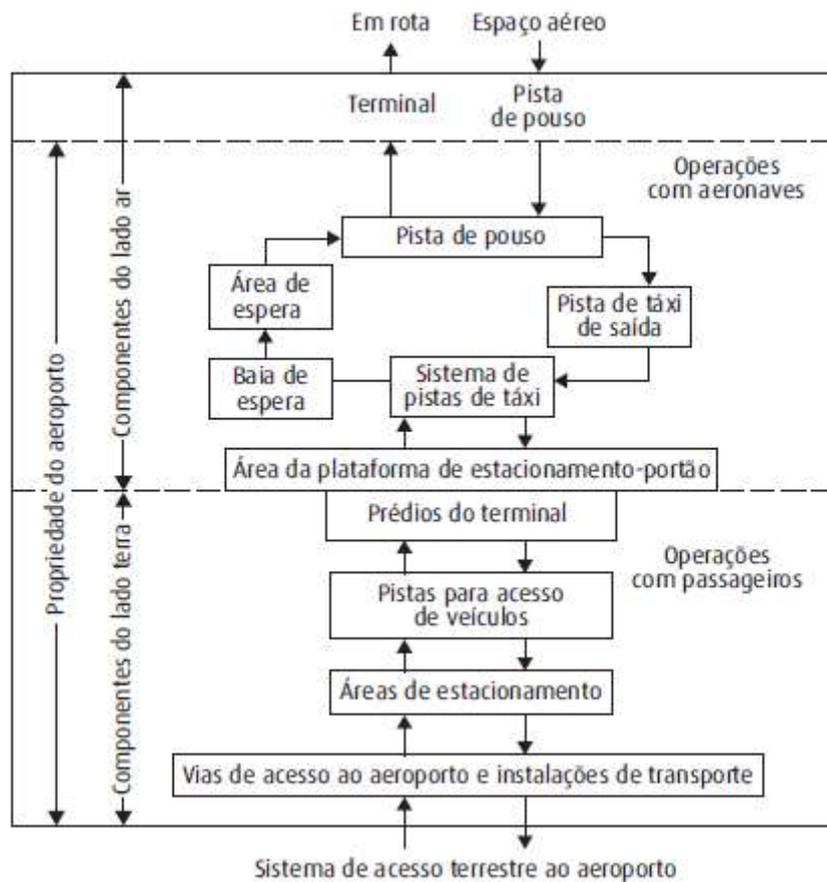
Fonte: Adaptado de Falcão *et al.* (2022).

## 2.2 INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA

### 2.2.1 Aeródromo e Aeroporto

A ANAC define aeródromo como área definida de terra ou de água (que inclui todas suas edificações, instalações e equipamentos) destinada total ou parcialmente à chegada, partida e movimentação de aeronaves na superfície, mesma definição adotada pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) em seu Anexo 14. Já aeroporto, é entendido pela Agência de Aviação como um aeródromo público dotado de edificações, instalações e equipamentos para apoio às operações de aeronaves e de processamento de pessoas e/ou cargas (ANAC, 2023b).

Young e Wells (2014) destacam os componentes dos aeroportos voltados para cada um dos usuários que formam a complexa rede de transporte associada a aviação. Os autores abarcam os componentes do lado ar como todas as instalações localizadas na propriedade do aeroporto para facilitar as operações com aeronaves. Por outro lado, o lado terra é planejado para acomodar o movimento de veículos, passageiros e cargas em terra, esquematizados na Figura 2.1. Para este último é possível salientar como mais importante o terminal, para o lado ar, as pistas de rolagem, especialmente a de pouso e decolagem (PPD) é a mais significativa, e sem dúvida, o componente de infraestrutura mais essencial na operação de aviação.



**Figura 2.1** Aeroporto esquematizado  
 Fonte: Young & Wells (2014).

### 2.2.2 A pista de pouso e decolagem e singularidades das obras aeroportuárias

Dada a importância da pista de pouso, rigorosas regras e diretrizes são estabelecidas quanto a gestão, planejamento e sua operação, por exemplo, com critérios específicos para o comprimento, largura, orientação, configuração, pavimentação, dentre outros. Na perspectiva operacional, regras de utilização para aproximação, quando e como aeronaves podem utilizar a infraestrutura, são impostas a todos os usuários (Young e Wells, 2014).

Já sob a perspectiva de dimensionamento, a pista do aeroporto é uma complexa estrutura, composta por quatro igualmente importantes componentes: subleito, sub-base, base e revestimento. São dimensionados para suportar as cargas impostas por aeronaves e prover uma superfície firme, estável, confortável, com rugosidade compatível com o atrito necessário no processo de frenagem e durável (FAA, 2021).

A AC 150/5320-6G da FAA divide os pavimentos em dois tipos, flexíveis e rígidos. Os flexíveis são aqueles que cada camada estrutural age no suporte das cargas, ou seja, as camadas subsequentes suportam as anteriores, até finalmente o subleito, sendo os pavimentos asfálticos o maior exemplo. Já no pavimento rígido, a principal resistência da carga é provida no revestimento, usualmente de concreto armado cimentício.

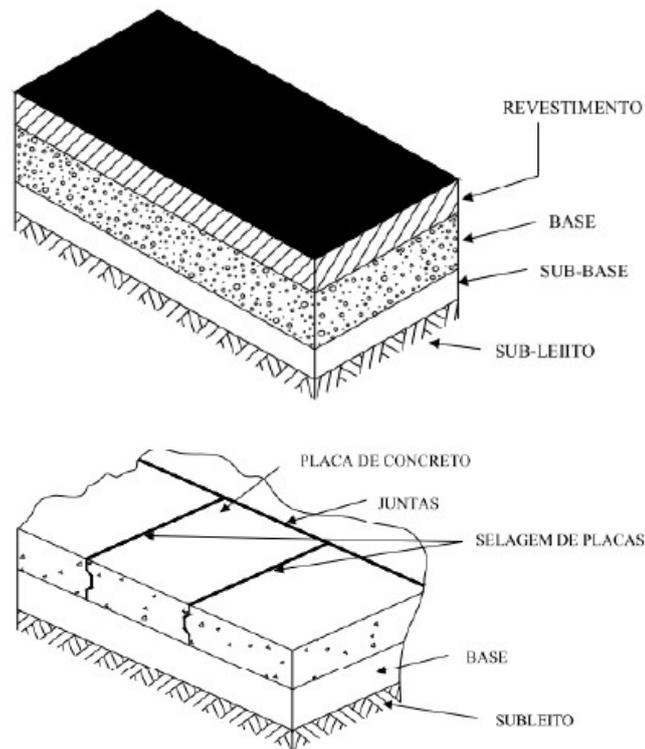
Suplementarmente, é possível sintetizar um pavimento flexível de acordo com suas camadas da seguinte maneira, de acordo com BALBO (2007):

- Revestimento: mistura betuminosa composta por agregados unidos por ligantes betuminosos.
- Base: Componente estrutural principal, pode ser constituída diferentes matérias, como misturas de solos e agregados, brita, brita e cimento, solo com ligantes etc.
- Sub-base: Base extra quando necessária reforça ou espessuras excessivas na base.
- Subleito: solo natural disponível e compactado, funciona como a fundação da estrutura.

Quanto ao pavimento rígido, breve descrição é dada pela FAA (2016):

- Revestimento: Placas de concreto Portland servindo como suporte estrutural e demais funções de superfície como atrito e drenagem.
- Base: camada de uniformização para assentamento das placas de concreto.
- Sub-base: quando necessário, com o objetivo de fornecer mais resistência, visando a capacidade do subleito.
- Subleito: solo natural consolidada e compactado, realizado o papel de fundação da estrutura.

A Figura 2.2 esquematiza os pavimentos flexíveis e rígidos.



**Figura 2.2** Pavimento Flexível e Rígido

Fonte: Fonseca (1990).

É comum no dimensionamento a utilização métodos propostos por fabricantes de aeronaves, norma técnicas de países diversos ou autoridades da viação. A que se destaca, e tem maior relevância é a desenvolvida pela autoridade da aviação norte americana, a FAA, disponível por meio do *software* FARFIELD ou COMFAA e utiliza como dados de entrada o tipo de solo, a demanda e aeronaves de projeto, para um horizonte de vida útil da infraestrutura.

O projeto estrutural de pavimentos aeroportuários difere significativamente do projeto de pavimentos rodoviários devido às cargas mais elevadas, pressões intensas dos pneus das aeronaves e das condições dinâmicas de tráfego. Para exemplificar a singularidade, a resposta dos pavimentos às cargas das aeronaves, são obtidas por dados coletados de desempenho utilizando pavimentos de teste em escala real, submetidos a cargas de trem de pouso reais. Esses dados ajudam a identificar padrões de deterioração, como fissuras, deformações e buracos, que afetam a estrutura do pavimento. Além disso, a alta velocidade e o peso das aeronaves durante a decolagem e o pouso exercem pressão extra sobre os pavimentos. (SUN *et al.*, 2024)

Nessa linha, podemos destacar as diferenças relevantes entre os pavimentos rodoviários e aeroportuários. Inicialmente, o número de repetições de carga em pavimentos aeroportuários é menor do que em pavimentos rodoviários. Nos pavimentos aeroportuários, devido ao efeito de desvio das aeronaves ao pousar e decolar, várias passagens de um conjunto de eixos são contadas como uma repetição, enquanto em pavimentos rodoviários, a passagem de um eixo é considerada como uma repetição.

Quanto aos esforços resistidos, o peso total de uma aeronave é maior do que o de um veículo rodoviário típico (por exemplo, veículos comerciais como caminhões). Portanto, a carga de projeto para pavimentos aeroportuários é maior (aproximadamente 50 toneladas) em comparação com pavimentos rodoviários (aproximadamente 10 toneladas).

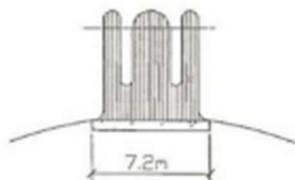
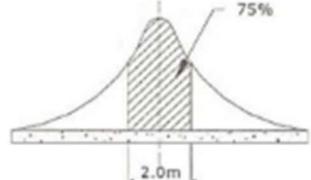
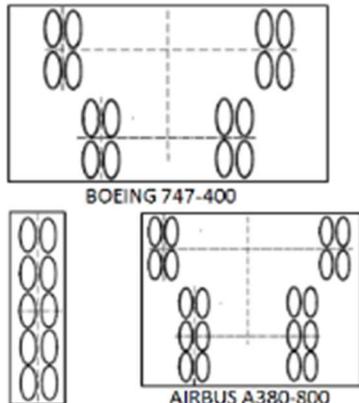
Ainda, as pressões dos pneus (que influenciam a área de contato e a pressão de contato) nas aeronaves (até 1580 kPa) são muito maiores do que as dos pneus de caminhões convencionais (até 800 kPa).

Quanto a distribuição das cargas aplicadas, o tráfego em rodovias é tal que os caminhões trafegam a uma distância de 0,9 a 1,2 metros da borda do pavimento, enquanto o tráfego em um pavimento aeroportuário é primariamente concentrado no centro da pista, distribuída principalmente nos 20 metros centrais da largura da pista. Assim, o tráfego em pavimentos rodoviários é altamente canalizado. Por outro lado, a carga das rodas em pavimentos aeroportuários é menos canalizada do que em pavimentos rodoviários devido à grande variação nas configurações e disposição das rodas de diferentes aeronaves.

Como mencionado, o projeto de pavimentos rodoviários é baseado em cargas móveis com a duração da carga como entrada, para comportamentos viscoelásticos e o módulo resiliente sob cargas repetidas, para comportamentos elásticos. O projeto de pavimentos aeroportuários é baseado em cargas móveis no interior das pistas, mas em cargas estacionárias nas extremidades das pistas. Como resultado, pavimentos mais espessos são usados nas extremidades das pistas do que no interior.

Por fim, as deteriorações mais severas em um pavimento aeroportuário ocorrem onde o tráfego segue uma linha designada ao longo das plataformas, pistas de táxi e nas extremidades das pistas. Os pavimentos rodoviários flexíveis exibem deteriorações sérias nas bordas do

pavimento, enquanto pavimentos aeroportuários não. A Figura 2.3 esquematiza as diferenças destes pavimentos.

Característica	Rodovias	Aeródromos
Largura das pistas	Comumente de 7 a 10m	20 a 50 m (rolagem: 10 a 25m)
Comprimento	Vários quilômetros	Até cerca de 4000 m
Cargas	Aprox. 10 t./eixo, veículos de até 45 t.	100 t. ou mais por trem de pouso principal, aeronaves de até 500 t.
Frequência da repetição das cargas	Por exemplo: 2000 veículos por dia, vários milhões na vida de serviço do pavimento.	Pequena, por dia: 50 a 700; menos de 6 milhões na vida de serviço do pavimento.
Pressão de enchimento dos pneus	100 a 120 psi (0,69 a 0,83 MPa) para caminhões pesados	130 a 250 psi (0,90 a 1,72 MPa) para aeronaves de médio e grande porte
Distribuição transversal da carga nas pistas	 <p>(não se faz diferenciação transversal praticamente)</p>	 <p>(diferencia-se o dimensionamento transversalmente)</p>
Impacto do veículo no pavimento	Pequeno	Grande no pouso, porém minorado pela sustentação do ar e amortecimento.
Ação das cargas dinâmicas (vibrações) de veículos parados	Relevante somente nas ruas, semáforos, cruzamentos, etc.	Importante quando do acionamento dos motores, com as rodas do trem de pouso travadas e antes da decolagem
Geometria das rodas		<p>Exemplos de alguns trens de pouso de aeronaves segundo a FAA (2009).</p> 

**Figura 2.3** Diferenças entre pavimentos de aeroporto e rodovias  
 Fonte: Medina & Motta (2005).

Outro parâmetro crucial na aviação é o *Pavement Classification Number* (PCN), um sistema de classificação utilizado para descrever a capacidade de carga de pistas de pouso ou taxiamento. Ele oferece uma medida da resistência do pavimento da pista para suportar a carga das

aeronaves durante as operações de pouso, decolagem e taxiamento (FAA, 2014; ANAC, 2023c).

O PCN é geralmente expresso em um formato alfanumérico, onde cada pista de um aeroporto é atribuída a um número que representa sua capacidade de carga. Esse número leva em consideração diversos fatores, incluindo a espessura do pavimento, o tipo de material utilizado na construção da pista e a condição do pavimento, entre outros.

Pilotos e operadores de aeronaves usam o PCN para determinar se uma pista é adequada para o tipo de aeronave que estão operando, levando em conta o peso máximo de decolagem e a capacidade de carga da pista. Essa avaliação é crucial para garantir a segurança das operações aéreas, evitando danos ao pavimento e assegurando condições seguras de pouso e decolagem.

O *Aircraft Classification Number* (ACN) é outra medida fundamental usada para descrever a carga que uma aeronave impõe ao pavimento durante operações de pouso, decolagem e taxiamento. Ele é determinado com base no peso máximo de decolagem da aeronave, na distribuição de carga sobre as rodas, no número de rodas e na pressão dos pneus. Cada tipo de aeronave tem um ACN específico que reflete sua capacidade de carga sobre o pavimento (FAA, 2014; ANAC, 2023c).

Assim como o PCN, os operadores de aeroportos utilizam o ACN para determinar se uma aeronave pode operar com segurança em uma determinada pista, considerando o PCN da pista. É imperativo que o ACN da aeronave seja igual ou menor que o PCN da pista para garantir operações seguras e evitar danos ao pavimento.

Não menos importante, a sinalização horizontal e vertical nos aeroportos desempenha um papel crucial na segurança e eficiência das operações aéreas em todo o mundo. Estas marcações são guias essenciais que orientam pilotos, controladores de tráfego aéreo e pessoal em solo, assegurando que todas as fases das operações aeroportuárias transcorram sem problemas.

A sinalização horizontal, especialmente, está intimamente ligada às pistas de pouso, decolagem e áreas de taxiamento. Com uma variedade de marcações pintadas no pavimento, ela fornece diretrizes visuais para os pilotos durante a movimentação em solo. Desde números de

designação até sinalização de cabeceira e faixas transversais, essas marcações são essenciais na garantia da segurança e a eficiência das operações.

No Brasil, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil número 154 (RBAC 154) estabelece padrões rigorosos e requisitos mínimos para a sinalização horizontal e vertical em aeroportos, assegurando consistência em todo o país. Este cumprimento de padrões segue diretrizes internacionais da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), agência especializada das Nações Unidas, que estabelece normas e práticas recomendadas para a aviação civil internacional.

Além das exigências internacionais, a sinalização aeroportuária deve considerar questões de durabilidade devido ao intenso tráfego de aeronaves. Não obstante, aspectos como geometria, espessura, contraste, cores, reflexividade e luminosidade são criteriosamente planejados para garantir eficiência operacional sob diversas condições ambientais e climáticas.

Portanto, a engenharia por trás dessas marcações é fundamental. Ela não só visa a conformidade regulatória, mas também a garantia de que as operações de aeronaves ocorram de maneira eficiente e segura, independentemente dos desafios apresentados pelo ambiente operacional. A sinalização aeroportuária é verdadeiramente a espinha dorsal das operações aéreas, proporcionando uma base sólida para a segurança e a eficiência no movimentado cenário dos aeroportos modernos.

### **2.2.3 Segurança operacional e construções aeroportuárias**

Não limitado às particularidades apontadas, é indispensável observar a complexidade da infraestrutura aeroportuária sob a luz da segurança operacional e requisitos relacionados. A segurança na aviação continua a ser a preocupação mais significativa na indústria da aviação, e 34% de todos os acidentes aéreos graves ocorreram durante a decolagem e o pouso (YUNFEI & YONGGANG, 2014). Nessa esteira a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), em inglês *International Civil Aviation Organization* (ICAO), estabelece normas e regulamentos voltados para a aviação, com destaque para aquelas relacionadas à segurança e eficiências das operações. Estes estão traduzidos em mais de 10.000 SARPs (*Standards and Recommended Practices*), distribuídos nos 19 Anexos da Convenção de Chicago. Uma variedade de assuntos é contemplada, desde licenças de pessoal e informações aeronáuticas a especificidades de aeródromos e transporte de cargas perigosas. Para o caso deste estudo, focado na infraestrutura,

os Anexo 14 – Projeto de aeródromos e Anexo 19 - Gerenciamento dos riscos à segurança operacional são vitais. No contexto brasileiro, a regulamentação a se observar relacionada a construção, operação e manutenção nas pistas de pouso e decolagens estão contidas nos RBAC 139 - Certificação Operacional de Aeroportos, RBAC 153 - Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência e RBAC 154 - Projeto de aeródromos, com centenas de dispositivos direcionas a questões da pista de pouso e decolagem (RAMOS, 2021).

Assim, no tocante a pista de pouso e decolagem, enquanto o RBAC 139 e 154, ditam as diretrizes que norteiam a construção e disponibilização da infraestrutura, o RBAC 153 é focado na gestão durante sua utilização. Não obstante, todos estes aspectos são consideravelmente complexos, envolvendo conhecimentos multidisciplinar, questões subjetivas e análise de riscos complexas, por exemplo, os aeródromos devem garantir a segurança operacional e implantar um Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), que deve monitorar e medir o desempenho de segurança operacional, além de gerenciar as mudanças e promover melhoria contínua (ANAC, 2021; ANAC, 2022; ANAC, 2023d).

Outro exemplo importante das questões relacionadas com obras aeroportuárias e a segurança operacional, são todos os regulamentos relacionados ao planejamento e execução de obras e serviços de manutenção, que conta com planejamento pré-aprovado, controle de acesso de pessoas, equipamentos, controle dos meios de comunicação e controle sobre a movimentação nas áreas, dentre outros vários dispostos no regulamento (ANAC, 2021; ANAC, 2022; ANAC, 2023). Não cabe dissertar longamente sobre cada um dos dispositivos que devem ser observados, e influenciam direta ou indiretamente, tornando complexa as dinâmicas de obras em aeroportos, mas os exemplos apontas são capazes de introduzir o tamanho do desafio.

### **2.3 INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA, MODO AÉREO E A RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO**

Há muito se discute sobre a relação do investimento em infraestrutura e o crescimento dos estados, ou seus impactos sobre a desigualdade e diminuição da pobreza do Estado. Já no trabalho de Aschauer (1989) é analisado os efeitos dos investimentos governamentais e como as chamadas infraestruturas “core”, instalações fundamentais que sustentam a atividade econômica de uma região, país ou comunidade, que pode incluir redes de transporte, sistemas

de energia, comunicações, água e saneamento, entre outros, tem um maior impacto no aumento da produtividade.

Nessa linha, Calderón, & Servén (2004) apresentam estudo econométrico baseado em dados de mais de 100 países em um período de que vai de 1960 a 2000, evidencia a correlação positiva entre estoque de infraestrutura e o crescimento econômico, assim como a diminuição na desigualdade de rendas frente ao aumento da quantidade e qualidade das infraestruturas.

Em nova contribuição, o trabalho de Calderón *et al.* (2015), por meio de uma avaliação empírica, estima a elasticidade dos investimentos em infraestrutura na produção acumulado. O artigo endereça várias limitações dos estudos anteriores, e aplica uma análise multidimensional dos conceitos de infraestrutura, combinando energia, transporte e telecomunicações em um índice elaborado através dos principais componentes de produção em uma abordagem econométrica. Os resultados mostram um impacto positivo e significativo, com uma elasticidade entre 0,07 e 0,10, dependendo da precisão das especificações aplicadas.

O estudo de Ramey *et al.* (2020) destaca os efeitos dos dispêndios governamentais tanto no curto quanto no longo prazo, enfatizando a importância dos investimentos em infraestrutura para benefícios duradouros, enquanto os gastos em consumo tendem a proporcionar retornos mais imediatos. Os autores também calculam uma elasticidade dos resultados do capital público, estimada entre 0,065 e 0,12, o que está em consonância com os resultados obtidos por Calderón *et al.* (2015). Esses resultados sugerem que políticas de investimento público, especialmente em infraestrutura, podem ter impactos positivos significativos no longo prazo, contribuindo para o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável.

Outros estudos fizeram análises semelhantes para o caso brasileiro. Ferreira e Malliagos (1997) por meio de uma análise empírica, apresentam estimativas da elasticidade do produto e da produtividade em relação ao capital e investimento em infraestrutura. Os resultados obtidos são na direção de forte relação do capital e da produtividade, bem como do produto com investimento em infraestrutura, por volta de 0,55 a 0,61 no Brasil, com destaque para os setores de energia elétrica e transporte. Na mesma linha, Mussolini e Teles (2010) com enfoque na relação entre capital público e privado, reafirmam os significantes efeitos dos investimentos, nas diferentes proporções entre público e privado, na produtividade total dos fatores.

O trabalho de Bertussi e Junior (2012) investigou a taxa de crescimento relacionada com os gastos públicos em transporte para um determinado período, notadamente 1986 a 2007. Os resultados mostraram um efeito positivo e estatisticamente significativo sobre o desempenho econômico dos estados, mais acentuado nas regiões menos desenvolvidas.

Complementarmente, Amann *et al.* (2016) construíram um panorama geral do déficit de infraestrutura, destacando os impactos severos sobre o crescimento e desigualdade no Brasil, ainda, argumenta que as maiores barreiras para impulsionamento do desenvolvimento encontram-se no planejamento e implementação de mecanismos regulatórios adequados, na falta destas, há um elevado risco regulatórios, em um cenário de restrições de gastos governamentais e pouco financiamento privado.

Medeiros *et al.* (2021) jogam luz sobre as relações entre infraestrutura e pobreza no Brasil, observando a complexidade regional e a heterogeneidade dos rendimentos. Nesse sentido, o trabalho mirou verificar os efeitos da infraestrutura nos grupos familiares brasileiros, em uma perspectiva regional que considera característica socioeconômica e as infraestruturas inseridas nos ambientes municipais e estaduais. Ainda no mesmo trabalho, quanto a infraestrutura de transporte, os achados demonstram que o aumento da qualidade em transporte em 1%, tem o potencial de redução de aproximadamente 12% da pobreza residencial. Explica o autor que o aumento da qualidade e eficiência dos sistemas de transporte podem gerar um substancial aumento de produtividade e conseqüentemente, redução da pobreza.

Alguns autores se debruçaram sobre a relação dos investimentos de infraestrutura no crescimento, especificamente para o modo aéreo, podemos destacar Sellner e Nagl (2010), que por meio de um modelo de crescimento endógeno, estimou o impacto da maior disponibilidade de transporte aéreo no PIB. O trabalho identificou uma elasticidade de 0,014 para o PIB. Os autores comparam ainda os resultados com estudos semelhante, como o Britton *et al.* (2005), com elasticidade de 0,055, *Oxford Economic Forecasting* (2006), elasticidade de 0,06 e da IATA (2007), elasticidade reportada de 0,007.

Há de se mencionar ainda a robusta revisão de Zhang e Graham (2020), os autores analisaram as relações do transporte aéreo e crescimento econômico de maneira ampla. Foram abordadas as interações sob diferentes perspectivas, por exemplo os impactos diretos dos serviços de aviação, as repercussões em mercados diversos (turismo, comércio etc.) e os efeitos

retroalimentadores, com destaque para a provisão de capital e a geração e demanda. O trabalho, ao se debruçar sobre a questão da casualidade das interações, conforme Quadro 2.2, identificou uma relação bi-direcional para regiões em desenvolvimento e não amadurecidas, enquanto para as regiões desenvolvidas os estudos apontam para um efeito da aviação em direção ao crescimento da economia, além disso, são elencados os veículos de publicação dos estudos, juntamente com o fator de impacto. Ainda, foram destacadas as relações na ordem de 0,1 e 0,2, respectivamente relacionados com as perspectivas dos serviços diretos e as repercussões, no crescimento econômico. Por fim, é reconhecido que as imperfeições das relações comerciais, as ações políticas e regulamentares são decisivas e podem ser um fator impeditivo de sucesso.

**Quadro 2.2** Casualidade entre transporte aéreo e desempenho econômico

ARTIGO	MÉDIDA DE TRÁFEGO AÉREO	INDICADOR ECONÔMICO	CASUALIDADE: AÉREO - ECONÔMICO	CASUALIDADE: ECONÔMICO - AÉREO	VEÍCULO DE PUBLICAÇÃO
Uni-direction: <i>Air_Economy</i> Irwin and Kasarda (1991)	Centralidade em redes	Emp ( <i>Exchange market pressure</i> )	Evidente	Não Evidente	American Sociological Rev. 5.391 (7.060)
Button <i>et al.</i> (1999)	Pax (passageiros)	Emp	Evidente	Não Evidente	J. of Air Transp. Mgmt. 2.412 (3.27)
Brueckner (2003)	Pax	Emp	Evidente	Não Evidente	Urban Studies 3.272 (3.890)
Green (2007)	Pax. Origens. Carga	Crescimento Pop. Crescimento Emp	Evidente	Não Evidente	Real Estate Econ. 1.764 (2.05)
Percoco (2010))	Pax	Emp. Pop.	Evidente	Evidência fraca	Urban Studies 3.272 (3.890)
Button and Yuan (2013)	Carga	Emp. Renda.	Evidente	Não Evidente	Urban Studies 3.272 (3.890)
Mukkala and Tervo (2013)	Pax	Crescimento Emp. PIB	Evidente	Evidência fraca	Environ. & Planning A 2.459 (2.88)
Brida <i>et al.</i> (2016a)	Voos	PIB	Evidente	Não Evidente	International J. of Aviation Mgmt. 0.09
Bi-direction: <i>Air_Economy &amp; Economy_Air</i> Chang and Chang (2009)	Carga	PIB	Evidente	Evidente	J. of Air Transp. Mgmt. 2.412 (3.27)
Marazzo <i>et al.</i> (2010)	Pax	PIB	Evidência fraca	Evidente	Transp. Res. Part E 4.253 (5.50)

ARTIGO	MEDIDA DE TRÁFEGO AÉREO	INDICADOR ECONÔMICO	CASUALIDADE: AÉREO - ECONÔMICO	CASUALIDADE: ECONÔMICO - AÉREO	VEÍCULO DE PUBLICAÇÃO
Van De Vijver <i>et al.</i> (2014)	Pax	Comércio	Evidente	Evidente	J. of Transp. Geography 3.560 (4.41)
Baker <i>et al.</i> (2015)	Pax	Renda	Evidente	Evidente	J. of Transp. Geography 3.560 (4.41)
Hakim and Merkert (2016)	Pax, Cargo	PIB	Evidência fraca	Evidente	J. of Transp. Geography 3.560 (4.41)
Brida <i>et al.</i> (2016b)	Pax	PIB	Evidente	Evidente	World Rev. of Intermodal Transp. Res. 0.17 (0.44)
Uni-direction: <i>Economy_Air</i> Fernandes and Pacheco (2010)	Pax	PIB	Não Evidente	Evidente	Transp. Planning and Tech. 0.893 (1.07)

Fonte: Zhang e Graham (2020).

O investimento em infraestrutura, incluindo transporte, energia e comunicações, é fundamental para impulsionar o crescimento econômico, reduzir a desigualdade e promover o desenvolvimento sustentável. Estudos mostram uma correlação positiva entre investimentos nesses setores e o crescimento do PIB, assim como na redução da desigualdade econômica. Especialmente para países em desenvolvimento, melhorias na infraestrutura estão diretamente ligadas à melhoria da produtividade e ao crescimento inclusivo. O transporte desempenha um papel crucial, abrindo novas oportunidades econômicas, especialmente em regiões menos desenvolvidas. No setor aéreo, investimentos também estão associados ao crescimento econômico, embora a relação possa variar de acordo com fatores como o estágio de desenvolvimento do país e políticas adotadas. Estudos recentes aprofundam nossa compreensão sobre essa relação, destacando não apenas os impactos diretos na atividade econômica, mas também as interações indiretas e o papel das políticas e regulamentações. Em resumo, o investimento contínuo em infraestrutura, especialmente no transporte, é crucial para impulsionar o crescimento econômico sustentável e reduzir a desigualdade.

### 3 REVISÃO QUANTO AOS MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE CUSTOS

Custo pode ser entendido de diferentes maneiras, dependendo do contexto em que estão inseridos. Para esse trabalho serão tomadas as definições de Ashworth e Perera (2015), todos os itens e serviços associados aos gastos para a realização de um empreendimento, e da Associação para o Desenvolvimento da Engenharia de Custos (AACE, 2023), custos é uma quantidade medida em - unidade monetária, despendidos ou passivo incorrido, em consideração a bens ou serviços recebidos. Em uma perspectiva gerencial, custo pode incluir qualquer investimento de recursos em ativos, incluindo tempo, dinheiro, homens ou recursos físicos. Desta forma, estes são os conceitos de custo utilizados para este trabalho.

Cabe destacar também as diferenciações delimitadas por Kato (2011), que estabelece que gasto é um consumo genérico de bens ou serviços, que tem os custos como um de seus tipos, juntamente com as despesas, diferenciados por seu dispêndio, ou seja:

- Custo é o valor dos bens e serviços que são consumidos na produção de outros bens e serviços, e que pode ser relacionado a eles; como exemplos, têm-se o custo de materiais utilizados em uma obra e salários da gerências da fábrica;
- Despesa é o valor dos bem e serviços consumidos no processo de geração de receitas e manutenção dos negócios da empresa, ou seja, são gastos ocorridos fora da fábrica, nas áreas administrativas, financeira e comerciais, como exemplos, têm-se os impostos e aluguéis de prédios da administração (KATO, 2011).

É imprescindível ainda manter em mente os conceitos de custo sob a perspectiva contábil, conforme delineado por Hansen *et al.* (2001), onde é definido como o valor em dinheiro, ou seu equivalente, sacrificado em troca de produtos e serviços que se espera trazer benefícios presentes ou futuros para a organização. Neste sentido, o entendimento preciso dos custos assume um papel crucial na gestão eficiente das operações empresariais.

De maneira semelhante, ainda que não seja diretamente aplicável ao escopo deste trabalho, é salutar abordar o conceito econômico de custos. Este conceito amplia a compreensão ao incorporar os custos associados às oportunidades sacrificadas, ou seja, os custos de oportunidade e implícitos. Estes custos representam as alternativas renunciadas em favor de uma escolha específica, sendo essenciais para uma análise abrangente dos impactos financeiros de decisões empresariais (VASCONCELLOS & GARCIA, 2002).

### **3.1 CUSTOS – MÉTODOS DE ESTIMATIVA**

Ao superarmos os conceitos relacionados à custos, passamos a mirar os entendimentos afeitos às estimativas. Carr (1989) refere-se a estimativas como uma declaração de uma determinada quantidade de materiais, tempo ou custos para realizar uma construção com precisão razoável, portanto, o maior desafio em uma estimativa é sua capacidade de refletir com acurácia a realidade. Para o autor, a capacidade e experiência do profissional, assim como a disponibilidade de consistentes e relevantes dados históricos, são os fatores centrais de sucesso.

As estimativas e os métodos utilizados podem variar substancialmente de acordo com o momento de elaboração, a maturidade dos dados dos projetos e os objetivos almejados. Não obstante, o objetivo primordial reside no gerenciamento racional das alocações dos recursos. Uma definição comum para as estimativas preliminares é aquela que abrange qualquer projeção de dispêndios elaborada com base na concepção de um projeto. Para objetivos cujo escopo final é de difícil determinação, este tipo de estimativa pode ser compreendido como o custo aproximado para o desenvolvimento de um projeto de construção planejado, concretizado antes da formulação definitiva e da tomada de decisões (MEMBAH & ASA, 2015).

Ji, Sae-Hyun (2019) escreve estimativas de custos como o processo de avaliar e predizer o custo total para a execução de itens ou serviços em um dado tempo, utilizando-se das informações e recursos do projeto disponíveis.

Para Halpin e Wohead (2004) estimar é o processo de olhar para o futuro e tentar predizer os custos do projeto e os recursos necessários, baseado no passado e na compreensão do estimador para atentar-se as complexidades atreladas ao procedimento. Os autores argumentam ainda que grandes falhas nos contratos de construções advém de estimativas de custos incorretos ou irrealistas.

A *AACE International* define a estimativa de custos como o processo preditivo utilizado para quantificar custos e preços dos recursos requeridos em um escopo de opção de investimento, atividade ou projeto. É utilizado para prever custos futuros incertos, nesse contexto, o objeto da estimativa é minimizar as incertezas atreladas a certo nível e qualidade esperadas. Algumas incluem ainda, além do custo esperado, uma distribuição probabilística (AACE, 2023).

Ashworth e Perera (2015) sintetizam a estimativa de custos como o processo de obtenção de um custo provável, que proverá as bases orçamentarias e para o controle de custos do projeto, mesmo havendo a possibilidade de alterações significativas da projeção inicial durante o desenvolvimento efetivo do projeto. Para os autores, a precisão é o critério mais importante em uma estimativa, ainda que, para as realizadas nas fases iniciais entenda-se que certa quantidade de incerteza será incluída.

Em que pese as definições discutidas, diversas são as características e o métodos de estimativas de custos citadas na literatura correlata, portanto, é salutar destacar alguns conceitos pertinentes. Teicholz (1993) elenca uma série de características desejáveis em um método para estimativas de custos: (1) primeiro, devem utilizar-se de dados de fácil obtenção, ou seja, baseado em informações amplamente disponíveis ou coletáveis, (2) o método deve ser suficientemente simples e permitir a integração com os demais sistemas de custos dos projetos e (3) e as estimativas resultantes de qualquer procedimento devem ser acuradas, não enviesadas, tempestiva e estável.

Quanto às metodologias, o Departamento de Transporte do Estado de Washington (WSDOT) destaca as seguintes como aplicáveis na estimativa de custos em diferentes fases do projeto: o paramétrico, histórico baseado em leilões, baseado em custos e baseado em riscos. Além disso, há variações e combinações dessas técnicas a depender do contexto e aplicabilidade (WSDOT, 2015).

Segundo Ellsworth (1998) o método mais simples para estabelecer uma razoável estimativa dos custos de um projeto é identificar o custo de projetos similares e comparar com os custos de novas instalações, ainda que não seja possível identificar instalações de mesmo tamanho, ainda é possível considerar diferentes casos na modelagem.

Considerando a limitação das produções focadas em infraestrutura aeroportuárias, não há prejuízo em observar as estimativas de custos aplicadas em transportes de maneira ampla, tendo em conta as similaridades. Nesta linha, Shahandashti e Ashuri (2016) afirmam que os modelos de regressão e redes neurais artificiais são os dois métodos mais amplamente utilizados para a previsão de custos de rodovias.

Já Fragkakis *et al.* (2015), ao estabelecer um modelo para a estimativa de custos preliminar para galerias utilizadas na drenagem de rodovias, os resultados apresentaram-se limitados, com dados originados basicamente de leilões promovidos pelo setor público, o que muito se assemelha ao caso aeroportuário.

No trabalho de Barakchi *et al.* (2017), notavelmente aplicável ao objetivo deste estudo, foi elaborada uma revisão sistemática para investigar os métodos de estimativas de custos aplicados em infraestrutura de transporte. Os resultados são relevantes, reunindo cerca de 564 artigos no primeiro filtro, e demonstram que os métodos mais utilizados são, em ordem, o paramétrico, seguido pelo método de redes neurais e custos unitários. Os principais atributos associados que fizeram os métodos serem mais ou menos escolhidos são: (1) acurácia, (2) usabilidade e aplicabilidade e (3) facilidade de compreensão. Ainda, o artigo registou um artigo na área aeroportuária de 2002 a 2015, enquanto para a área rodoviária, superou 20, além de apresentar um número crescendo de estudos totais ao passar dos anos.

A revisão bibliométrica das técnicas estatísticas para estimativa de custos em projetos de infraestrutura, realizada por Atapattu *et al.* (2023), delimita sete técnicas básicas de modelagem de custos: análise de regressão (RA), rede neural artificial (ANN), simulação de Monte Carlo (MCS), máquina de vetores de suporte (SVM), raciocínio baseado em casos (CBR), previsão de classe de referência (RCF) e lógica.

É possível citar ainda como métodos aplicáveis a estimativas de custos, a estimativa analógica, também conhecida como método de "*bottom-up*", que envolve a identificação e a soma de todos os custos individuais do projeto. É útil quando há uma boa compreensão dos requisitos do projeto e uma base de dados histórica disponível. E a estimativa de três Pontos (PERT), este método envolve a determinação de três estimativas para cada item de trabalho: a estimativa otimista, a pessimista e a mais provável. A partir dessas estimativas, é calculada uma média ponderada (DEPARTMENT OF DEFENSE, 1999; PUTNAM & MYERS, 1992).

Cabe ainda destacar a prática recomendada 17R-97 da AACE, que estabelece um sistema de classificação para estimativas de custos, Quadro 3.1, relacionando a maturidade do projeto com as metodologias aplicáveis e a faixa de precisão esperada. De acordo com essa prática recomendada, as classes 5 e 4 tratam de estimativas preliminares, onde o nível de detalhe e a precisão das informações disponíveis são limitados. Nessas fases iniciais do projeto, é comum utilizar metodologias estocásticas, que consideram incertezas e variações nos custos. A faixa de precisão esperada para as estimativas das classes 5 e 4 geralmente permite uma margem de erro de até 20%. Isso significa que os custos estimados podem variar em até 20% para mais ou para menos em relação ao custo real do projeto. As recomendações da tabela podem direcionar as escolhas de metodologias iniciais nas estimativas de custos, de acordo com as informações disponíveis, o objetivo final e a precisão desejada.

**Quadro 3.1** Classes de estimativas de custos

<b>CLASSE DE ESTIMATIVA</b>	<b>NÍVEL DE MATURIDADE DAS ENTREGAS DE DEFINIÇÃO DO PROJETO (% da definição completa)</b>	<b>USO FINAL (finalidade típica da estimativa)</b>	<b>METODOLOGIA (método geralmente utilizado para estimativas)</b>	<b>FAIXA DE PRECISÃO ESPERADA (faixa típica +/- em relação ao índice 1)<sup>a</sup></b>	<b>ESFORÇO PARA ELABORAÇÃO (grau típico de esforço em relação ao menor índice de custo de 1)<sup>b</sup></b>
Classe 5	0% a 2%	Análise de adequação ou viabilidade	Estocástica (fatores e/ou modelos) ou julgamentos	4 a 20	1
Classe 4	1% a 15%	Estudo conceitual ou viabilidade	Principalmente estocástica	3 a 12	2 a 4
Classe 3	10% a 40%	Autorização ou controle de orçamento	Mista, mas principalmente estocástica	2 a 6	3 a 10
Classe 2	30% a 75%	Controle ou licitação/proposta	Principalmente determinística	1 a 3	5 a 20
Classe 1	65% a 100%	Verificação da estimativa ou licitação/proposta	Determinístico	1	10 a 100

Fonte: AACE Internacional (2011).

<sup>a</sup> Se o valor de índice da faixa “1” representar de +10/-5%, o valor do índice representará de +100/-50%.

<sup>b</sup> Se o valor de índice da faixa “1” representar 0,005% dos custos do projeto, o valor do índice representará 0,5%.

O processo de estimativa de custos, como descrito por diversos autores, envolve avaliar e prever o custo total para a execução de itens ou serviços em um determinado período, utilizando informações e recursos disponíveis no projeto. É um processo que demanda olhar para o futuro e tentar prever os custos e recursos necessários com base em experiências passadas e compreensão das complexidades envolvidas. Falhas nos contratos de construção muitas vezes derivam de estimativas de custos incorretas ou irrealistas.

Nessa linha, a literatura ressalta a importância de características como simplicidade, precisão e estabilidade nos métodos de estimativa. Esses métodos englobam diversas abordagens, desde as paramétricas até as baseadas em históricos, custos unitários e riscos. Além disso, é comum a prática de identificar e se basear em custos de projetos semelhantes. Dessa forma, é crucial considerar as limitações e qualidade dos dados disponíveis, que podem se tornar obstáculos para alcançar resultados de qualidade. Ainda, a prática recomendada pela AACE (17R-97) estabelece um sistema de classificação para estimativas de custos, relacionando a maturidade do projeto com as metodologias aplicáveis e a faixa de precisão esperada.

A precisão das estimativas de custos é, sem dúvida, o fator mais significativo, desempenhando um papel crucial no gerenciamento de projetos, particularmente na indústria da construção. Essa precisão é influenciada pela competência dos profissionais envolvidos, pela disponibilidade de dados históricos pertinentes e pelas metodologias e ferramentas aplicáveis. Além disso, as estimativas variam conforme o estágio do projeto, com as preliminares fornecendo uma projeção inicial dos custos com base no conceito original do projeto.

### **3.2 MÉTODO PARAMÉTRICO**

Como apresentado, estão disponíveis diversos métodos para estimativas de custos, com aplicações, vantagens e características variadas. A escolha e utilização depende do objetivo, dos dados disponíveis e do contexto em que está inserida a estimativa.

Nesse sentido, Amirshenava, *et al.* (2021) indica haver vários métodos para estimar custos, incluindo o método comparativo, o método de custo unitário, estimativa detalhada, métodos baseados em inteligência artificial e métodos baseados em regressão. A escolha do método de estimativa apropriado depende da quantidade e tipo de dados necessários, bem como da precisão desejada da estimativa. A análise de regressão e os métodos baseados em inteligência artificial são técnicas reconhecidamente eficientes para estimativa de custos. O uso de métodos baseados em inteligência artificial requer um grande volume de dados históricos para treinamento, validação e teste do modelo, por outro lado, as técnicas de análise de regressão tendem a fornecer resultados satisfatórios mesmo com conjuntos de dados relativamente pequenos.

Complementarmente, a capacidade intrínseca da abordagem paramétrica de ser transparente, de considerar explicitamente a incerteza e a possibilidade integração com ferramentas

analíticas, como a Análise de Ciclo de Vida Custeada Probabilisticamente (LCCA), oferece vantagens práticas e teóricas significativas em comparação com métodos não paramétricos, como redes neurais. Já a principal virtude de uma estratégia como a utilização de redes neurais reside em sua habilidade de modelar relacionamentos não intuitivos, complexos e não lineares entre variáveis de resposta e preditoras (SWEI *et al.*, 2017).

A parametrização pode ser compreendida como a obtenção de uma relação, traduzida em um algoritmo, estabelecida entre as informações básicas de um projeto com as quantidades e custos possivelmente empregados na materialização deste. O modelo tem sua eficácia associada a correlação, ou seja, quanto mais forte for a correlação entre as variáveis, mais eficaz será o algoritmo. O algoritmo é sempre uma simplificação da realidade, pois a correlação precisa é obtida somente com o projeto pronto, quando então, suas inúmeras variáveis tornam-se conhecidas (GONÇALVES, 2013).

A Associação para o Desenvolvimento da Engenharia de Custos (AAACE) explica a estimativa paramétrica como uma prática de estimativa que descreve algoritmos ou relações de custo que são probabilísticas em sua natureza. Os algoritmos típicos incluem, mas não se limitam, técnicas de operações com polinômios e modelos (i.e., algoritmos que replicam o desempenho e custos de determinado processo) (AAACE, 2023). De maneira similar, para Otero (2000) a estimativa paramétrica de custo é um método que utiliza de relações sob a forma de algoritmos matemáticos ou lógicos para obter estimativas de custos, podendo várias de simples regras informais ou analogias básicas até complexas funções matemáticas devolvidas por técnicas estatísticas. Ainda, o autor recomenda etapas a serem consideradas no desenvolvimento da técnica paramétrica, estas resumidas em: levantamento de dados, avaliação e tratamento dos dados, reconhecimento de direcionadores de custo, análises dos direcionadores, estabelecimento de relações paramétricas, seleção das relações válidas e validação do modelo.

Nos métodos paramétricos, a estimativa de custo é realizada pela extração de parâmetros que refletem o objeto, de maneira que, um algoritmo matemático é estabelecido com estes parâmetros determinados. Um método paramétrico representativo são as análises de regressões, estas por sua vez, baseadas em fundamentos estatísticos e probabilísticos (YANG *et al.*, 2022).

Swei *et al.* (2017) sintetiza a abordagem paramétricas na estimativa de custos como a utilização de regressões lineares múltiplas combinadas com técnicas de redução como regressões

*stepwise*, análises fatoriais e análises de componentes principais para eleger os parâmetros de influência nos custos de uma construção.

Para Sonmez (2008) em uma estimativa paramétrica, um modelo incluindo os parâmetros mais relevantes é desenvolvido para prever os custos de construção, utilizando-se de dados de projetos anteriores. Análises de regressões e redes neurais são técnicas comumente aplicadas. O autor destaca que por meio das técnicas de regressão é relativamente simples qualificar o impacto dos parâmetros no custo do projeto.

Sob um olhar matemático, os métodos paramétricos apoiam-se em uma modelagem estatística, de modo a ser obtida uma função analítica baseada em um conjunto de variáveis, entre atributos físicos, indicadores de desempenhos e outros, para a estimativa de custos. Os parâmetros eleitos para a estimativa dependem de fatores como o tipo da obra e as informações disponíveis do projeto (ISATON *et al.*, 2023).

De maneira geral, a estimativa paramétrica oferece vantagens significativas, destacadas na Quadro 3.2, especialmente sob a perspectiva governamental, associada a função, gestão pública e suas necessidades intrínsecas.

**Quadro 3.2 Método paramétrico - vantagens**

<b>VANTAGEM ESTIMATIVAS PARAMÉTRICAS</b>	<b>FONTES</b>
Rapidez e eficiência (baseadas em modelos matemáticos e estatísticos que utilizam dados históricos e parâmetros específicos do projeto para calcular os custos). Permitindo uma rápida geração de estimativas.	Swei <i>et al.</i> , 2017; Isaton <i>et al.</i> , 2023; Sonmez, 2008; Maués <i>et al.</i> 2022; ISPA, 2008.
Menor dependência de detalhes de projeto. Ela pode ser realizada mesmo quando os detalhes do projeto estão incompletos, sendo indispensável em fases iniciais ou quando as informações são limitadas	Amirshenava, <i>et. al.</i> (2021); Sonmez, 2004; Sonmez, 2008; Maués <i>et al.</i> 2022; ISPA, 2008.
Os métodos de estimativas paramétricos oferecem maior transparência e simplicidade em comparação a outras abordagens. Como esses métodos dependem de modelos matemáticos claros e parâmetros bem definidos, o processo de estimativa se torna audível. Isso significa que as suposições subjacentes, os dados de entrada e os cálculos utilizados para gerar a estimativa são explicitamente definidos e podem ser revisados e compreendidos por outras partes interessadas no projeto	Maués <i>et al.</i> 2022; Dysert, 2001, Beltrão <i>et al.</i> , 2022; ISPA, 2008.
Consistência e padronização. Eles permitem uma abordagem consistente na estimativa de custos, reduzindo a variabilidade e melhorando a precisão das estimativas. Além disso, esses modelos podem ser padronizados e compartilhados entre diferentes projetos, promovendo uma abordagem mais uniforme e eficiente na estimativa de custos	Dysert, 2001; Kato, 2011; ISPA, 2008.
A natureza matemática dos modelos paramétricos também facilita a avaliação do impacto das mudanças no escopo do projeto, nas condições do mercado ou em outros fatores relevantes nos custos. Isso	Dysert, 2001; Kato, 2011; ISPA, 2008.

VANTAGEM ESTIMATIVAS PARAMÉTRICAS	FONTES
permite a realização de análises de sensibilidade e a tomada de decisões informadas durante o ciclo de vida do projeto	
Os modelos paramétricos podem ser facilmente atualizados e ajustados à medida que mais informações se tornam disponíveis ou as condições do projeto mudam. Isso possibilita uma adaptação contínua das estimativas de custo à medida que o projeto evolui	Dysert, 2001; Kato, 2011; ISPA, 2008.

Desta maneira, diante do exposto, este trabalho é direcionado a utilização de metodologia paramétrica e a seção seguinte destaca estudos que as utilizaram para estimar custos em fases preliminares em construções de infraestrutura relacionadas a transportes.

### 3.2.1 Estudos com abordagens paramétricas para estimativas de custos

O trabalho de Sayadi *et al.* (2015) apresenta um modelo de estimativa de custos para escavação e suporte de túneis curtos, utilizando técnicas de regressão simples e múltipla. Para isso, um banco de dados composto por duas variáveis explicativas, incluindo classificação do maciço rochoso e profundidade do túnel, juntamente com a capacidade de suporte e os custos de escavação, foi compilado a partir de 12 seções de túneis no noroeste do Irã. Os resultados, com taxas médias de erro absoluto de 13% e 11%, respectivamente, obtidas a partir das análises simples e múltiplas, fornecem uma perceptível relação entre a caracterização do maciço rochoso e os custos de construção na fase de estudo de pré-viabilidade.

Swei *et al.* (2017) apresenta uma abordagem para estimativa de custos, que combina um estimador de máxima verossimilhança para transformações de dados com regressão de menor ângulo para redução de dimensionalidade. O método foi aplicado em 15 diferentes itens de licitação de pavimentação em cinco estados dos Estados Unidos. Os resultados obtidos demonstram que essa abordagem leva a estimativas paramétricas mais precisas, levando em consideração viés e a heterocedasticidade comumente presentes nos métodos trabalhos de estimativa de custos mais tradicionais. Essa precisão é de suma importância, especialmente em projetos de construção de grande escala, nos quais é crucial evitar subestimar os custos esperados e superestimar a variabilidade associada. Esta abordagem objetiva melhorar significativamente a precisão das estimativas de custos em projetos de construção, proporcionando uma base mais sólida para o planejamento e execução eficazes.

O trabalho de Gunduz e Ozturk (2011) propôs o desenvolvimento de modelos de estimativa de custo inicial para obras de via de trânsito leve e metrô, utilizando abordagens de regressão

multivariada e redes neurais artificiais. Ambas as abordagens foram aplicadas a um conjunto de dados composto por 16 projetos, usando 17 parâmetros disponíveis na fase inicial de design. A análise de regressão estimou o custo das amostras de teste com um erro de 2,32%. Por outro lado, a rede neural artificial estimou o custo com um erro de 5,76%, ligeiramente maior que o erro da regressão. Foram desenvolvidos dois modelos de estimativa de custo bem-sucedidos com base nos resultados deste trabalho.

Mahamid (2011) desenvolveu modelos de estimativa de custo inicial para projetos de construção de estradas utilizando técnicas de regressão múltipla, com base em 131 conjuntos de dados coletados na Cisjordânia, Palestina. Devido ao contexto de desenvolvimento preliminar do projeto, os dados de entrada para o modelo de precisavam ser facilmente extraídos de esboços ou definição de escopo do projeto. Foram desenvolvidos 11 modelos de regressão para estimar o custo total do projeto de construção; cinco deles incluíam quantidades de licitação como variáveis de entrada e seis incluíam comprimento e largura da estrada. O coeficiente de determinação  $R^2$  para os modelos desenvolvidos variou de 0,92 a 0,98, indicando que os valores previstos dos modelos se ajustaram bem aos dados da vida real. Os valores do erro percentual médio absoluto (MAPE) dos modelos de regressão desenvolvidos variaram de 13% a 31%.

Em uma abordagem paramétrica, mas não utilizando técnicas de regressão, Adel, *et al.* (2016) apresentou um modelo para estimativa de custo conceitual de projetos de rodovias. Para desenvolver o modelo, um banco de dados com 75 projetos de rodovias foi coletado e compilado. Entrevistas detalhadas com especialistas foram conduzidas para selecionar os fatores de entrada mais relevantes para o desenvolvimento do modelo. Partir-se então para o desenvolvimento de um modelo de rede neural supervisionado com uma camada oculta. O modelo utilizou o algoritmo de Levenberg-Marquardt como regra de retropropagação e a função tangente hiperbólica como função de transferência para ambas as camadas ocultas e de saída. Ainda, foi realizado um estudo de caso para testar sua validade e precisão no manuseio de aplicações práticas reais. Os resultados demonstraram que o modelo desenvolvido é confiável para ser utilizado nas fases iniciais de projetos de rodovias.

Ahmed (2021) desenvolveu modelos de estimativa de custos paramétricos iniciais para túneis rodoviários e ferroviários na fase de planejamento de um projeto. Isso foi realizado com base na aplicação de análise de regressão múltipla em 25 projetos construídos localizados em países

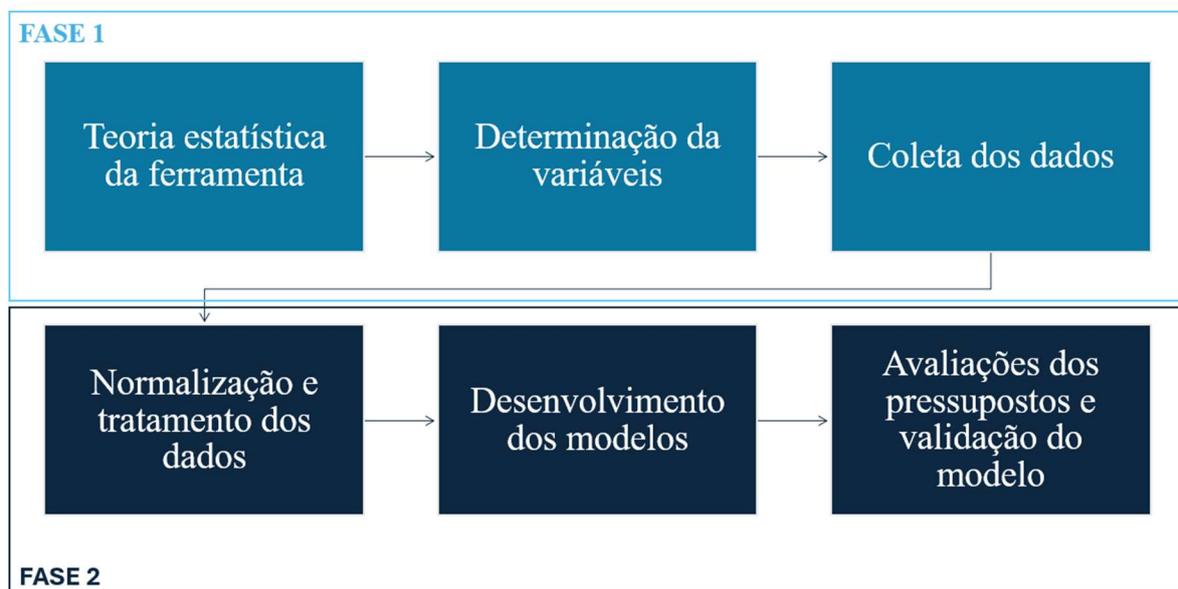
da Europa Ocidental. Os modelos desenvolvidos incorporam o comprimento do túnel, o diâmetro e o método de escavação (mecanizado ou convencional). Os resultados revelaram coeficientes de correlação ( $R^2$ ) elevados, atingindo 0,968 e 0,79 para os modelos de escavação mecanizada e convencional, respectivamente. Adicionalmente, os resultados dos modelos foram comparados com os custos reais para avaliar sua precisão e robustez. Os modelos desenvolvidos demonstraram uma precisão na estimativa de custos superior a 75%, indicando que são adequados para seu propósito e geram estimativas de custos bastante precisas para túneis rodoviários e ferroviários.

O estudo conduzido por Sonmez e Ontepeli (2009) propõe um método de modelagem paramétrica para a estimativa de custos preliminares em sistemas de transporte ferroviário urbano. Foram compilados dados de 13 projetos de metrô e VLT na Turquia, visando quantificar os efeitos dos parâmetros sobre os custos do projeto. Modelos paramétricos foram construídos mediante a aplicação de técnicas de análise de regressão e redes neurais. A avaliação do desempenho e da capacidade preditiva dos modelos permitiu a comparação entre eles. O método proposto oferece uma abordagem robusta para a determinação de um modelo paramétrico de custos durante as fases iniciais do projeto, incorporando a utilização conjunta de análise de regressão e técnicas de redes neurais. Este estudo contribui para aprimorar a compreensão e a previsão dos custos em projetos de infraestrutura ferroviária urbana, fornecendo insights valiosos para profissionais e pesquisadores do campo.

Por fim, há diversos trabalhos que desenvolvem ou aplicam métodos paramétricos para estimar custos de projetos em fases preliminares ou conceituais, não especificamente para infraestrutura de transporte. Exemplos incluem (Sonmez, 2008), Fragkakis *et al.* (2015), Mohutsiwa e Musingwini (2015), Ji S-H *et al.* (2019), Gunduz e Sahin (2015), Alshamrani (2017), Beltrão *et al.* (2022) e Isaton *et al.* (2023).

## 4 MÉTODO

A Figura 4.1 apresenta síntese das fases da metodologia utilizada, com fase bem definidas, a primeira, identificação e levantamentos, é voltada para o a teoria da ferramenta estatística ou econométrica aplicável ao objeto do estudo, e para o reconhecimento de fontes e coleta da base de dados, na segunda, o desenvolvimento do modelo, passa-se pelo tratamento dos dados, elaboração efetiva do modelo, finalizando com a avaliação dos pressupostos estatísticos necessários e sua validação.



**Figura 4.1** Método

### 4.1 REGRESSÃO LINEAR

Especificamente quanto as regressões lineares, as conceituações a seguir fundamenta-se primordialmente no livro referência de estatística para análise de dados de transporte de Washington *et al.* (2020).

Conforme apresentado, uma análise de regressão é uma técnica estatística para investigar e modelar a relação entre variáveis. Especificamente, a regressão linear, é uma das mais estudas e aplicadas em várias áreas do conhecimento. Conforme ressaltam os autores do livro referência, a técnica é adequada para uma vasta variedade de modelagens, adicionalmente, as suposições

dos modelos deste tipo são razoavelmente satisfeitas em muitas aplicações práticas, não obstante, a não observância das hipóteses pode acarretar uma utilização não adequada do modelo.

Nessa esteira, são inúmeros os pressupostos, observados em uma regressão linear, e caso qualquer destes não seja adequado, outros métodos ou ações corretivas devem ser consideradas. Dentre esses temos:

- Variáveis dependentes contínuas: a variável dependente ou explicativa pode assumir qualquer valor dentro de um intervalo de valores.
- Relação linear entre os parâmetros Y e X: A forma do modelo requer que essa relação se de forma linear, de maneira que a o modelo simples para a regressão é dado pela Equação 4.1.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \varepsilon \quad (\text{Eq. 4.1})$$

As escalas de ambas as variáveis podem ser transformadas, de maneira que uma relação linear adequada seja identificada.

- Observações independentes e amostra aleatória: A probabilidade de uma observação não é afetada pelas observações anteriores, e é proveniente de uma amostra aleatória de tamanho N de uma população.
- Erros apresentam esperança condicional zero e o erro é independente de X: em média, as estimativas superdimensionadas são iguais as estimativas subdimensionadas, ou seja, a soma dos erros do modelo é zero. E a variância do erro,  $\sigma^2$ , é independente para toda a observação (homoscedasticidade), garantindo que as incertezas inerentes, incluindo efeitos não observados, erros de medição, e variações aleatórias, não são sistemáticas. Para ambas as hipóteses, matematicamente temos as Equações 4.2 e 4.3.

$$E[\varepsilon_i] = 0 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

E

$$VAR[\varepsilon_i] = \sigma^2 \quad (\text{Eq. 4.3})$$

- Erros não autocorrelacionados: os erros são independentes ao longo das observações da amostra. Ou seja:

$$COV[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0 \text{ se } i \neq j \quad (\text{Eq. 4.4})$$

- Regressores (variável explicativa) e os erros não são correlatos: as variáveis que não são relacionadas com o erro são conhecidas como exógenas, garante que os valores determinados para os regressores são determinados por influências externas ao modelo, assim, o Y não afeta diretamente o valor de um regresso exógeno. Matematicamente expresso pela Equação 4.5.

$$COV[X_i, \varepsilon_j] = 0 \text{ para todos os } i \text{ e } j. \quad (\text{Eq. 4.5})$$

- Os erros seguem, aproximadamente, uma distribuição normal: em que pese não ser um requisito para estimativas de modelos de regressões lineares, a distribuição dos erros dever ser aproximadamente normalmente distribuídos para possibilitar inferências sobre os parâmetros do modelo. Combinado com o pressuposto das independências, temos erros independentes e normalmente distribuídos, ou:

$$\varepsilon_i \approx N(0, \sigma^2) \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Superada as hipóteses básicas, é possível descrever um modelo que relaciona uma variável dependente Y com uma variável independente X, assim, o modelo de regressão linear para uma população de interesse é expresso na Equação 4.7.

$$E[Y_i|X_i] = E[\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1,i}] \quad (\text{Eq. 4.7})$$

Nessa esteira, para a definição do modelo e consequente obtenção dos parâmetros  $\beta$  da população, utiliza-se informações obtidas de uma amostra e técnicas apropriadas de estimativa de parâmetros da população baseada na amostra obtida, com destaque aqui para o estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO/OLS) e máxima verossimilhança (MLE).

O MQO seleciona os parâmetros de maneira que a soma do quadrado dos resíduos obtidos seja minimizada, ou seja, procura a solução que minimiza a função Q, conforme apresentado na Equação 4.8.

$$\begin{aligned}
 Q_{min} &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2_{min} = \sum_{i=1}^n (Y_i - [\beta_0 + \beta_1 X_i])^2_{min} \\
 &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2_{min} \quad (\text{Eq. 4.8})
 \end{aligned}$$

Portanto, os valores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$  que minimizam a função Q são mínimos quadrados estimados. Ainda, sabendo que  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são parâmetros da população e desconhecidos, pode-se obter estimadores de  $B_0$  e  $B_1$ , que são variáveis randômicas dependes da amostra. Nesse sentido, ao substituir os parâmetros populacionais pelas variáveis de acordo com a amostra, e solucionando a equação após a derivada parcial por cada um dos parâmetros, obtém-se as Equações 4.9 e 4.10.

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

E

$$B_1 = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i - B_1 \sum_{i=1}^n X_i) = \bar{Y} - B_1 \bar{X} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Já no caso verossimilhança, basicamente busca-se obter um parâmetro com o valor mais verossímil possível, ou seja, valor que maximiza a probabilidade de a amostra observada ocorrer, de maneira que podemos assumir que a função probabilidade das variáveis aleatórios da amostra sejam aceitas para os parâmetros populacionais. O procedimento parte de uma função de verossimilhança, como a descrita abaixo, até a maximização da equação logarítmica de verossimilhança (Equação 4.11) para a obtenção dos betas desejados.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n, \boldsymbol{\beta}) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \boldsymbol{\beta}) = L(\boldsymbol{\beta}|X) \quad (\text{Eq. 4.11})$$

## 4.2 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Naturalmente, a variável dependente deste estudo consiste no custo associado às construções de pistas e áreas de decolagem. O objetivo primordial desta pesquisa é investigar os determinantes desse custo. O desafio metodológico que se apresenta reside na identificação e análise das variáveis independentes relevantes para a modelagem do referido custo. Entretanto, em virtude do contexto de precificação inerente à fase preliminar dos projetos aeroportuários, essa tarefa ganha viabilidade e relevância analítica.

No âmbito da concepção de investimentos em infraestrutura aeroportuária, defrontamo-nos com uma lacuna de dados, especialmente em relação aos aspectos pertinentes às pistas, pátios e demais áreas de decolagem. Nesse contexto, o propósito fundamental consiste em projetar uma operação aeroportuária capaz de satisfazer as exigências operacionais específicas de uma determinada região. A partir dessa premissa, derivam-se as possíveis configurações de aeronaves que eventualmente operarão nessa localidade. A influência dessas aeronaves, por sua vez, está intimamente relacionada às características geométricas e funcionais das infraestruturas aeroportuárias.

Adicionalmente, a capacidade de transporte, seja de passageiros ou de cargas, está intrinsecamente condicionada ao peso máximo que a pista e as infraestruturas associadas podem suportar, o que ressalta a importância do Número de Classificação do Pavimento (PCN) como uma variável-chave na análise de custos. Portanto, tanto as características geométricas das infraestruturas quanto a capacidade de suporte do pavimento aeroportuário emergem como variáveis de interesse para a modelagem proposta.

É pertinente destacar que, usualmente, durante as fases iniciais de decisão e concepção de projetos aeroportuários, as informações disponíveis estão justamente limitadas às possíveis dimensões físicas das instalações e às especificações das aeronaves que se pretende operar. Além disso, outros fatores, como a localização do investimento e a natureza do empreendimento (construção de novas instalações, expansão ou reconstrução), devem ser considerados como variáveis contextuais potencialmente influentes no modelo proposto, derivadas das informações iniciais do projeto.

### 4.3 DADOS

As fontes primordiais de dados são as licitações da Infraero realizadas ao longo dos anos, disponível em site próprio para pesquisa, e os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) da 4ª a 7ª rodadas de concessões aeroportuária, disponibilizados pelo Ministério dos Transportes.

A pesquisa de licitações da Infraero nos permite a inclusão de uma diversidade de dados como entrada, Figura 4.2. Utilizou-se do recurso “Objeto contendo” para localizar as licitações realizadas com qualquer relação a pista de pouso e decolagem, com cerca de 200 resultados desde 2010.

The image shows a web interface for searching bidding processes. At the top, there is a navigation bar with the INFRAERO AEROPORTOS logo and four menu items: "Pesquisa de Licitações", "Psq. Registro de Preços", "Licitações Eletrônicas", and "Normas e Regulamentos". The main heading is "Pesquisa de Licitações". Below this, there is a section titled "Informe palavras-chave para pesquisar as licitações:". The search criteria are as follows:

- Processo: A dropdown menu.
- Número: Four input boxes separated by slashes ( / ).
- Objeto contendo: A text input field with the value "Pista de pouso e decolagem".
- Razão Social: A text input field.
- Cnpj: A text input field with a note "Não utilizar caracteres como: . / -".
- Contrato: A text input field.
- Situação: A dropdown menu.
- Ordenação por data de abertura: A checkbox that is checked.

At the bottom of the search criteria, there are two buttons: "PESQUISAR" and "LIMPAR". Below the buttons, there is a link: "Para acessar o serviço de Licitação Eletrônica, clique aqui."

**Figura 4.2** Portal licitações da INFRAERO

A partir destes resultados, foram avaliados os objetos das licitações efetivamente, assim como as informações disponíveis nos processos, de maneira que fosse possível extrair dados orçamentários, o objeto do projeto com detalhes, memórias descritivos e segregar essas informações exclusivamente para a PPD.

Salienta-se os desafios para a obtenção dos dados, as licitações disponíveis não são padronizadas, apresentam características diferentes de acordo com o setor proponente, algumas não possuíam dados eletrônicos, sendo necessário o comparecimento em local e data específica para a coleta dos termos de referência, outros casos apresentam digitalizações de baixa

qualidade e ilegíveis, ainda, havia situações de agregação e generalização de custos, onde o serviço tinha como custo de referência um verba, impossibilitando a discriminação para um objeto específico.

Isto posto, na pesquisa do objeto “pista de pouso e decolagem”, foram identificados 203 registros diversos. A avaliação previa do objetivo da licitação encontrada, permite o primeiro filtro. Por exemplo, a licitação 023/ADLI-1/SBSN/2022, tem descrita: “Contratação de empresa especializada para execução de serviços técnicos de supressão de vegetação, no entorno da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Santarém – SBSN”, ainda que sejam serviços relacionadas a pista de pouso e decolagem, a característica do serviço nos permite eliminá-la da verificação mais aprofundada.

Por outro lado, em licitações como 197/ADLI-1/SEDE/2021, que tem como objetivo: “contratação de empresa especializada para execução das obras de reforma da pista de pouso e decolagem, taxi e pátio de aeronaves, construção de cerca operacional no Aeroporto de Itacoatiara-AM (SBIC)”. Exigem uma análise aprofunda, que, conforme mencionado, seja possível obter todas as informações necessárias para a adoção do custo. Especificamente para esse caso, no processo licitatório não foi possível identificar nenhuma planilha de custo, ou proposta de empresas interessadas, o que impossibilitou sua utilização.

Não obstante, exemplos como a licitação 171/LALI-1/SBFI/2019, que apresenta o seguinte objeto: “contratação de serviços técnicos especializados de engenharia para elaboração dos projetos nas etapas de projeto executivo e para execução das obras e serviços referentes à ampliação da pista de pouso e decolagem (ppd 14/32) do aeroporto internacional de Foz do Iguaçu - Cataratas/PR.” Tem entre os documentos do processo licitatório, além dos detalhes do projeto, planilha de quantidade, as proposta vencedores e habilitadas, permitindo o trabalho de coleta da amostra de custos, ainda que a proposta esteja em condições ruins de digitação, como demonstra Figura 4.3.

As avaliações exemplificadas foram realizadas para os 203 registros, e foi possível extrair dados consistentes de sete processos.



EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA  
 DIRETORIA DE OPERAÇÕES E SERVIÇOS TÉCNICOS - DIO  
 SUPERINTENDÊNCIA DE ENGENHARIA - ODEP  
 FÉRENCIA FORMAL DE PROJETOS DE ENGENHARIA - EPFE  
 FÉRENCIA DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE ENGENHARIA - FEPE

PSP - PLANILHA DE SERVIÇOS E PREÇOS		ORÇAMENTO	PLANO DE CUSTOS			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)	VALOR UNITÁRIO
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE KIT CONECTOR SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR, PARA CABO DE SEÇÃO NOMINAL 20MM <sup>2</sup> , COM PLUG MACROFÔRNEA, SOLUÇÕES O.G.S.V. CONFORME NBR 8878 E IMA-NC (15/3145-24 J)-431	UN	250,00	183,13	R\$ 45.782,50	118
18.05.03.08.003	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE CABO PRIMÁRIO, SINGELO, CONECTOR FORMADO POR FIOS DE COBRE MEL, TEMPERA MOLE, ISOLAÇÃO EM EP/FRUC PARA SOC, COM BLENDELAGEM METÁLICA, PARA CIRCUITO DE TRILHEAMENTO, SEÇÃO 30 MM <sup>2</sup> , CLASSE DE ENLAZAMENTO 3,4/4 KV REFERÊNCIA: EPFOFORNA DA PERMANÊNCIA EQUIVALENTE COM CONECTOR NORMAS ABNT - NBR 7732 E NBR 7733 E IGD - MANUAL DE PROJETO DE AERODROMO, PARTE 3, SISTEMAS ELÉTRICO	M	30.850,00	28,21	R\$ 869.178,30	128
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO DE CABO DE COBRE 20MM <sup>2</sup> , SOLUÇÕES EM PVC FIO/AFV, CONFORME NBR 8878	M	3.180,00	7,30	R\$ 23.214,00	123
18.05.03.08.001	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE CABO DE COBRE 20MM <sup>2</sup> , SOLUÇÕES EM PVC FIO/AFV, CONFORME NBR 8878	M	3.180,00	7,30	R\$ 23.214,00	123
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PAINEL DE SINALIZAÇÃO VERTICAL, LED, SÉRIE 6,6A BRILHO VARIÁVEL, 60HZ, COMPONENTES DE PAINEL E ESTRUTURAS EM ALUMÍNIO EXTRUDIDO, COM PAINEL FINANCIEIRO PARA A MARCAÇÃO EM POSICIONAMENTO DE ALTA RESISTÊNCIA E LÂMPADA PAINEL INDICATIVO DE LOCALIZAÇÃO (LUCO) DISTINTO, SEPARADOS EM CARRIOS DISTINTOS, COM CARACTERES PRETOS OU BRANCO CONTRASTANDO COM PLANO AMARELO, VERMELHO OU PRETO, RESPECTIVAMENTE - COMPLETO INCLUINDO BASES CONFORMES NBR 14930 E INDICAÇÕES DAS FICHAS DESEMNADAS DE PROJETO, INCLUINDO EXECUÇÃO DE BASES E TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO - PAINEL BEMBAIXADORA	QI	2,00	29.500,00	R\$ 59.000,00	130
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PAINEL DE SINALIZAÇÃO VERTICAL, LED, SÉRIE 6,6A BRILHO VARIÁVEL, 60HZ, COMPONENTES DE PAINEL E ESTRUTURAS EM ALUMÍNIO EXTRUDIDO, COM PAINEL FINANCIEIRO PARA A MARCAÇÃO EM POSICIONAMENTO DE ALTA RESISTÊNCIA E LÂMPADA PAINEL INDICATIVO DE LOCALIZAÇÃO (LUCO) DISTINTO, SEPARADOS EM CARRIOS DISTINTOS, COM CARACTERES PRETOS OU BRANCO CONTRASTANDO COM PLANO AMARELO, VERMELHO OU PRETO, RESPECTIVAMENTE - COMPLETO INCLUINDO BASES CONFORMES NBR 14930 E INDICAÇÕES DAS FICHAS DESEMNADAS DE PROJETO, INCLUINDO EXECUÇÃO DE BASES E TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO - PAINEL BEMBAIXADORA	QI	1,00	29.500,00	R\$ 29.500,00	130
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PAINEL DE SINALIZAÇÃO VERTICAL, LED, SÉRIE 6,6A BRILHO VARIÁVEL, 60HZ, COMPONENTES DE PAINEL E ESTRUTURAS EM ALUMÍNIO EXTRUDIDO, COM PAINEL FINANCIEIRO PARA A MARCAÇÃO EM POSICIONAMENTO DE ALTA RESISTÊNCIA E LÂMPADA PAINEL INDICATIVO DE LOCALIZAÇÃO (LUCO) DISTINTO, SEPARADOS EM CARRIOS DISTINTOS, COM CARACTERES PRETOS OU BRANCO CONTRASTANDO COM PLANO AMARELO, VERMELHO OU PRETO, RESPECTIVAMENTE - COMPLETO INCLUINDO BASES CONFORMES NBR 14930 E INDICAÇÕES DAS FICHAS DESEMNADAS DE PROJETO, INCLUINDO EXECUÇÃO DE BASES E TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO - PAINEL BEMBAIXADORA	QI	1,00	29.500,00	R\$ 29.500,00	130
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UNIDADE DE LUZ DE PAINEL, SÉRIE 6,6A - 5 MÓDULOS, 60HZ, LED, MONTADO EM SUPORTE FRANGÍVEL - COMPLETO INCLUINDO EXECUÇÃO DE BASES E TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO	QI	4,00	28.500,00	R\$ 114.000,00	130
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UNIDADE DE LUZ DE PAINEL, SÉRIE 6,6A - 5 MÓDULOS, 60HZ, LED, MONTADO EM SUPORTE FRANGÍVEL - COMPLETO INCLUINDO EXECUÇÃO DE BASES E TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO	QI	4,00	28.500,00	R\$ 114.000,00	130
18.05.03.08.001	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE BARRA METÁLICA 300 X 800 PARA DE PROTEÇÃO, COM TAPETA DE PROTEÇÃO, NBR 14930, INCLUINDO TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO	UN	4,00	1.800,00	R\$ 7.200,00	131
18.05.03.08.001	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE BARRA METÁLICA 300 X 800 PARA DE PROTEÇÃO, COM TAPETA DE PROTEÇÃO, NBR 14930, INCLUINDO TODOS OS ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS À COMPLETA INSTALAÇÃO	UN	4,00	1.800,00	R\$ 7.200,00	131
18.05.03.08.001	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR DE ISOLAMENTO, SEV, 60HZ, 8 BARRAS, COM CERTIFICAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DE 100 COM AS NORMAS APLICÁVEIS DA IEC 60074-24, NBR 14930-1, IMA-NC (15/3145-24)-474 - POTÊNCIA 200VA	UN	33,00	1.500,00	R\$ 49.500,00	132
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE CABO PRIMÁRIO, SINGELO, CONECTOR FORMADO POR FIOS DE COBRE MEL, TEMPERA MOLE, ISOLAÇÃO EM EP/FRUC PARA SOC, COM BLENDELAGEM METÁLICA, PARA CIRCUITO DE TRILHEAMENTO, SEÇÃO 30 MM <sup>2</sup> , CLASSE DE ENLAZAMENTO 3,4/4 KV REFERÊNCIA: EPFOFORNA DA PERMANÊNCIA EQUIVALENTE COM CONECTOR NORMAS ABNT - NBR 7732 E NBR 7733 E IGD - MANUAL DE PROJETO DE AERODROMO, PARTE 3, SISTEMAS ELÉTRICO	M	7.000,00	17,80	R\$ 124.660,00	133
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO DE CABO DE COBRE 20MM <sup>2</sup> , SOLUÇÕES EM PVC FIO/AFV, CONFORME NBR 8878	M	65,00	7,30	R\$ 474,50	123
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE KIT CONECTOR PRIMÁRIO DO TRANSFORMADOR COM PLUG RECEPTÁVEL, SOLUÇÕES PARA SEV-30A, PARA CABO DE SEÇÃO NOMINAL DE 20MM <sup>2</sup> , CONFORME NBR 8878 E IMA-NC (15/3145-24)-431	UN	33,00	330,00	R\$ 10.890,00	130
18.05.03.08.002	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE KIT CONECTOR SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR, PARA CABO DE SEÇÃO NOMINAL 20MM <sup>2</sup> , COM PLUG MACROFÔRNEA, SOLUÇÕES O.G.S.V. CONFORME NBR 8878 E IMA-NC (15/3145-24 J)-431	UN	33,00	345,13	R\$ 11.389,29	130
18.05.03.08.002	REMOÇÃO CUIDADOSA DE CABO DE MEIO TÊNDRIO DE CIRCUITOS EXISTENTES, EMBALAGEM E ARRANJAMENTO DOS MEIOS, EM LOCAL DETERMINADO PELA FISCALIZAÇÃO	QI	1,00	20.000,00	R\$ 20.000,00	134
18.05.03.08.002	REMOÇÃO CUIDADOSA DAS UNIDADES DE LUZ E EQUIPAMENTOS (TAMPONALDORES) EXISTENTES, EMBALAGEM E ARRANJAMENTO DOS MEIOS, EM LOCAL DETERMINADO PELA FISCALIZAÇÃO	QI	1,00	4.000,00	R\$ 4.000,00	134

Rodovia PR 566, S/Nº - Km 5,5 - São Miguel - CEP: 85609-350 - Francisco Beltrão - PR  
 Cx. Postal 21 - Fones: (46) 3520-9550 / (42) 3035-9550 - www.dalbaengenharia.com.br  
 CNPJ 03.222.465/0001-85 Insr. Estadual 903.00088-01



Autenticado digitalmente por MARCO ANTONIO ALMEIDA DA COSTA em 16/01/2020 00:00:00.  
 Documento Nº: 890686.3988142-7090 - consulta à autenticidade em  
<https://sigadoc.infraero.gov.br/sigaex/public/app/autenticar>

Figura 4.3 Proposta Habilitada da licitação 171/LALI-1/SBFI/2019

Quanto aos EVTEAs, temos 53 disponíveis para os aeroportos concedidos desde a quarta rodada, a Figura 4.4 exemplifica um desses relatório, destes 17 contam com intervenções

(ampliação, nova pista ou reconstrução) na PPD e foram selecionados. De maneira semelhante, os estudos de viabilidade contam com centenas de planilhas, para centenas de serviços associados ao aeroporto, foi necessário selecionar e decompor os custos pertinente, bem como as quantidades relacionadas.

De maneira resumida, a rastreabilidade dos custos e das quantidades se dá a partir da planilha capex fornecida nos estudos, Figura 4.6. Por ela é identificado onde intervenções nas PPD são existentes, além de obter um código que permite a rastreabilidade na planilha de custos, Figura 4.7, e quantidade, Figura 4.8. Nessas planilhas, normalmente os vários serviços associados a pista de pouso são agregados, então deve-se selecionar as linhas de interesse, de modo que apenas os serviços objetos deste estudo sejam consideradas.



**Figura 4.4** EVTEA

#### 4.4 TRATAMENTO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados foram ajustados conforme a necessidade de criação do modelo. Foi preciso separar todos os custos relacionados a construção ou ampliação de pavimentos de pistas, além disso, identificar os quantitativos destes serviços e quantificar a parte relacionado as pistas. Nas planilhas orçamentárias da Infraero, exemplo na Figura 4.5, os custos são advindos das propostas protocolos nos processos, enquanto os quantitativos estão presentes nos memoriais descritivos ou nas especificações técnicas específicas. Os estudos de viabilidades têm do formatos diferentes de acordo com a rodadas, mas em geral, como mencionado, possuem uma planilha central com todos os custos de CAPEX, planilhas detalhadas para serviços específicos, e planilhas de quantidades, exemplificadas nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8. Dentre essas, foram selecionas o que era relacionadas as intervenções na PPD em cada caso.

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL REAL (R\$)	ÍNDICE REALISTE
<b>01 GERENCIAMENTO E CANTEIRO DE OBRAS</b>						R\$ 2.124.671,42	
<b>1.1 INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS</b>						R\$ 422.960,28	
1.1.1		Instalação do Canteiro de Obras da CONTRATADA, inclusive Ligações Provisórias (água, esgoto e energia) e Placa de Ocas	CI	1,00	R\$ 422.960,28	R\$ 422.960,28	1 02
<b>1.2 ADMINISTRAÇÃO LOCAL</b>						R\$ 633.265,81	
1.2.1		Administração Local da Odra	CI	1,00	R\$ 633.265,81	R\$ 633.265,81	1 01
<b>1.3 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS</b>						R\$ 341.328,70	
1.3.1		Operação e Manutenção do Canteiro de Obras	CI	1,00	R\$ 341.328,70	R\$ 341.328,70	1 01
<b>1.4</b>						R\$ 663.143,03	
1.4.1		Mobilização	CI	1,00	R\$ 448.063,88	R\$ 448.063,88	1 02
1.4.2		Desmobilização	CI	1,00	R\$ 214.079,15	R\$ 214.079,15	1 02
<b>1.5 PCAO</b>						R\$ 63.973,60	
1.5.1		Execução do PCAO - Plano de Controle Ambiental da Odra	CI	1,00	R\$ 63.973,60	R\$ 63.973,60	1 02
<b>02 EXECUÇÃO DAS OBRAS</b>						R\$ 7.598.946,66	
<b>2.1 TERRAPLANAGEM DO PÁTIO E NIVELAMENTO DA FAIXA PREPARADA</b>						R\$ 774.109,60	
<b>2.1.1 Limpeza do Terreno</b>						R\$ 90.303,78	
2.1.1.1		Limpeza mecanizada da camada vegetal	M2	77.080,00	R\$ 0,46	R\$ 35.426,80	1 05
2.1.1.2		Carga, transporte e espalhamento de camada vegetal - DMT=1 km	M3	11.846,00	R\$ 4,63	R\$ 54.846,96	1 05
<b>2.1.2 Terraplenagem</b>						R\$ 229.967,02	
2.1.2.1		Regularização de subleito	M2	77.080,00	R\$ 1,08	R\$ 83.246,40	1 05
2.1.2.2		Escavação, Carga, transporte e espalhamento de material 1a Categoria	M3	10.198,00	R\$ 7,13	R\$ 72.711,74	1 05
2.1.2.3		Compactação de aterros a 100% do Produtor Intermediário	M3	9.092,00	R\$ 8,14	R\$ 74.008,88	1 05
<b>2.1.3 Revestimento em grama</b>						R\$ 422.894,08	
2.1.3.1		Plantio de gramas em placas ou rolos	M2	14.368,00	R\$ 13,06	R\$ 187.646,08	1 02
2.1.3.2		Plantio de gramas por hidrosemeadura	M2	62.400,00	R\$ 3,77	R\$ 235.248,00	1 02
<b>2.1.4 Rodada</b>						R\$ 30.944,72	
2.1.4.1		Rodada mecanizada, incluindo remoção do material rodado	HA	9,00	R\$ 3.052,93	R\$ 27.476,37	1 02
2.1.4.2		Rodada com roçadeira costal, incluindo remoção do material rodado	HA	1,00	R\$ 3.468,35	R\$ 3.468,35	1 02
<b>2.2 PAVIMENTAÇÃO DA PPD, TAXIS E PÁTIO</b>						R\$ 5.868.009,94	
<b>2.2.1 Execução de Trecho Experimental</b>						R\$ 74.875,54	
2.2.1.1		Pintura de ligação com emulsão asfáltica RR-1C	M2	1.200,00	R\$ 0,30	R\$ 360,00	1 08
2.2.1.2		Aquisição de emulsão asfáltica RR-1C	T	0,54	R\$ 4.907,33	R\$ 2.649,96	1 06
2.2.1.3		Transporte de emulsão asfáltica RR-1C	T	0,54	R\$ 408,39	R\$ 220,53	1 06
2.2.1.4		Concreto asfáltico usinado a quente - Capa	M3	60,00	R\$ 517,85	R\$ 31.071,00	1 08
2.2.1.5		Aquisição de cimento asfáltico CAP 50/70	T	8,23	R\$ 4.501,74	R\$ 37.124,50	1 06
2.2.1.6		Transporte de cimento asfáltico CAP 50/70	T	8,23	R\$ 419,75	R\$ 3.461,55	1 06
<b>2.2.2 Fregagem Descontínua</b>						R\$ 11.983,73	
2.2.2.1		Fregagem descontínua de revestimento asfáltico	M3	150,625	R\$ 63,80	R\$ 9.609,88	1 08
2.2.2.2		Carga, transporte e espalhamento de material Pesado - DMT=2 km	M3	150,625	R\$ 15,76	R\$ 2.373,85	1 08
<b>2.2.3 Selagem de Trincas</b>						R\$ 19.191,30	
2.2.3.1		Selagem de trincas mecanizada em pavimento flexível com emulsão asfáltica	M	4.505,00	R\$ 4,26	R\$ 19.191,30	1 08
<b>2.2.4 Pavimentação</b>						R\$ 5.647.307,31	

Figura 4.5 Planilha orçamentaria do processo de licitação da INFRAERO

SBCT	AEROPORTO INTERNACIONAL DE CURITIBA		CAPEX DE INVESTIMENTOS				BACCU				CPEA			INFRAWAY		MP		Profinter		TERRAFIMA	
							QUANTIDADES				PREÇOS UNITÁRIOS (R\$)				PREÇOS TOTAIS (R\$)						
							Numeração	Descrição	Unidade	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
10000000	SISTEMA DE PISTAS E PÁTIOS											314.625.558,61	18.767.895,21	12.338.391,44							
11000000	Pista de Pouso e Decolagem (PPD)											153.324.733,66	45.975,66	319.310,56							
11100000	PPD 1 - Pista de Pouso e Decolagem											20.325.190,89	45.975,66	319.310,56							
11110000	Extensão / Construção / Ampliação											14.162.951,36	45.975,66	319.310,56							
11111000	PPD 1 - Projetos Executivos de Engenharia - PPD	m²	4.532,69	1,00	1,00	-	91,01	1.339,10	3.300,31	-	-	412.513,15	1.339,10	3.300,31							
11112000	PPD 1 - Serviços Preliminares	m²	4.532,69	1,00	1,00	-	383,94	5.649,26	39.235,29	-	-	1.740.272,95	5.649,26	39.235,29							
11113000	PPD 1 - Terraplenagem e Drenagem	m²	4.532,69	-	-	-	357,41	-	-	-	-	1.620.011,57	-	-							
11114000	PPD 1 - Pavimento Flexível - Área de Rolagem	m²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
11115000	PPD 1 - Balizamento Noturno	m²	4.532,69	-	1,00	-	668,04	-	270.774,96	-	-	3.028.037,12	-	270.774,96							
11116000	PPD 1 - Sinalização Vertical	m²	-	1,00	-	-	-	38.987,30	-	-	-	-	38.987,30	-							
11117000	PPD 1 - Auxílios a Navegação Aérea	m²	4.532,69	-	-	-	1.624,23	-	-	-	-	7.362.186,57	-	-							
11118000	PPD 1 - Sinalização Horizontal	m²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
11200000	PPD 1 - Acostamento de Pista de Pouso e Decolagem											446.466,98	-	-							
11210000	Extensão / Construção / Ampliação											13.003,89	-	-							
11211000	PPD 1 - Projetos Executivos de Engenharia - Acost. PPD	m²	3.777,24	-	-	-	3,44	-	-	-	-	54.853,64	-	-							
11212000	PPD1 - Acostamento PPD - Serviços Preliminares	m²	3.777,24	-	-	-	14,52	-	-	-	-	378.603,45	-	-							
11213000	PPD 1 - Pavimento Flexível - Acostamento	m²	3.777,24	-	-	-	100,23	-	-	-	-	-	-	-							
11300000	PPD 1 - Geotecnia de Pista de Pouso e Decolagem											278.156,36	-	-							
11310000	Extensão / Construção / Ampliação											8.101,64	-	-							
11311000	PPD 1 - Projetos Executivos de Engenharia - Geotec. PPD	m²	3.777,24	-	-	-	2,14	-	-	-	-	270.054,72	-	-							
11312000	PPD 1 - Geotecnia PPD	m²	3.777,24	-	-	-	71,50	-	-	-	-	-	-	-							
11400000	PPD 1 - Implantação RESA Cabeceira Menor											603.053,40	-	-							
11410000	Extensão / Construção / Ampliação											31.478,92	-	-							
11411000	PPD 1 RESA Menor - Projetos Executivos de Engenharia	m²	36.000,00	-	-	-	0,87	-	-	-	-	132.800,41	-	-							
11412000	PPD 1 RESA Menor - Serviços Preliminares	m²	36.000,00	-	-	-	3,69	-	-	-	-	438.780,07	-	-							
11413000	PPD 1 RESA Menor - Terraplenagem	m²	36.000,00	-	-	-	12,19	-	-	-	-	477.716,90	-	-							
11420000	PPD 1 RESA Menor - Geotecnia											477.716,90	-	-							
11421000	PPD 1 RESA Menor - Geotecnia	m²	36.000,00	-	-	-	13,27	-	-	-	-	477.716,90	-	-							
11500000	PPD 1 - Implantação RESA Cabeceira Maior											534.108,47	-	-							
11510000	Extensão / Construção / Ampliação											23.470,64	-	-							
11511000	PPD 1 RESA Maior - Projetos Executivos de Engenharia	m²	36.000,00	-	-	-	0,82	-	-	-	-	150.441,02	-	-							
11512000	PPD 1 RESA Maior - Serviços Preliminares	m²	36.000,00	-	-	-	4,18	-	-	-	-	354.136,81	-	-							
11513000	PPD 1 RESA Maior - Terraplenagem	m²	36.000,00	-	-	-	9,84	-	-	-	-	477.716,90	-	-							
11520000	PPD 1 RESA Maior - Geotecnia											477.716,90	-	-							
11521000	PPD 1 RESA Maior - Geotecnia	m²	36.000,00	-	-	-	13,27	-	-	-	-	477.716,90	-	-							
11600000	PPD 1 - Implantação de Faixa de Pista Preparada											3.345.014,52	-	-							
11610000	Extensão / Construção / Ampliação											97.427,61	-	-							
11611000	PPD 1 FP - Projetos Executivos de Engenharia	m²	290.524,63	-	-	-	0,34	-	-	-	-	625.788,30	-	-							
11612000	PPD 1 FP - Serviços Preliminares	m²	290.524,63	-	-	-	2,15	-	-	-	-	2.621.798,61	-	-							
11613000	PPD 1 FP - Terraplenagem e Nivelamento de Faixa	m²	290.524,63	-	-	-	9,02	-	-	-	-	-	-	-							

Figura 4.6 Planilha orçamentária EVTEA.

11100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB	11100000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	11100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	11100000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	11100000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB	11100000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB
11200000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,13 MB	11300000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	11400000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	11500000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	11600000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	11700000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB
11700000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	11700000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	11700000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	11800000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,13 MB	11900000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	12000000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB
12100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	12200000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	12300000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB	12300000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	12300000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	12300000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB
12400000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,13 MB	12500000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	12600000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	12700000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	12800000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	13100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,31 MB
13100000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13100000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13100000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13200000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,13 MB	13300000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	13400000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB
13400000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13400000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13400000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	13500000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,13 MB	13600000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	13700000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB
13700000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB	13700000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	13700000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,10 MB	14000000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	14000000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	14000000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB
14300000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB	14300000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	14300000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	14300000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	14600000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,18 MB	14600000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB
101100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,17 MB	101100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,17 MB	102100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	102100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	102100000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	103100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB
103100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB	103100000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,19 MB	104100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	105100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,30 MB	105100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,30 MB	105100000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,30 MB
105200000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	105200000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,14 MB	105200000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,14 MB	111100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,26 MB	112100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,16 MB	112100000 1-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB
112100000 2-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	112100000 2-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	112100000 3-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	112100000 3-Mxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,09 MB	121100000 1-Lxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,15 MB	131100000 1-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB
131100000 2-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	131100000 3-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	131100000 4-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,23 MB	131200000 1-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,04 MB	131200000 2-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,03 MB	131200000 3-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,03 MB
131200000 4-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 1,03 MB	131300000 1-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 87,3 KB	131300000 2-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 87,4 KB	131300000 3-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 87,4 KB	131300000 4-Pxslm Planilha Habilitada para Macros d... 87,4 KB	

Figura 4.7 Planilhas de custos conforme codificação

MIP AEROPORTOS 2019 - EDITAL DE CHAMAMENTO PÚBLICO DE ESTUDOS Nº 3/2019																
PLANILHA REFERENCIAL - 12300000 1-I																
PPD 3 - PISTA DE POUSO E DECOLAGEM ( I )																
				CÓDIGO:	12300000	REAJUSTE:										
				DATA BASE:	janeiro-19	AIUSTE:										
ETAPA	CICLO 1	REV 07	SBC2	AEROPORTO DE CURITIBA/PR - AFONSO PENA												
ITEM	MÁSCARA	CÓDIGO	ORGÃO	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	CUSTO UNIT. SEM BDI	BDI	%	CUSTO UNIT. COM BDI	TOTAL SEM BDI	TOTAL COM BDI	TOTAL SEM BDI REAJUSTADO	TOTAL COM BDI REAJUSTADO	PREÇO UNIT. PARCIAL	PESO (%)
1	12311000			PROJETOS												
1.1				PROJETOS EXECUTIVOS			1.654.124,52	2.032.732,27		1.654.124,52	2.032.732,27	2.032.732,27	2.032.732,27	15,06	2,91%	
2	12312000			SERVIÇOS PRELIMINARES			6.978.270,11	8.575.506,04		6.978.270,11	8.575.506,04	8.575.506,04	8.575.506,04	63,52	12,29%	
2.1				SERVIÇOS INICIAIS			6.978.270,11	8.575.506,04		6.978.270,11	8.575.506,04	8.575.506,04	8.575.506,04			
2.2				DEMOLIÇÕES			-	-		-	-	-	-			
3	12313000			TERRAPLENAGEM E DRENAGEM			7.447.553,85	9.235.711,53		7.447.553,86	9.235.711,53	9.235.711,53	9.235.711,53	68,41	13,23%	
3.1				TERRAPLENAGEM			5.254.786,78	6.516.461,09		5.254.786,79	6.516.461,10	6.516.461,10	6.516.461,10			
3.2				DRENAGEM			2.192.767,06	2.719.250,43		2.192.767,07	2.719.250,43	2.719.250,43	2.719.250,43			
4	12314000			PAVIMENTAÇÃO			12.711.104,54	15.223.027,93		12.711.104,55	15.223.027,95	15.223.027,95	15.223.027,95	112,76	21,81%	
4.1				PAVIMENTO FLEXÍVEL			12.711.104,54	15.223.027,93		12.711.104,55	15.223.027,95	15.223.027,95	15.223.027,95			
5	12318000			SINALIZAÇÃO HORIZONTAL			1.406.804,57	1.744.586,14		1.406.804,57	1.744.586,15	1.744.586,15	1.744.586,15	12,92	2,50%	
5.1				SINALIZAÇÃO HORIZONTAL			1.406.804,57	1.744.586,14		1.406.804,57	1.744.586,15	1.744.586,15	1.744.586,15			
6	12315000			BALIZAMENTO NOTURNO			12.513.691,02	15.518.228,23		12.513.691,02	15.518.228,23	15.518.228,23	15.518.228,23	114,95	22,24%	
6.1				BALIZAMENTO			12.513.691,02	15.518.228,23		12.513.691,02	15.518.228,23	15.518.228,23	15.518.228,23			
7	12316000			SINALIZAÇÃO VERTICAL			167.807,47	208.098,04		167.807,47	208.098,04	208.098,04	208.098,04	1,54	0,30%	
7.1				SINALIZAÇÃO			167.807,47	208.098,04		167.807,47	208.098,04	208.098,04	208.098,04			
8	12317000			AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO AÉREA			13.912.252,57	17.252.584,42		13.912.252,57	17.252.584,42	17.252.584,42	17.252.584,42	127,80	24,72%	
8.1				AUXÍLIOS			13.912.252,57	17.252.584,42		13.912.252,57	17.252.584,42	17.252.584,42	17.252.584,42			
TOTAIS											56.791.608,66	69.790.474,60	56.791.608,67	69.790.474,63	516,97	100,00%
Área [m²] 135.000,00																

**Figura 4.8** Planilha de quantidades EVTEA

Para ambas as fontes, os diversos serviços diferem em nomenclatura ou técnicas descritas nas planilhas e propostas de preços, ainda que o objetivo final seja o mesmo. Por exemplo, há diferentes tipos de bases para pavimentos flexíveis, desta maneira, com o objetivo de uniformizar as diferenças, arbitrou-se por agregar um grupo de atividades para cada serviço que compõem a construção de um pavimento aeroportuário, a depender do caso, os serviços poderiam abarcar de uma a diversas das atividades agrupadas.

Os serviços destacados na construção do pavimento, de acordo com as planilhas e orçamentos colhidas na INFRAERO e no EVTEAS, podem ser subdivididos em: terraplenagem, base, revestimento e sinalização. Estes são compostos pelas seguintes atividades e suas pequenas variações.

- Terraplenagem
  - Serviços preliminares (Limpeza de terreno)
  - Cortes
  - Aterros
  - Empréstimos
  - Escavação e carga

- Transporte de matérias
- Compactação
- Base
  - Regularização de subleito
  - Imprimação
  - Sub-base
  - Base de solo-cimento
  - Base de brita graduada
  - Base estabilizada
- Revestimento
  - Pintura de ligação
  - Aquisição e transporte de matérias asfálticas
  - Concreto Asfáltico/Betuminoso Usinado a Quente (Binder e capa)
  - Concreto Asfáltico/Betuminoso Usinado a Quente com polímeros (capa)
  - Emulsão asfáltica
  - Ensaio e testes exigidos
- Sinalização
  - Sinalização horizontal – cor amarela

- Sinalização horizontal – cor branca

Por fim, é necessário ajustar os custos na questão temporal, ou seja, normalizá-lo para uma data adotada, uma vez que cada orçamento corresponde a um período distinto. Para isso, utilizamos o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), amplamente reconhecido no mercado imobiliário, por investidores, construtoras e pelo governo, para atualizar os valores para dezembro de 2023. O INCC é um indicador econômico que acompanha a evolução dos preços no setor da construção civil no Brasil e é divulgado mensalmente pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

#### 4.5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Para o desenvolvimento dos modelos foi utilizado o Gretl, *software* de economia que oferece uma ampla gama de ferramentas para análise econométrica, modelagem de séries temporais e análise estatística (GRET, 2024). Ele disponibiliza, entre outras, modelos de regressões lineares múltiplas por mínimos quadrados ordinários, permite também a criação de variáveis *dummies* e diversos testes e avaliações de pressupostos, como a existência ou não de heterocedasticidade.

A princípio, conforme observado no item 4.1, assume-se como um modelo dito “ingênuo” ou “*naive*”. No contexto de modelagem, um modelo ingênuo pode ser entendido como o ponto de partida para entender um problema ou fenômeno, onde reconhece-se que todas as variáveis independentes são significativas, além de capazes de explicar a variável dependente de maneira competente. É importante ressaltar que a construção de um modelo estatístico é um processo iterativo. Começa-se com uma abordagem inicial, como um modelo ingênuo, mas então se avança refinando e ajustando o modelo com base em análises mais detalhadas dos dados. Isso pode envolver a remoção de variáveis irrelevantes, a inclusão de novas variáveis, a consideração de interações entre variáveis.

Desta maneira, o modelo inicial é:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \beta_3 X_{3,i} + \beta_4 X_{4,i} \quad (\text{Eq. 4.12})$$

Em que,

$Y_i$  = Custo do pavimento aeroportuário;

$X_{1,i}$  = Área de pista;

$X_{2,i}$  = PCN;

$X_{3,i}$  = *Dummy* para a região (Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul);

$X_{4,i}$  = *Dummy* para a região (Nova Pista, Ampliação e Recuperação).

Os resultados obtidos a partir da análise dos dados revelaram a necessidade premente de desenvolver e testar novos modelos de análise. Para isso, foi empregado o método conhecido como *stepwise* da regressão múltipla, uma abordagem que se destaca pela capacidade de reduzir as variáveis dependentes menos significativas e incluir aquelas que se mostram essenciais para a compreensão do fenômeno em questão. Esta metodologia revelou-se particularmente valiosa diante das características complexas dos dados em estudo.

Uma observação importante foi a emergência da necessidade de especificar modelos direcionados aos diferentes elementos construtivos de um pavimento. Ao invés de uma abordagem generalista, focar nos aspectos individuais como revestimento, base, terraplanagem e sinalização, revelou-se crucial para uma compreensão mais profunda dos fatores que impactam o custo total de uma obra.

Ao desenvolver modelos separados para cada elemento construtivo, torna-se possível realizar uma análise mais flexível dos resultados. Essa abordagem permite não só uma compreensão mais detalhada do custo associado a cada serviço, mas também a identificação de padrões específicos e a análise do impacto de variáveis individuais em cada etapa do processo construtivo.

Dessa forma, ao desenvolver modelos mais refinados e específicos, não só ampliamos nossa compreensão sobre os custos e processos envolvidos na construção de pavimentos, mas também abrimos caminho para uma análise mais precisa e estratégica na tomada de decisões relacionadas à engenharia civil e construção de infraestrutura.

#### **4.6 AVALIAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS E VALIDAÇÃO DOS MODELOS**

Nesta etapa são avaliados os resultados de significância estatísticas dos coeficientes, confirmando ou não a ideia de que as variáveis têm impacto no modelo de regressão a

determinado nível de confiança, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo, que permite verificar o grau de ajuste da regressão as observações colhidas, e o *p-valor* da estatística F do modelo, que em caso de rejeição da hipótese nula (valor abaixo de 0,05, para o caso de 95% de confiança) quer dizer que o modelo apresenta significância estatística como um todo.

Adicionalmente são realizados 3 testes, o teste *RESET de Ramsey* (RAMSEY, 1969), usado para verificar se o modelo de regressão está adequadamente especificado ou se há problemas que podem levar a resultados incorretos ou viesados, endereçando os pressupostos de relação dos parâmetros. O teste de *White* (WHITE, 1980) para verificar a existência de heteroscedasticidade, ou garantindo a independência da variância do erro, pressupostos do modelo. E o teste para avaliar o pressuposto de normalidade dos resíduos de Doornik-Hansen, que é uma extensão do teste omnibus de Jarque-Bera, que avalia se a assimetria e a curtose dos resíduos se assemelham à de uma distribuição normal. Cabe destacar que o teste de Doornik-Hansen tem algumas vantagens sobre o teste de *Jarque-Bera*, incluindo uma melhor performance em amostras pequenas, o caso deste estudo, e a capacidade de lidar com variáveis dependentes correlacionadas (DE ANDRADE, 2013).

Pressupostos associados a amostra, como sua independência e aleatoriedade, foram garantidas na coleta de dados. Quanto a característica exógena das regressões, e a independência dos erros (erros não autocorrelacionados), foram endereçados no desenvolvimento do modelo, como na remoção de variáveis *dummies* de valores mais altos.

Com esse conjunto de verificações é possível avaliar de maneira global o modelo e realizar os ajustes necessários para seu aprimoramento.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 MODELO CUSTO TOTAL

O primeiro modelo proposto, parte de suposição de independência e significância das variáveis, portanto, com a variável dependente custo total, tem ainda como variáveis independentes a área de pista e PCN, *dummies* relacionadas a localização das intervenções, as regiões brasileiras, além de *dummies* para tipologia de intervenção, notadamente caracterizada por nova pista, ampliação ou recuperação, além disso, conta com 24 observações na amostra. No desenvolvimento do modelo é essencial a remoção de uma das *dummies* de cada categoria, com vista a evitar multicolinearidade.

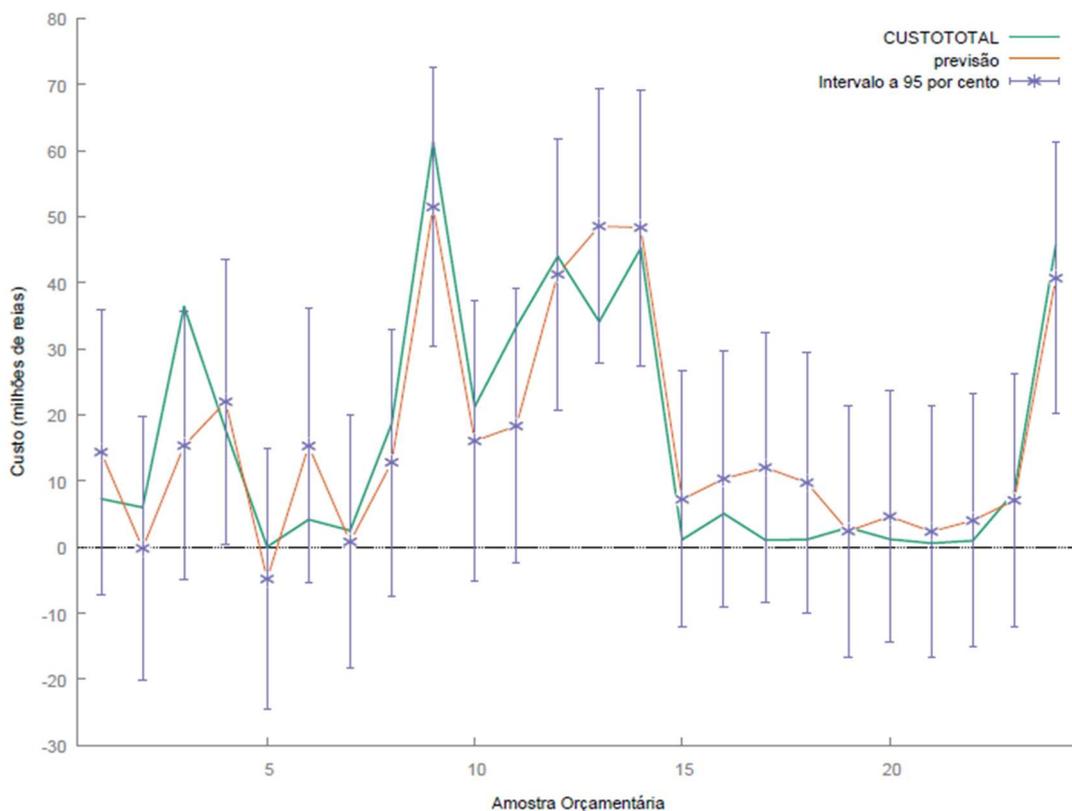
Os resultados primários foram insatisfatórios, não apresentando significância estatística para as variáveis e resultando na rejeição da adequação da especificação do modelo segundo o teste Reset de Ramsey. No entanto, ao eliminar variáveis do modelo de acordo com o *p-valor* lateral, é possível obter um resultado com variáveis significativas, e com testes de especificação (*Reset*), heteroscedasticidade (*White*) e normalidade dos resíduos adequados. Neste caso, a equação resultante do modelo para o custo total é função da área de pista, PCN e sofre efeitos do tipo de intervenção exclusivamente para novas pistas, além disso o coeficiente de determinação  $R^2$  apresenta um ajuste aceitável do modelo aos dados e o *p-valor* é bastante significativo. A Tabela 5.1 enumera os coeficientes identificados para cada variável e seus respectivos *p-values*, bem como as estatísticas gerais do modelo.

**Tabela 5.1** Resultado modelo custo total

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	$1,27e^{-07}$	0,80	8,99
Constante	-7,78	0,059	-	-
Área de Pista	0,00013	0,043	-	-
PCN	0,29	0,012	-	-
<i>Dummy</i> (nova pista)	19,41	0,016	-	-

Ainda, para tal modelo, é possível verificar a elasticidade da variável dependentes em relação as independentes ao logaritmizar as variáveis do modelo. Desse modo, a elasticidade do custo

total quanto a área de pista é de cerca de 0,90, enquanto em relação ao PCN é cerca de 0,97, quase uma elasticidade unitária. Cabe suplementarmente observar os custos totais coletados nas observações em comparação com a previsão do modelo em um intervalo de confiança de 95%, conforme Figura 5.1. Assim, os custos totais para pistas de pouso e decolagem, devem estar dentro do intervalo proposto em 95% das vezes.



**Figura 5.1** Gráfico do modelo de previsões para o custo total

Pode-se notar pelo gráfico que a amostra orçamentária 5 apresenta valor negativo para o custo total, indicando uma resposta inadequada, mesmo com o modelo ajustado. Observa-se que, para esta observação, o custo total se aproxima de zero, o que pode indicar uma distorção no modelo para valores muito baixos. Desta maneira, optou-se por examinar a inserção de *dummies* que abordassem esta questão, ou seja, que classificassem as intervenções de acordo com sua significância financeira.

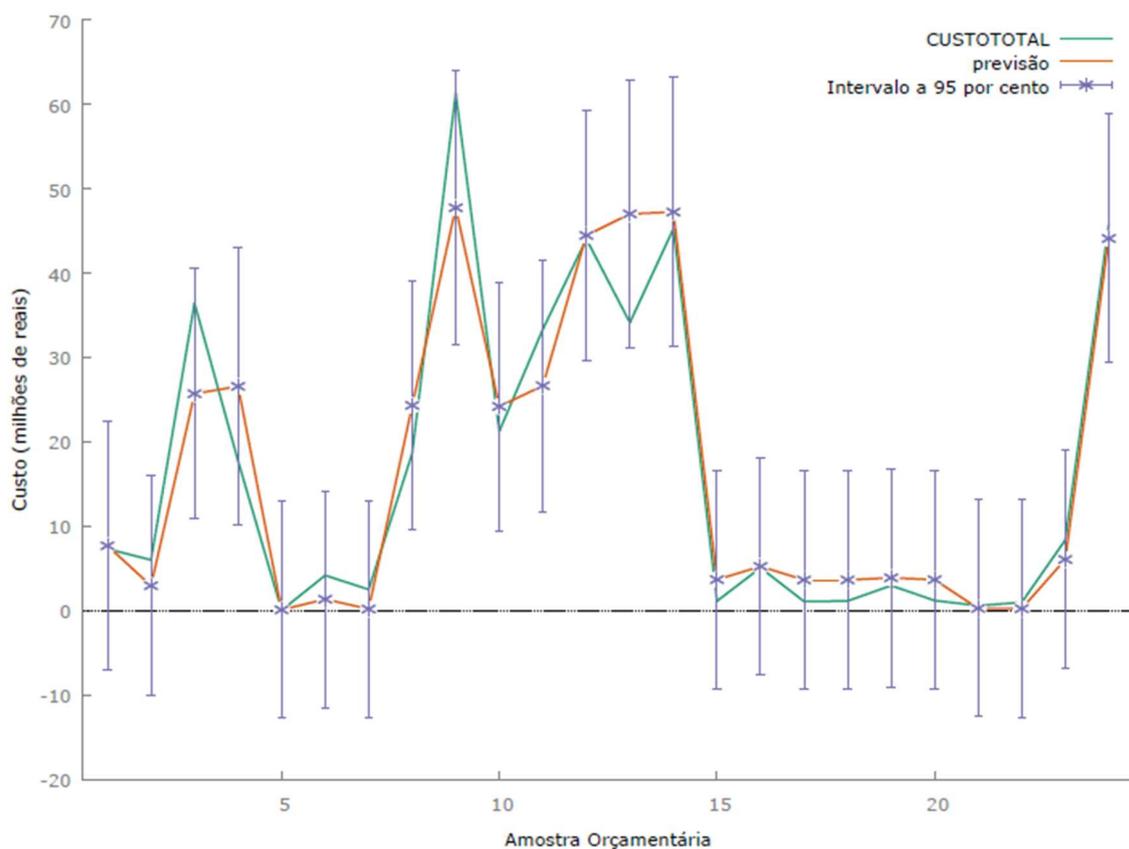
Assim, três *dummies* foram adicionadas: pequeno porte (menos de um milhão de reais), médio porte (entre um e dez milhões de reais) e grande porte (acima de 10 milhões de reais). Novos modelos foram desenvolvidos e ajustados, ainda com 24 observações, de modo que os

resultados das previsões fossem corrigidos. O modelo mais adequado, em termos de testes e estatísticas, após ajustes e remoção de *dummies* não significativas, ainda que para a variável área de pista o resultado não seja totalmente adequado, significativo apenas a 10%, é apresentado na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** Resultado modelo de custo total ajustado

	COEFICIENTE	P-VALOR	R <sup>2</sup>	ERRO PADRÃO
Modelo	-	2,99e <sup>-10</sup>	0,91	6,02
Constante	16,03	0,019	-	-
Área de Pista	0,000081	0,072	-	-
<i>Dummy</i> (recuperação)	-16,00	0,022	-	-
<i>Dummy</i> (ampliação)	-12,77	0,033	-	-
<i>Dummy</i> (grande)	20,01	3,82e <sup>-5</sup>		

Com modelo de previsão ajustado com resultado positivo para todas as amostras orçamentárias, Figura 5.2 e Figura 5.3.



**Figura 5.2** Gráfico do modelo de previsões para o custo total ajustado

Para intervalos de confiança de 95%,  $t(19, 0,025) = 2,093$

	CUSTOTOTAL	previsão	erro padrão	intervalo a 95%
1	7,299065	7,673073	7,022314	-7,024799 - 22,370945
2	5,989612	2,941454	6,195753	-10,026405 - 15,909314
3	36,397490	25,675688	7,064566	10,889381 - 40,461995
4	17,723198	26,543492	7,871190	10,068902 - 43,018082
5	0,023061	0,078219	6,146937	-12,787468 - 12,943906
6	4,159062	1,339984	6,123071	-11,475751 - 14,155718
7	2,495445	0,175278	6,142562	-12,681253 - 13,031809
8	18,640472	24,292599	7,035177	9,567805 - 39,017394
9	61,265719	47,695128	7,733674	31,508363 - 63,881894
10	21,234713	24,165210	7,036243	9,438184 - 38,892235
11	33,303128	26,622011	7,127464	11,704059 - 41,539964
12	43,991253	44,419393	7,087877	29,584295 - 59,254490
13	34,098877	46,967187	7,561097	31,141629 - 62,792745
14	45,220783	47,192630	7,612906	31,258634 - 63,126626
15	1,119947	3,656922	6,172191	-9,261621 - 16,575466
16	5,063592	5,221996	6,134908	-7,618514 - 18,062507
17	1,075341	3,620525	6,174359	-9,302558 - 16,543608
18	1,131358	3,620525	6,174359	-9,302558 - 16,543608
19	2,952961	3,875305	6,160410	-9,018581 - 16,769191
20	1,181816	3,649643	6,172620	-9,269799 - 16,569085
21	0,577064	0,252601	6,139378	-12,597266 - 13,102468
22	0,958326	0,220733	6,140658	-12,631812 - 13,073279
23	8,343369	6,043761	6,159396	-6,848003 - 18,935525
24	45,753128	44,055422	7,038504	29,323665 - 58,787179

Estatísticas de avaliação da previsão usando 24 observações

Erro Médio	8,5117e-016
Erro Unitário Médio Quadrado	5,3596
Erro Absoluto Médio	3,685
Erro Percentual Médio	-35,829
Erro Percentual Médio Absoluto	73,144
U1 de Theil	0,10936
Proporção do viés, UM	0
Proporção da regressão, UR	0
Proporção do distúrbio, UD	1

**Figura 5.3** Resultados modelo de previsões para o custo total ajustado

Não obstante, foram testados diferentes especificação de modelos, incluindo a remoção das *dummies* que caracterizam o tipo ou região, com dados individualizados por tipo, seja só para recuperação, só para ampliações ou para novas pista, além de combinações diferentes das variáveis. Os modelos resultantes não demonstram grandes avanços, com exceção do modelo que colocou o custo total dependente apenas da área de pista e do PCN, este apresentou coeficientes bastante significativos, entretanto, com o  $R^2$  de 0,75, menor que do modelo

anteriormente especificado e erro padrão da regressão superior, de 9,77, enquanto para o modelo anterior era de 8,99.

## **5.2 MODELO DE CUSTO POR ELEMENTO CONSTRUTIVO**

Como mencionado, em alternativa ao modelo de custos totais, foi abordado especificamente cada elemento construtivo, de maneira que seja viável a previsão dos custos apenas para o revestimento, base, terraplanagem ou sinalização, para determinada pista de interesse em dada região. Esses modelos apresentam vantagens para a utilização sob perspectiva governamental, devido a natural abordagem mais flexível dos serviços, além de sua característica mais específica e para alguns casos, mais aderente.

### **5.2.1 Revestimento**

O primeiro destes modelos é o que endereça o serviço de revestimento de pavimentos aeroportuários. Espera-se que as mesmas variáveis aplicadas na modelo de custos totais tenham relevância do custo do revestimento. Como menciona no método, parte-se de uma modelo inicial, que é refinado até o ajuste mais adequado, de acordo com a significância dos coeficientes e os testes do modelo, e para o caso do revestimento, novamente temos 23 observações validas.

Os resultados do primeiro modelo testado foram satisfatórios, apresentando significâncias a 5% para as variáveis área de pista, PCN e para as *dummies* Nordeste e Centro-Oeste, e significância de 10% para a constante e para a *dummy* Recuperação. O *p-valor* do modelo foi bastante significativo com um  $R^2$  adequado. Os testes de especificação (*Reset de Ramsey*), de heteroscedasticidade (*White*) e da normalidade dos resíduos todos foram realizados, atestando respectivamente, a adequação do modelo, a não presença de heteroscedasticidade e a distribuição normal dos erros. A Tabela 5.3 resume os resultados dos coeficientes discutidos para este modelo. Também foi possível verificar uma elasticidade de 0,81 da variável área de pista para o custo do serviço de revestimento.

**Tabela 5.3** Resultado modelo custo revestimento

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	$2,20e^{-07}$	0,88	2,85
Constante	-6,57	0,071	-	-
Área da Pista	0,000077	0,0394	-	-
PCN	0,18	0,005	-	-
<i>Dummy</i> (nordeste)	-5,39	0,007	-	-
<i>Dummy</i> (centro-oeste)	-4,59	0,015	-	-
<i>Dummy</i> (recuperação)	2,36	0,095	-	-

Não obstante, optou-se por testar a eliminação das variáveis usando alfa bilateral de 0,10. Resultando em maior significância das variáveis restantes e redução do erro padrão, ainda que o R<sup>2</sup> tenha diminuído, os coeficientes e estatísticas estão apresentados na Tabela 5.4. Este modelo derivado também satisfaz os todos os três testes executados.

**Tabela 5.4** Resultado modelo custo revestimento com variáveis eliminadas

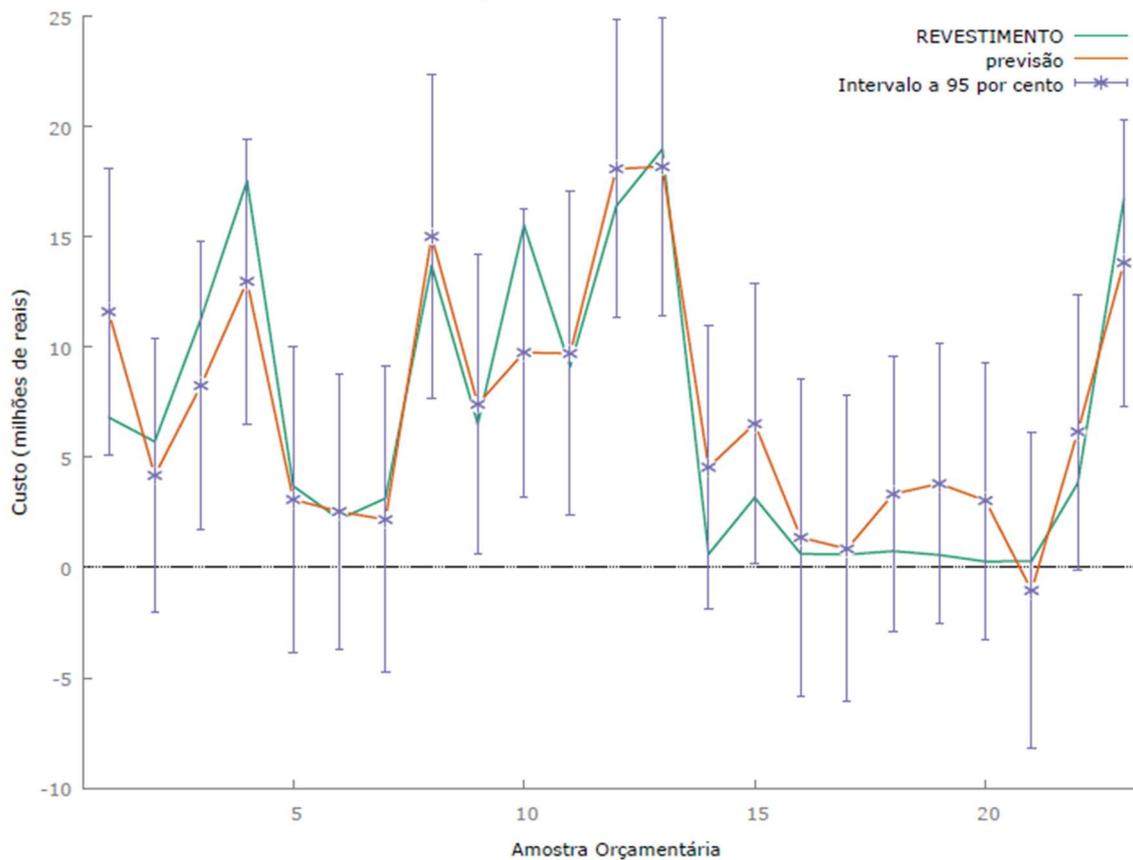
	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	$2,80e^{-07}$	0,85	2,78
Constante	-3,41	0,165	-	-
Área da Pista	0,000093	$8,18e^{-07}$	-	-
PCN	0,14	0,015	-	-
<i>Dummy</i> (nordeste)	-5,04	0,009	-	-
<i>Dummy</i> (centro-oeste)	-4,37	0,023	-	-

Adicionalmente, com a remoção da contante, temos as estatísticas e coeficiente da Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** Resultado modelo custo revestimento com variáveis eliminadas 2

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	$4,70e^{-10}$	0,92	2,93
Área da Pista	0,000093	$1,26e^{-06}$	-	-
PCN	0,081	0,0003	-	-
<i>Dummy</i> (nordeste)	-4,39	0,022	-	-
<i>Dummy</i> (centro-oeste)	-4,53	0,025	-	-

Finalmente, é possível observar o resultado do modelo de previsões e o intervalo de confiança para o último caso, com maior R<sup>2</sup>, na Figura 5.4.



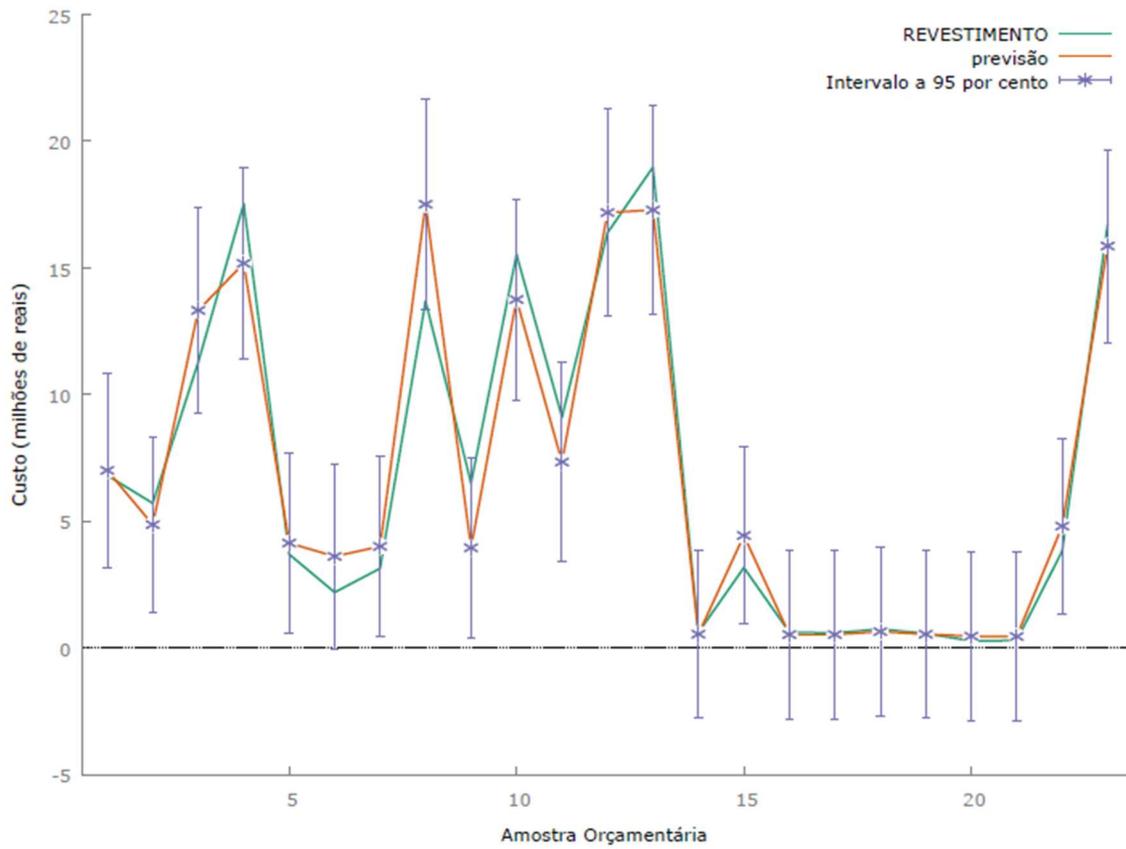
**Figura 5.4** Gráfico do modelo de previsões para o custo do revestimento

Semelhante ao modelo de custos totais, foi identificado resultado negativo no modelo para uma amostra orçamentária e novamente este custo se aproximava de zero, o que pode indicar uma distorção no modelo para valores muito baixos. A mesma solução foi testada, com três as *dummies* definidas para o porte das intervenções, ainda contando com 24 observações válidas. Os modelos foram desenvolvidos e ajustados, de modo que os resultados das previsões fossem corrigidos e estão apresentados na Tabela 5.6.

**Tabela 5.6** Resultado modelo custo revestimento ajustado

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	1,16e <sup>-12</sup>	0,95	1,58
Constante	3,55	0,0001		
Área da Pista	0,000037	0,015	-	-
<i>Dummy</i> (pequeno porte)	-3,18	0,0002	-	-
<i>Dummy</i> (grande porte)	8,69	4,14e <sup>-07</sup>	-	-

O modelo de previsão dos custos de pavimento ajustado, com resultado positivo para todas as amostras orçamentárias, tem resultado conforme a Figura 5.5 e Figura 5.6.



**Figura 5.5** Gráfico do modelo de previsões para o custo do revestimento ajustado

Para intervalos de confiança de 95%,  $t(19, 0,025) = 2,093$

	REVESTIMENTO	previsão	erro padrão	intervalo a 95%
1	6,811247	7,009243	1,824018	3,191529 - 10,826956
2	5,710195	4,866208	1,658954	1,393978 - 8,338438
3	11,277856	13,323229	1,948786	9,244374 - 17,402085
4	17,521486	15,177779	1,806929	11,395834 - 18,959724
5	3,698441	4,140873	1,688951	0,605857 - 7,675889
6	2,195704	3,613357	1,737616	-0,023516 - 7,250230
7	3,140110	4,008994	1,699072	0,452795 - 7,565193
8	13,686584	17,510390	1,994950	13,334910 - 21,685869
9	6,508996	3,951297	1,703936	0,384917 - 7,517677
10	15,523131	13,751836	1,894194	9,787242 - 17,716431
11	9,114078	7,338940	1,879120	3,405897 - 11,271983
12	16,383866	17,180692	1,945547	13,108616 - 21,252769
13	18,971655	17,282799	1,960140	13,180179 - 21,385419
14	0,609521	0,546546	1,585659	-2,772276 - 3,865368
15	3,170181	4,437601	1,671358	0,939408 - 7,935794
16	0,621573	0,530061	1,585647	-2,788737 - 3,848859
17	0,590659	0,530061	1,585647	-2,788737 - 3,848859
18	0,746988	0,645455	1,586237	-2,674578 - 3,965488
19	0,572754	0,543249	1,585655	-2,775564 - 3,862062
20	0,275523	0,466173	1,585833	-2,853014 - 3,785359
21	0,296267	0,451739	1,585925	-2,867640 - 3,771119
22	3,827353	4,809793	1,659695	1,336012 - 8,283574
23	16,724050	15,861901	1,820639	12,051260 - 19,672543

Estatísticas de avaliação da previsão usando 23 observações

Erro Médio	-2,7997e-016
Erro Unitário Médio Quadrado	1,4406
Erro Absoluto Médio	1,0599
Erro Percentual Médio	-7,7787
Erro Percentual Médio Absoluto	22,253
U1 de Theil	0,077121
Proporção do viés, UM	0
Proporção da regressão, UR	0
Proporção do distúrbio, UD	1

**Figura 5.6** Resultado do modelo de previsões para o custo do revestimento ajustado

### 5.2.2 Base

De maneira semelhante foram testadas variações de modelos para o serviço base, entretanto, nenhum resultado apresentou-se completamente satisfatório. Inicialmente, para este caso, 19 observações foram possíveis na composição na amostra. O primeiro teste, com todas as variáveis e *dummies*, tem significância a 10% apenas para a variável PCN. Dentre os diversos

modelos derivados, alguns poucos resultados eram especificados com uma ou mais *dummies* estatisticamente significantes, entretanto, apresentavam R<sup>2</sup> muito baixo, por volta de 0,39. Outros casos, apenas uma ou outra variável dependente teve significância para 10%. Dentre as alternativas, o modelo custo da base em função da área da pista associado, PCN e a *dummy* de localidade Sul, foi capaz de apresentar coeficientes significantes a 5% para alguns coeficientes e um R<sup>2</sup> de 0,63, apresentados na Tabela 5.7. Por outro lado, o teste de Ramsey rejeitou a especificação como adequada, e o teste de White detectou a presença de heteroscedasticidade.

**Tabela 5.7** Resultado modelo custo da base

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	0,001	0,63	7,64
Constante	-14,2973	0,635	-	-
Área da Pista	0,00011	0,0089	-	-
PCN	0,356	0,0287	-	-
<i>Dummy</i> (Sul)	-7,88	0,0789		

Uma análise complementar possível é sobre a elasticidade dos coeficientes de área de pista e PCN em relação ao custo da base. Ao observar o modelo aplicando o logaritmo dos custos, da área e do PCN, temos um R<sup>2</sup> bom e um *p-valor* significativo, descritos na Tabela 5.8, e significância dos coeficientes para 5%. O que quer dizer que podemos aceitar os coeficientes e identificar uma elasticidade do 0,9 do custo e de 2,07 do PCN em relação a área da PPD.

**Tabela 5.8** Modelo para elasticidade de custos da base

	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	8,24e <sup>-07</sup>	0,83	0,88
Constante	-16,40	1,30e <sup>-5</sup>	-	-
Log - Área da Pista	0,90	5,33e <sup>-5</sup>	-	-
Log - PCN	2,07	0,020		

### 5.2.3 Terraplenagem

O mesmo processo de desenvolvimento dos modelos dos serviços anteriores foi aplicado. Entretanto, os resultados não foram estatisticamente significantes. Este serviço apresenta 17 observações, efeito direto das dificuldades de obtenção de dados, como mencionado anteriormente. O modelo utilizando as variáveis de área de pistas, PCN e as *dummies* de região

e tipo de intervenção não apresentou nenhum coeficiente estatisticamente significativo. As tentativas de remoção de variáveis foram infrutíferas, com os resultados de modelos não ajustados.

O único modelo com coeficiente da variável significativa foi o custo de terraplenagem em função apenas da área de pista. Este modelo teve *p-valor* de 0,003, significativa a 5%, no entanto, o  $R^2$  é de 0,41, o que mostra pouco ajuste do modelo aos dados observados. Ainda, esse modelo, sujeito aos testes básicos, não apresentou heteroscedasticidade e os resíduos não são distribuídos normalmente.

#### 5.2.4 Sinalização

No caso do serviço de sinalizações, seguindo novamente os mesmos procedimentos e métodos, os resultados mostraram-se melhores que o modelo para terraplenagem, porém, com problemas. Novamente, 24 observações validadas compunham a amostra. O primeiro modelo testado foi relativamente interessante, com significância para 5% para algumas *dummies*, sem, entretanto, a variável área de pista. Os testes rejeitaram a adequação da especificação e a não existência de heteroscedasticidade, as estatísticas, bem como os coeficientes estão elencando na Tabela 5.9.

**Tabela 5.9** Resultado modelo custo da sinalização

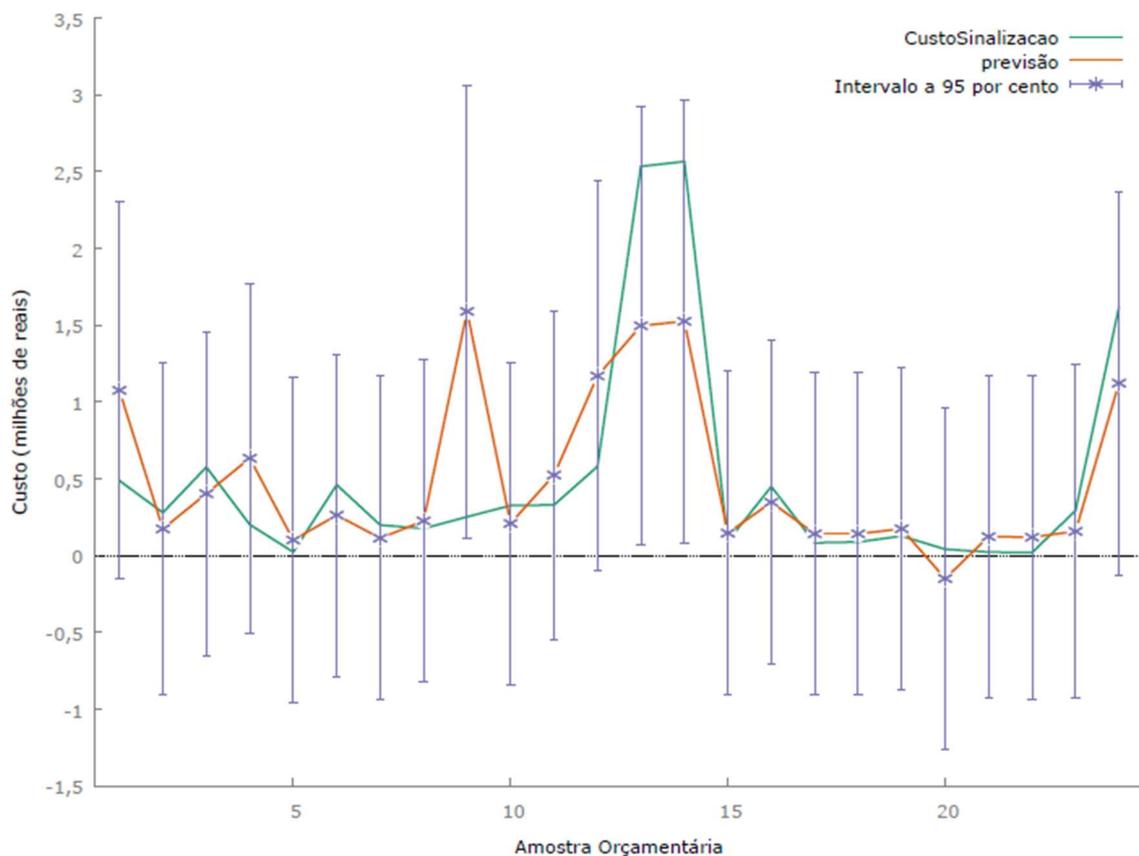
	<b>COEFICIENTE</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
Modelo	-	0,73	0,0024	0,42
Constante	0,62	0,0026	-	-
<i>Dummy</i> (sudeste)	-0,42	0,046	-	-
<i>Dummy</i> (norte)	-0,41	0,039		
<i>Dummy</i> (nordeste)	-0,69	0,086		
<i>Dummy</i> (centro)	-0,82	0,015	-	-
<i>Dummy</i> (nova pista)	1,27	0,0013		

Já no caso dos modelos derivados, foi obtido resultado com redução de variáveis. Um modelo do custo de sinalização em função da área de pista e a *Dummy* para a região Norte foi especificado, conforme apresentado na Tabela 5.10. Mas novamente houve falhas nos testes de verificação, o teste de especificação (*Reset de Ramsey*) foi adequado, entretanto, o teste de *White* verificou a existência de heteroscedasticidade e foi rejeitada a normalidade dos resíduos.

**Tabela 5.10** Resultado modelo custo da sinalização em função da área

	COEFICIENTE	P-VALOR	R <sup>2</sup>	ERRO PADRÃO
Modelo	-	0,04	0,55	0,50
Constante	0,095	0,165	-	-
Área da Pista	0,0000103	0,013	-	-
Dummy (Norte)	-0,294	0,0972	-	-

Não obstante às falhas apontadas no modelo, a Figura 5.7 mostra o resultado do modelo de previsões para os custos de sinalização e o intervalo de confiança de 95%.



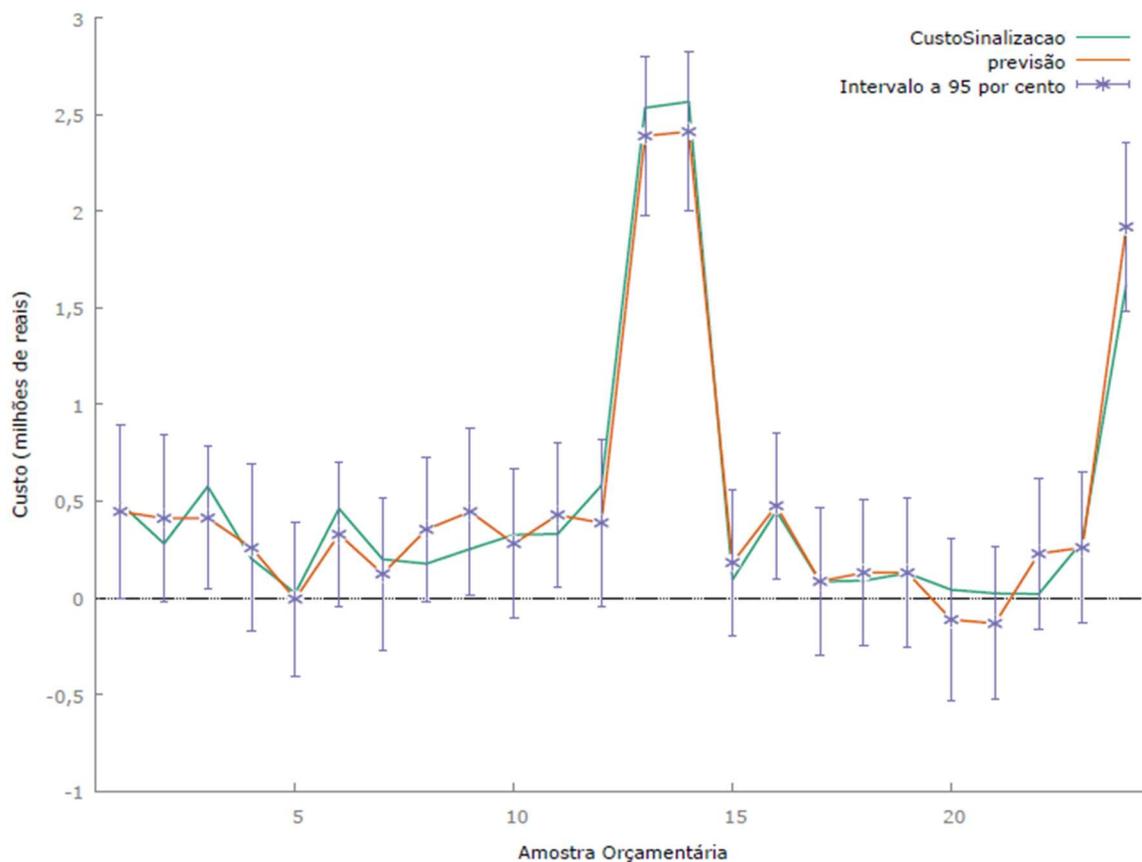
**Figura 5.7** Gráfico do modelo de previsões para o custo da sinalização

Novamente, com a intensão de ajustar o modelo em relação aos resultados negativos, foram inseridas três *dummies* delimitadas pelo porte das intervenções, especialmente para o caso das sinalizações, por ser naturalmente um serviço menos custos, foram assim definidas: pequeno porte (menos de cem mil reais), médio porte (entre cem mil e um milhões de reais) e grande porte (acima de um milhão de reais). Novos modelos foram desenvolvidos, de modo que os resultados das previsões fossem corrigidos. O modelo ajustado, apresentado na Figura 5.8, não

obteve sucesso em todos os testes realizados, com presença de heteroscedasticidade e rejeitada a normalidade dos resíduos, ainda, a questão dos resultados negativos não foi solucionada, os coeficientes, estatísticas e coeficiente estão apresentados na Tabela 5.11.

**Tabela 5.11** modelo custo da sinalização ajustado

	COEFICIENTE	P-VALOR	R <sup>2</sup>	ERRO PADRÃO
Modelo	-	2,63e <sup>-10</sup>	0,96	0,16
Constante	0,675	0,002	-	-
Área da Pista	3,78e <sup>-06</sup>	0,039	-	-
PCN	-0,005	0,067	-	-
Dummy (pequeno)	-0,232	0,023	-	-
Dummy (grande)	1,943	9,54e <sup>-10</sup>	-	-
Dummy (sudeste)	-0,396	0,0043	-	-
Dummy (norte)	-0,345	0,013	-	-
Dummy (nova)	-0,365	0,096	-	-



**Figura 5.8** Gráfico do modelo de previsões para o custo da sinalização

## 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.3.1 Modelo Custo Total

O modelo resultante apresenta variáveis significativas para Área de pista e PCN, elementos centrais na concepção de novos investimentos. Diferente do esperado, as regiões não tiveram impacto significativo sobre o custo da pista, talvez dado a especificidade do serviço e o reduzido número de prestadores destes, menor concorrência, a diferença regional tenha sido limitada.

A *dummy* que aponta para os serviços de nova pista tem impacto bastante relevante no custo, isto provavelmente se dá devido aos serviços adicionais correlacionados com uma nova instalação, como maiores movimentações de terra, sinalizações mais complexas ou regularização do subleito, que tem uma tendência de ser menos demandado em pista já instaladas, caso das ampliações ou recuperações. Outros modelos incorporam esse impacto na constante, colocando as *dummies* de outras intervenções para abatimento dos valores.

Ainda, as elasticidades observadas são quase unitárias, ou seja, a variação da área ou do PCN gera uma variação percentualmente semelhante no preço total do pavimento. Por fim, tendo em vista o R<sup>2</sup> de 0,80, um bom nível de ajuste, os testes satisfatórios e o *p-valor* do modelo bastante reduzido, grande significância estatística, é possível tomar tomá-lo como ferramenta aplicável as previsões dos custos de pistas e decolagem em aeródromos.

Cabe mencionar os problemas com os resultados negativos nos modelos para determinadas observações. A solução proposta, baseado na suposição de distorções causados por custos muito baixos em algumas observações se confirmou, portanto, para endereçar tal situação foram inseridas *dummies* de magnitude dos investimentos, categorização em três portes. O ajuste foi eficiente, se traduzindo em um novo modelo resultante e mais aderente.

Desta maneira o modelo para previsão de custos total ajustado é apresentado na Equação 5.1.

$$CT = 16,03 + 0,000081 * \text{Área de Pista} - 16,00 * RE - 12,77 * AP + 20,01 * PG \quad (\text{Eq 5.1})$$

Em que,

$CT$  = Custo do pavimento aeroportuário;

$RE$  = *Dummy* para a Recuperação (0 = não é uma recuperação, 1 = recuperação);

$AP$  = *Dummy* para a Ampliação (0 = não é uma ampliação, 1 = ampliação);

$PG$  = *Dummy* para o Porte Grande\* dos investimentos (0 = não é grande, 1 = grande).

\*acima de dez milhões de reais.

### 5.3.2 Modelo Custo por elemento construtivo

Os resultados para o serviço de revestimento foram bastante satisfatórios, possibilitando a elaboração de modelo relativamente robusto, com alto coeficiente de determinação, entre 0,85 e 0,88, equação do modelo com *p-valor* altamente significativos, na ordem de  $e^{-7}$  e testes ajustados para heteroscedasticidade e normalidade dos resíduos.

No caso desse serviço, foi possível observar a influência das regiões no custo, especificamente a região Nordeste e Centro-Oeste, tem custos menores, e apresentam *dummies* redutoras. Grande parte dos dados são do Sul e Sudeste, o que tornam o custo padrão relativamente mais alto, dado o contexto destas regiões. Entretanto, no modelo corrigido com o porte dos investimentos, essas variáveis perdem significância, em linha com os resultados do modelo de custos totais. A elasticidade é menor que 1, ou seja, a impacto da alteração da área de pista no custo total do pavimento é inelástico.

O modelo ajustado para previsão de custos de revestimento, com a inserção das considerações do porte de investimento da mesma forma que o modelo de custo total, é:

$$CR = 0,000037 * \text{Área de Pista} + 0,081 * PCN + 3,18 * PM + 11,87 * PG \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Em que,

$CR$  = Custo do revestimento;

$PM$  = *Dummy* para o Porte Médio\* dos investimentos (0 = não é médio, 1 = médio);

$PG$  = *Dummy* para o Porte Grande dos investimentos (0 = não é grande, 1 = grande).

\*entre um e dez milhões de reais.

Já o modelo de custo para base, foi inferior aos outros apresentados, no melhor cenário, com  $R^2$  de 0,63, teríamos coeficientes significantes apenas a 10% para área de pista, definindo a Equação 5.3 para o modelo:

$$CB = -14,30 + 0,00011 * \text{Área de Pista} + 0,356 * PCN - 7,88 * S \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Em que,

$CB$  = Custo da base;

$S$  = *Dummy* para a Sul (0 = não é no Sul, 1 = é no Sul).

Ainda assim, o teste de Ramsey rejeitou a especificação como adequada, e o teste de White detectou a presença de heteroscedasticidade.

Adicionalmente, em uma análise complementar, podemos ressaltar a grande elasticidade do PCN no custo da base, na ordem de 2,07. Resultado coerente, haja vista que a maioria da capacidade estrutural do pavimento é dado pela base.

Quanto aos modelos para os serviços de terraplenagem e sinalização, os resultados não foram aceitáveis. Especialmente para terraplanagem, nenhum modelo apresentou  $R^2$  superior a 0,5, os coeficientes das variáveis não eram significantes na maioria dos casos e até mesmo o *p-valor* da equação, com poucas exceções, não era significativo. O teste de especificação de Ramsey sugere que a relação entre o custo e as variáveis independente para este serviço não é linear.

Na sinalização, foi possível especificar modelo com  $R^2$  de 0,66 e *p-valor* da equação significativo, entretanto, por meio do teste de *White*, detectou-se existência de heteroscedasticidade, o que nos leva a rejeição do modelo. Não obstante, com caráter exploratório, foi especificado modelo ajustado pelo porte das intervenções, com resultados estatísticos superiores ao modelo prévio,  $R^2$  de 0,95 e *p-valor*  $1,70e^{-12}$ , mas não capaz de reverter as falhas nos testes mencionados. Tal modelo é dado pela Equação 5.4.

$$CS = 1,79 + 2,21e^{-06} * \text{Área de Pista} + 0,25 * N - 1,63 * PM - 1,79 * PP \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Em que,

$CS$  = Custo da sinalização ajustado;

$N$  = *Dummy* para a Norte (0 = não é no Norte, 1 = é no Norte);

$PM$  = *Dummy* para o Porte Médio\* dos investimentos (0 = não é médio, 1 = médio);

$PP$  = *Dummy* para o Porte Pequeno\*\* dos investimentos (0 = não é pequeno, 1 = pequeno).

\*entre cem mil reais e um milhão de reais.

\*\*abaixo de cem mil reais.

Como mencionado, a distorção dos custos pequenos mostrou-se relevante nos desenvolvimentos dos modelos. Serviços como sinalização, ainda que extremamente importantes em uma perspectiva técnica e operacional, tem pouco impacto orçamentário, contanto com todas as amostras, a média do percentual do custo de sinalização no custo total da pista é de 8,54%. Entretanto, a observação 5 é um serviço exclusivamente de sinalização, excluindo-o do cálculo da média, temos 4,56%. Ainda, podemos observar na Tabela 5.12, quanto maior o custo total, menor o impacto da sinalização.

**Tabela 5.12** Impacto da Sinalização no custo total

<b>OBSERVAÇÃO</b>	<b>CUSTO TOTAL DA PISTA</b>	<b>CUSTO SINALIZAÇÃO</b>	<b>PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DAS SINALIZAÇÃO NO TOTAL</b>
1	R\$ 7.299.064,95	R\$ 487.817,82	6,7%
2	R\$ 5.989.611,84	R\$ 279.417,34	4,7%
3	R\$ 36.397.489,87	R\$ 575.555,03	1,6%
4	R\$ 17.723.197,95	R\$ 201.712,44	1,1%
5	R\$ 23.060,89	R\$ 23.060,89	100,0%
6	R\$ 4.159.062,11	R\$ 460.621,33	11,1%
7	R\$ 2.495.445,42	R\$ 198.687,54	8,0%
8	R\$ 18.640.471,50	R\$ 175.983,78	0,9%
9	R\$ 61.265.718,90	R\$ 252.175,96	0,4%
10	R\$ 21.234.713,27	R\$ 325.694,71	1,5%
11	R\$ 33.303.127,64	R\$ 329.590,42	1,0%
12	R\$ 43.991.252,80	R\$ 579.737,58	1,3%
13	R\$ 34.098.877,20	R\$ 2.533.139,09	7,4%
14	R\$ 45.220.783,49	R\$ 2.564.582,05	5,7%
15	R\$ 1.119.946,78	R\$ 93.845,17	8,4%
16	R\$ 5.063.591,82	R\$ 448.547,51	8,9%
17	R\$ 1.075.340,64	R\$ 83.202,84	7,7%
18	R\$ 1.131.357,63	R\$ 88.337,98	7,8%
19	R\$ 2.952.960,93	R\$ 126.832,06	4,3%
20	R\$ 1.181.816,45	R\$ 41.284,03	3,5%
21	R\$ 577.064,44	R\$ 22.373,72	3,9%
22	R\$ 958.326,49	R\$ 19.136,10	2,0%
23	R\$ 8.343.369,35	R\$ 292.730,77	3,5%
24	R\$ 45.753.127,52	R\$ 1.617.959,18	3,5%

## 6 CONCLUSÕES

A estimativa de custo preliminar desempenha um papel vital desde a avaliação da viabilidade do investimento, na tomada de decisão gerencial sobre a continuidade e escolha entre opções possíveis em projetos até o efetivo controle e acompanhamento do projeto. Uma análise minuciosa das metodologias de estimativa de custos preliminares aplicadas à infraestrutura de transporte, especialmente focada nas pistas de pouso e decolagem (PPD) dos aeroportos, revela que a precisão e a adequação dessas estimativas são essenciais para o sucesso e a viabilidade dos empreendimentos.

No contexto brasileiro, onde se observa uma necessidade de expansão dos investimentos em infraestrutura aeroportuária, tanto por meio de capital privado em concessões quanto por iniciativas governamentais, a necessidade de ferramentas precisas para previsão de custos é ainda mais premente. Essas ferramentas não apenas auxiliam os gestores públicos na seleção dos melhores projetos em termos de custo-benefício, mas também são fundamentais para os investidores privados avaliarem a rentabilidade de seus empreendimentos.

Esta pesquisa revelou que o método paramétrico, especialmente a regressão linear múltipla, emerge como uma abordagem promissora para prever os custos de construção ou expansão de PPDs. Ao incorporar variáveis como área da pista, classificação do pavimento (PCN), localização do aeroporto e tipos de intervenções, foram desenvolvidos modelos que demonstraram uma excelente capacidade de ajuste e previsão.

O primeiro passo no desenvolvimento do modelo envolveu a identificação das variáveis dependentes, a seleção das possíveis fontes de dados e a coleta das informações relevantes. Dada a fase preliminar, em que apenas uma quantidade limitada de dados do projeto está disponível, determinou-se que a área da pista, o PCN do pavimento, a localização do aeroporto e o tipo de intervenção seriam informações possivelmente acessíveis e suficientes para a construção do modelo.

Ao formar o banco de dados, a escassez de informações representou um grande desafio, juntamente com a falta de padronização, pouca transparência e inconsistências nos dados. No entanto, por meio de uma extensa pesquisa sobre as licitações realizadas pela Empresa

Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) e com base nos estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) dos aeroportos concedidos, foi possível elaborar uma amostra com 24 observações que sustentaram o desenvolvimento das propostas deste estudo.

Com a amostra estabelecida, uma variedade de modelos foi desenvolvida, testada e avaliada por meio do *software* livre GRETL (GRETL, 2024), com o objetivo de identificar o que apresentava o melhor ajuste. Como resultado, os dados foram analisados em duas abordagens: uma para o custo total do pavimento e outra que especificava os serviços de desenvolvimento final da pista.

Para o custo total, o resultado foi um modelo de previsão de custos em função da área de pista, ajustada pelas *dummies* que categorizam os tipos de intervenções, notadamente para ampliação e recuperações, derivadas do custo de novas pistas incorporados a contante, explicável devido às necessidades adicionais que uma nova infraestrutura pode exigir em comparação com uma ampliação, além de *dummy* bastante relevante referente ao porte da obra. Este modelo apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91, *p-valor* de  $2,99e^{-10}$  e coeficientes significativos apresentados na seção resultados (Tabela 5.1). Adicionalmente, foi possível determinar a elasticidade das variáveis no custo total, estas variando de 0,90 a 0,97.

No caso dos modelos para os serviços específicos, o definido para o revestimento apresentou bons resultados, com o modelo mais refinado para a previsão de custos de revestimento em função da área de pista, do PCN e de duas *dummies* relacionadas ao porte dos investimentos, consequência do ajuste da distorção dos pequenos custos para serviços menores. O modelo apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,95, *p-valor* na ordem de  $e^{-12}$  e coeficientes significativos a 1%, conforme apresentado nos resultados. Adicionalmente, foi possível determinar a elasticidade do custo de revestimento em relação à área de pista de 0,81.

Entretanto, os modelos para os outros serviços, base, terraplenagem e sinalização, apresentaram resultados limitados; no caso da terraplenagem, chegaram a ser considerados inutilizáveis, portanto, devem ser observados com cautela. Não obstante, os resultados ainda são capazes de apontar, em alguns casos, quais variáveis são significativas ou não. Como no caso do modelo de sinalização, que logicamente descartou a variável de PCN, visto que esta possui pouca influência sobre o serviço em questão.

Por fim, embora tenham sido obtidos resultados satisfatórios em algumas áreas, como o custo total da pista e o revestimento, é importante reconhecer que há desafios a serem superados. A escassez de dados padronizados e transparentes, bem como a inconsistência das informações disponíveis, destacam a necessidade de futuras pesquisas e iniciativas para a coleta e organização de dados mais abrangentes e confiáveis. Além disso, identificamos limitações em certos aspectos, como a terraplenagem e a sinalização, que exigem uma análise mais aprofundada e possíveis ajustes nos modelos propostos.

À luz dessas descobertas, sugere-se que futuras pesquisas possam se concentrar em duas áreas principais. Em primeiro lugar, o aprimoramento contínuo dos modelos matemáticos, possivelmente incorporando técnicas de machine learning para melhorar a precisão e a robustez das previsões. Em segundo lugar, a expansão dos esforços para coletar e utilizar dados mais abrangentes e atualizados, explorando o potencial da *big data* e da inteligência artificial para impulsionar avanços significativos na estimativa de custos em infraestrutura de transporte aéreo.

Ao abordar esses desafios e oportunidades, espera-se que esta pesquisa contribua para o desenvolvimento de práticas mais eficazes e sustentáveis na gestão e planejamento de projetos de infraestrutura de transporte aéreo no Brasil e em outros contextos similares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACE (2023) Association for the Advancement of Cost Engineering. AACE International Recommended Practice nº 10S-90: Cost Engineering Terminology. Disponível em: <[https://web.aacei.org/docs/default-source/rps/10s-90.pdf?sfvrsn=2fcaddb5\\_71](https://web.aacei.org/docs/default-source/rps/10s-90.pdf?sfvrsn=2fcaddb5_71)>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.
- AACE (2011) Association for the Advancement of Cost Engineering (Prática Recomendada nº 17R-97 da AACE International: Sistema de classificação para estimativas de custos. Disponível em: <<https://brasil-aacei.org/publicacoes/praticas-recomendadas/17r-97-sistema-de-classificacao-para-estimativa-de-custos/>>. Acesso em: 11 de outubro de 2023.
- ABDIB (2022) Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústrias de Base. Livro Azul da Infraestrutura - uma radiografia dos projetos de infraestrutura no Brasil. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abdib.org.br/2023/08/10/livro-azul-da-infraestrutura/>>. Acesso em: 08 de outubro de 2023.
- ADEL, K., ELYAMANY, A., BELAL, A. M., & KOTB, A. S. (2016). Developing parametric model for conceptual cost estimate of highway projects. *International Journal of Engineering Science*, 6(7), 1728-1734.
- AHMED, C. (2021) Early cost estimation models based on multiple regression analysis for road and railway tunnel projects. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11), 972.
- ALSHAMRANI, O. S. (2017) Construction cost prediction model for conventional and sustainable college buildings in North America. *Journal of Taibah University for Science*, 11(2), 315-323.
- AMIRSHENAVA, S., OSANLOO, M., & ESFAHANIPOUR, A. (2021) Development of open-pit mine reclamation cost estimation models: A regression-based approach. *International Journal of Engineering*, 34(11), 2467-2475.
- AMANN, E., BAER, W., TREBAT, T., E LORA, J. V. (2016) Infrastructure and its role in Brazil's development process. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 62, 66–73. doi:10.1016/j.qref.2016.07.007.
- ANAC (2023a) Agência Nacional de Aviação Civil. Anuário de Transporte Aéreo. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/anuario-do-transporte-aereo/anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 07 de nov. de 2023.
- ANAC (2023b) Agência Nacional de Aviação Civil. Concessões de Aeroportos. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/concessoes>>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

- ANAC (2023c) Agência Nacional de Aviação Civil. ANACpédia. Disponível em: < <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/glossario.htm> >. Acesso em: 05 de setembro de 2023.
- ANAC (2022) Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC, nº 139 EMD 06: Certificação Operacional de Aeroportos.
- ANAC (2023d) Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC, nº 153 EMD 03: Aeródromos - operação, manutenção e resposta à emergência.
- ANAC (2021) Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC, nº 154 EMD 07: Projeto de Aeródromos.
- ASCHAUER, D. A. (1989) Is public expenditure productive?. *Journal of Monetary Economics* (Vol. 23).
- ASHWORTH, A., & PERERA, S. (2015) Cost studies of buildings. Routledge.
- ATAPATTU, C. N., DOMINGO, N., & SUTRISNA, M. (2023) A bibliometric review of the statistical modelling techniques for cost estimation of infrastructure projects. *Smart and Sustainable Built Environment*
- BALBO, J. T. (2015) Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. Oficina de Textos.
- BARAKCHI, M., TORP, O., & BELAY, A. M. (2017) Cost Estimation Methods for Transport Infrastructure: A Systematic Literature Review. *Procedia Engineering* (Vol. 196, p. 270–277). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.199.
- BELTRÃO, L. M. P., CARVALHO, M. T. M., BLUMENSCHNEIN, R. N., PAIVA, Á. T. DE, & FREITAS, M. V. R. DE (2022) Modelos para estimativa de custos com o uso de regressão linear: modelagem com obras penitenciárias. *Ambiente Construído*, 22(3), 193–211. doi:10.1590/s1678-86212022000300615.
- BERTUSSI, G. L., & JUNIOR, R. E. (2012) Infraestrutura de transporte e crescimento econômico no Brasil. *Journal of Transport Literature*, 6(4), 101–132.
- BRASIL (2008) Decreto 6.373, de 14 de fevereiro de 2008. Dispõe sobre a inclusão, no Programa Nacional de Desestatização – PND, do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante, localizado no Município de São Gonçalo do Amarante, no Estado do Rio Grande do Norte, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/D6373.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/D6373.htm). Acesso em: 04 de abril de 2023.
- BRASIL (2022) 7ª Rodada de concessões. Casa Civil. Disponível em: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/agosto/7a-rodada-de-concessoes-vencedores-vaio-investir-r-7-3-bilhoes-nos-15-aeroportos-leiloados#:~:text=Entre%202011%20e%202021%2C%20o,passageiros%20atendidos%20em%20aeroportos%20concedidos>> Acesso em: 07 de outubro de 2023.

- BRASIL (2023a) Sem Aeroporto, aviações tinham que pousar na água. Museu Aeroespacial Disponível em: <<https://www2.fab.mil.br/musal/index.php/curiosidades-historicas-item-de-menu/895-sem-aeroportos-avioes-tinham-de-pousar-na-agua#:~:text=No%20Brasil%2C%20um%20hidroavi%C3%A3o%20foi,%2D112%2C%20conhecido%20como%20Atl%C3%A2ntico>> Acesso em: 01 de junho de 2023).
- BRASIL (2023b) Ministério da Aeronáutica. <https://www.fab.mil.br/ministerio/>. Acesso em: 04 de abril. de 2023).
- BRITTON, E., COOPER, A., & TINSLEY, D. (2005). The economic catalytic effects of air transport in Europe. *Proceedings of etc 2005, Strasbourg, France 18-20 September 2005*.
- CALDERÓN, C., & SERVÉN, L. (2004) The effects of infrastructure development on growth and income distribution. Available at SSRN 625277.
- CALDERÓN, C., MORAL-BENITO, E., & SERVÉN, L. (2015) Is infrastructure capital productive? A dynamic heterogeneous approach. *Journal of Applied Econometrics*, 30(2), 177–198. doi:10.1002/jae.2373.
- CARDOSO, L. R. A. & ABIKO, A. K. (2000) Metodologia de avaliação de custos de inovações tecnológicas na produção de habitações de interesse social. BT/PCC/249, São Paulo, 22p.
- CARR, R. I. (1989) Cost-estimating principles. *Journal of Construction Engineering and Management*, 115(4), 545–551.
- CASAROTTO FILHO, N. & KOPITTKKE, B. H. (2007) Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10.ed. São Paulo: Atlas, 468 p.
- DE ANDRADE, C. H. C. (2013) Manual de introdução ao pacote econométrico Gretl.
- DEPARTMENT OF DEFENSE (1999) Parametric Estimating Handbook. second ed., disponível em: <<http://www.ispa-cost.org/PEIWeb/newbook.htm>> Acesso: em 13 de março de 2024.
- DIXIT, ROBERT K.; DIXIT, AVINASH K. & PINDYCK, ROBERT S. (1994) Investment under uncertainty. Princeton university press.
- DYSERT, L. R. (2001) Developing a parametric model for estimating process control costs. *Cost Engineering*, 43(2), 31.
- ELLSWORTH, R. K. (1998) Cost-to-capacity analysis for estimating waste-to-energy facility costs. *Cost Engineering*, 40(6), 27.
- ESTACHE, A., & FAY, M. (2007) Current debates on infrastructure policy. Policy Research Working Paper 4260, The World Bank.

- FAA (2021) Federal Aviation Administration. Airport Pavement Design and Evaluation. AC 150/5320-6G. Washington, DC: *US Department of Transportation*. Disponível em: <[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5320-6G-PavementDesign.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5320-6G-PavementDesign.pdf)> Acesso em: 10 de novembro de 2023.
- FAA (2014) Federal Aviation Administration. Airport Pavement Management Program. Advisory Circular 150/5335-5C. Washington, DC.
- FAA (2014) Federal Aviation Administration. Airport Pavement Design and Evaluation. AC 150/5335-5C. Washington, DC: *US Department of Transportation*. Disponível em: <[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5370-10H.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5370-10H.pdf)> Acesso em: 10 de novembro de 2023.
- FAA (2018) Federal Aviation Administration. Airport Pavement Design and Evaluation. AC 150/5370-10H. Washington, DC: *US Department of Transportation*. Disponível em: <[https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory\\_circular/150-5335-5c.pdf](https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150-5335-5c.pdf)> Acesso em: 12 de março 2024.
- FALCÃO, V. A., da SILVA, F. G. F., de OLIVEIRA, F. H. L., NEGRI, N. A. R., de ANDRADE, M. O., BRASILEIRO, A., ... & Macário, R. (2021). Scientific investigations in air transport about Brazil: A bibliometric review. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1912-1921.
- FALCÃO, V. A., JÚNIOR, H. D. S. Q., DE BARROS MENDES, L. T., & da SILVA, F. G. F. (2022). Impacto da pandemia da COVID-19 na eficiência dos aeroportos brasileiros: aplicação de análise envoltória de dados e regressão tobit. *Revista Transporte y Territorio*, (27).
- FERREIRA, P. C., & MALLIAGROS, T. G. (1997) O Impacto da Infra-Estrutura Sobre o Crescimento da Produtividade do Setor Privado e do Produto Brasileiro.
- FERREIRA, J. C. (2017) Um breve histórico da aviação comercial brasileira. In: *XII Congresso Brasileiro de História Econômica. 13ª Conferência Internacional de História de Empresas*. Niterói: Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica.
- FLYVBJERG, B., HOLM, M. S., & BUHL, S. (2002) Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295. doi:10.1080/01944360208976273.
- FRAGKAKIS, N., MARINELLI, M., & LAMBROPOULOS, S. (2015) Preliminary Cost Estimate Model for Culverts. *Procedia Engineering* (Vol. 123, p. 153–161). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.072.
- FONSECA O. A. (1990) Manutenção de Pavimentos de Aeroportos. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Divisão de Estudos e Projetos de Infraestrutura. Ministério da Aeronáutica. Brasil.
- GETL (2024) Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library. Disponível em: <<https://gretl.sourceforge.net/>>.

- GUNDUZ, M., UGUR, L. O., & OZTURK, E. (2011) Parametric cost estimation system for light rail transit and metro trackworks. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2873-2877.
- GUNDUZ, M., & SAHIN, H. B. (2015) An early cost estimation model for hydroelectric power plant projects using neural networks and multiple regression analysis. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(4), 470-477.
- GONÇALVES, C. M. M. (2013) Método para gestão do custo da construção no processo de projeto de edificações. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- GONÇALVES DA SILVA, M. P., ALVES DA CUNHA, D., & BERTUSSI, G. (2022) Reflexos da política de concessão dos aeroportos brasileiros na segurança operacional. *Revista do Serviço Público*, 73(2), 315–338. doi:10.21874/rsp.v73.i2.5453.
- HALPIN, D. W., & WOOHEAD, R. W. (2004) Construction management. John Wiley & Sons.
- HANSEN, D. R., MOWEN, M. M., & TAYLOR, R. B. (2001) Gestão de custos: contabilidade e controle
- IATA (2007) The International Air Transport Association Aviation Economic Benefits Measuring the economic rate of return on investment in the aviation industry.
- IIMI, A., & AHMED, K. (2016) Quality of Infrastructure and the Gini Index: New Evidence from East Asia and the Pacific. *World Development*, 78, 375-394
- ISATON, C., JUNGLES, A. E., ABREU, J. P. M. DE, & MARCHIORI, F. F. (2023) Estimativa paramétrica de custos de esquadrias para obras prisionais utilizando Simulação de Monte Carlo. *Ambiente Construído*, 23(3), 63–82. doi:10.1590/s1678-86212023000300676.
- ISPA (2008) International Society of Parametric Analysts. Parametric Estimating Handbook. forth ed., Disponível em: <<https://www.dau.edu/sites/default/files/Migrated/ToolAttachments/Parametric%20Handbook%204th%20Edition.pdf>> Acesso em: 15 de março de 2024.
- JI, S. H., AHN, J., LEE, H. S., & HAN, K. (2019) Cost estimation model using modified parameters for construction projects. *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- KASARDA, J. D., & LINDSAY, G. (2011) Aerotropolis: the way we'll live next. Farrar, Straus and Giroux.
- KARSHENAS, S. (1984) Predesign Cost Estimating Method For Multistory Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 110(1), 79–86.
- KATO, C. S. (2011) Método para Estimar Custos Diretos da Execução de Edifícios: aplicação à alvenaria estrutural. 159 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

- MAHAMID, I. (2011) Early cost estimating for road construction projects using multiple regression techniques. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, The, 11(4), 87-101.
- MAUÉS, F. C. A., DE MELO, K. P., DE OLIVEIRA LEÃO, C. B., & SERRA, S. M. B. (2022) Estimativa de custos paramétricos de construção de edifícios usando modelo de regressão linear. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 17(2), 19-37.
- MEDEIROS, V., RIBEIRO, R. S. M., & AMARAL, P. V. M. DO. (2021) Infrastructure and household poverty in Brazil: A regional approach using multilevel models. *World Development*, 137. doi:10.1016/j.worlddev.2020.105118.
- MEDINA, J., & MOTTA, L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 3 ed. Rio de Janeiro.
- MELHADO, S. B., & AGOPYAN, V (1995). O conceito de projeto na construção de edifícios: Diretrizes para a sua elaboração e controle. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil*. São Paulo.
- MEMBAH, J., & ASA, E. (2015) Estimating cost for transportation tunnel projects: A systematic literature review. *International Journal of Construction Management*, 15(3), 196–218. doi:10.1080/15623599.2015.1067345
- MOHUTSIWA, M., & MUSINGWINI, C. (2015) Parametric estimation of capital costs for establishing a coal mine: South Africa case study. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115(8), 789-797.
- MUNNELL, A. H. (1992) Policy watch: Infrastructure investment and economic growth. *Journal of Economic Perspectives*, 6(4), 189-198
- MUSSOLINI, C., & TELES, V. K. (2010) Infraestrutura e produtividade no Brasil. *Brazilian Journal of Political Economy*, 30, 645-662.
- NCHRP (2016) National Cooperative Highway Research Council. “NCHRP report 826: Estimating Highway Preconstruction Services Costs. Disponível em: <<https://nap.nationalacademies.org/catalog/23627/estimating-highway-preconstruction-services-costs-volume-2-research-report>> Acesso em : 10 de março. 2024).
- NETO, C. M. D. S. P., CASAGRANDE, P. L., LANCIERI, F. M., & MORAES, J. N. P. (2016). Pro-competition rules in airport privatization: International experience and the Brazilian case. *Journal of Air Transport Management*, 54, 9-16.
- OPPENHEIMER, P. H. (2002) A critique of using real options pricing models in valuing real estate projects and contracts. *Briefings in Real Estate Finance: An International Journal*, v. 2, n. 3, p. 221-233.
- OTERO, J. A. (2000) *Análise Paramétrica de Dados Orçamentários para Estimativas de Custos na Construção de Edifícios: estudo de caso voltado para a questão de variabilidade*. 214 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- OXFORD ECONOMIC FORECASTING. (2006) *The Economic Contribution of the Aviation Industry in the UK*. Oxford.
- PUTNAM, L. H., & MYERS, W. (1992) *Measures for excellence: reliable software on time, within budget*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- RAMEY, V. A., BOUAKEZ, H., CHODOROW-REICH, G., FERNALD, J., HOUSE, C., YAFFE, D. L., POTERBA, J., WIELAND, J., & ZUBAIRY, S. (2020) *The macroeconomic consequences of infrastructure investment*. Chicago. doi:<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226800615-007>
- RAMOS, A. (2021) *Gestão de pequenos Aeroportos no Brasil* (Doctoral dissertation).
- RAMSEY, J. B. (1969) Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 31(2), 350-371.
- RIBEIRO, R. L. (2014) *Metodologia para avaliação de orçamentos-tipo de edifícios residenciais*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, p 152.
- SAYADI, A. R., HAMIDI, J. K., MONJEZI, M., & NAJAFZADEH, M. (2015). A preliminary cost estimation for short tunnels construction using parametric method. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1: Climate Change and Engineering Geology* (pp. 461-465). Springer International Publishing.
- SELLNER, R., & NAGL, P. (2010) Air accessibility and growth - The economic effects of a capacity expansion at Vienna International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 16(6), 325–329. doi:10.1016/j.jairtraman.2010.04.003.
- SHAHANDASHTI, S. M., & ASHURI, B. (2016) Highway Construction Cost Forecasting Using Vector Error Correction Models. *Journal of Management in Engineering*, 32(2). doi:10.1061/(asce)me.1943-5479.0000404.
- SONMEZ, R. (2004) Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(4), 677-683.
- SONMEZ, R. (2008) Parametric Range Estimating of Building Costs Using Regression Models and Bootstrap. *Journal of construction Engineering and Management*, 134(12), 1011–1016. doi:10.1061/ASCE0733-93642008134:121011.
- SONMEZ, R., & ONTEPELI, B. (2009) Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modeling. *Journal of Civil Engineering and management*, 15(4), 405-409.
- STEINBERG, F. (2022) *Desafios e Tendências da Aviação no Brasil*. Ibssoftware. Disponível em: [https://www.ibsplc.com/images/insights/whitepaper/General/Desafios\\_E\\_Tendencias\\_Da\\_Aviacao\\_No\\_Brasil.pdf](https://www.ibsplc.com/images/insights/whitepaper/General/Desafios_E_Tendencias_Da_Aviacao_No_Brasil.pdf). Acesso em: 08 de março de 2024.

- SUGIMURA, Y., & KATO, A. (2022) Airport concession in Japan: Current status, problems, and future directions. Research in *Transportation Business & Management*, v. 43, p. 100738.
- SUN, J., OH, E., CHAI, G., MA, Z., ONG, D. E., & BELL, P. (2024) A systematic review of structural design methods and nondestructive tests for airport pavements. *Construction and Building Materials*, 411, 134543.
- SWEI, O., GREGORY, J., & KIRCHAIN, R. (2017) Construction cost estimation: A parametric approach for better estimates of expected cost and variation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 101, 295–305. doi:10.1016/j.trb.2017.04.013.
- TAYEFEH HASHEMI, S., EBADATI, O. M., & KAUR, H. (2020) Cost estimation and prediction in construction projects: A systematic review on machine learning techniques. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1703.
- TEICHOLZ, P. (1993) Forecasting Final Cost And Budget Of Construction Projects. *Journal of Computing in civil Engineering*, 7(4), 511–529.
- TRB (2019) Transportation Research Board. Airport Capital Improvements: A Business Planning and Decision-Making Approach. Washington, DC: National Academy of Sciences. Disponível em: <<http://www.trb.org/Main/Blurbs/171584.aspx>>. Acesso em: 7 ago. 2023.
- TRIGEORGIS, LENOS. (1993). The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. *Journal of Financial and quantitative Analysis*, v. 28, n. 1, p. 1-20.
- VASCONCELLOS, M. A. S., & GARCIA, M. E. (2002). Fundamentos de economia. Saraiva Educação SA.
- YANG, S. W., MOON, S. W., JANG, H., CHOO, S., & KIM, S. A. (2022) Parametric Method and Building Information Modeling-Based Cost Estimation Model for Construction Cost Prediction in Architectural Planning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(19). doi:10.3390/app12199553.
- YOUNG, S. B., & WELLS, A. T. (2014) Aeroportos: Planejamento e Gestão. Bookman Editora.
- YOSIMOTO, V., CHAMBARELLI, R. L., SANTANA, B. M., OLIVEIRA, P. R. D. S., CAMACHO, F. T., & PINTO, H. A. D. C. (2016). A lógica atual do setor aeroportuário brasileiro. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, 45, 243 – 292.
- YUNFEI, D., Wei, Z., YONGGANG, Y., & GANG, W. (2014) The ballistic performance of metal plates subjected to impact by projectiles of different strength. *Materials & Design*, 58, 305-315.

- WASHINGTON, S., KARLAFTIS, M. G., MANNERING, F., & ANASTASOPOULOS, P. (2020) Statistical and econometric methods for transportation data analysis. Chapman and Hall/CRC.
- WHITE, H. (1980) A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 817-838.
- WSDOT (2015) Washington State Department of Transportation. Cost Estimating Manual for Projects. Disponível em: <<https://www.wsdot.wa.gov/publications/fulltext/CEVP/EstimatingGuidelines.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.
- ZHANG, F., & GRAHAM, D. J. (2020) Air transport and economic growth: a review of the impact mechanism and causal relationships. *Transport Reviews*, 40(4), 506–528. doi:10.1080/01441647.2020.1738587.

## APÊNDICE A – DADOS COLETADOS

OBSERVAÇÃO	LOCALIDADE	TERRAPLENAGEM	BASE	PAVIMENTO	SINALIZAÇÃO	ÁREA DE PISTA	PCN	TIPO DE INTERVENÇÃO	TIPO DE INTERVENÇÃO
01	Montes Claro/MG	0,00	0,00	6.811.247,13	487.817,82	94.500,00	34	Recuperação	INFRAERO
02	Maués/AM	0,00	0,00	5.710.194,50	279.417,34	36.000,00	10	Recuperação	INFRAERO
03	Foz do Iguaçu/PR	21.003.249,21	3.540.829,95	11.277.855,68	575.555,03	29.700,00	67	Ampliação	INFRAERO
04	Belém/PA	0,00	0,00	17.521.485,51	201.712,44	80.325,00	67	Recuperação	INFRAERO
05	Jacarepaguá/RJ	0,00	0,00	0,00	23.060,89	600,00	10	Recuperação	INFRAERO
06	Salvador/BA	0,00	0,00	3.698.440,78	460.621,33	16.200,00	73	Recuperação	INFRAERO
07	Campos dos Goytacazes/RJ	0,00	101.053,83	2.195.704,05	198.687,54	1.800,00	29	Recuperação	INFRAERO
08	Fortaleza/CE	8.012.459,71	7.311.917,86	3.140.110,15	175.983,78	12.600,00	66	Ampliação	EVTEA
09	Salvador/BA	0,00	47.326.958,97	13.686.583,97	252.175,96	144.000,00	73	Nova Pista	EVTEA
10	Florianópolis	1.099.993,61	13.300.028,63	6.508.996,32	325.694,71	11.025,00	78	Ampliação	EVTEA
11	Porto Alegre/RS	2.406.472,28	15.043.934,24	15.523.130,70	329.590,42	41.400,00	72	Ampliação	EVTEA
12	Cuiabá/MT	23.404.288,19	10.893.149,18	9.114.077,85	579.737,58	103.500,00	56	Nova Pista	EVTEA
13	Curitiba/PR	9.461.901,52	5.719.970,47	16.383.866,12	2.533.139,09	135.000,00	67	Nova Pista	EVTEA
14	Foz do Iguaçu/PR	12.922.381,36	10.762.164,93	18.971.655,15	2.564.582,05	137.787,29	65	Nova Pista	EVTEA
15	Navegantes/PR	68.146,47	348.433,81	609.521,33	93.845,17	4.950,00	50	Ampliação	EVTEA
16	Londrina/PR	361.604,09	1.083.259,39	3.170.180,83	448.547,51	24.300,00	52	Ampliação	EVTEA
17	Goiânia/GO	97.155,59	273.409,16	621.573,05	83.202,84	4.500,00	67	Ampliação	EVTEA
18	Teresina/PI	251.800,99	200.559,74	590.658,92	88.337,98	4.500,00	59	Ampliação	EVTEA
19	Uberaba/MG	1.332.153,57	746.987,65	746.987,65	126.832,06	7.650,00	32	Ampliação	EVTEA
20	Carajás/PA	357.277,44	210.501,47	572.753,51	41.284,03	4.860,00	41	Ampliação	EVTEA
21	Montes Claro/MG	151.143,69	128.024,21	275.522,82	22.373,72	2.756,00	34	Recuperação	EVTEA
22	Ponta Porã/MS	377.625,82	265.297,47	296.267,10	19.136,10	2.362,00	40	Recuperação	EVTEA
23	Altamira/PA	3.102.827,64	1.120.457,54	3.827.353,40	292.730,77	34.460,00	36	Ampliação	EVTEA
24	Campinas/SP	8.967.337,69	18.443.780,53	16.724.050,12	1.617.959,18	99.000,00	56	Nova Pista	EVTEA

\*Todos os custos estão atualizados pelo INCC para Dezembro de 2023

## APÊNDICE B – RESULTADOS GRETL

```

Modelo 2: MQO, usando as observações 1-24
Variável dependente: CUSTOTOTAL
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

      coeficiente      erro padrão      razão-t      p-valor
-----
const      -7,78299      3,88217      -2,005      0,0587  *
AREADEPISTA  0,000131087  6,05225e-05  2,166      0,0426  **
PCN        0,287036     0,103622    2,770      0,0118  **
NOVAPISTA  19,4148      7,37168     2,634      0,0159  **

Média var. dependente  16,66662  D.P. var. dependente  18,75755
Soma resid. quadrados  1619,256  E.P. da regressão     8,997933
R-quadrado             0,799905  R-quadrado ajustado   0,769891
F(3, 20)              30,12082  P-valor(F)            1,29e-07
Log da verossimilhança -84,59454  Critério de Akaike    177,1891
Critério de Schwarz   181,9013  Critério Hannan-Quinn 178,4392

Teste RESET para especificação -
  Hipótese nula: a especificação é adequada
  Estatística de teste: F(2, 18) = 0,632936
  com p-valor = P(F(2, 18) > 0,632936) = 0,542444

Teste de White para a heteroscedasticidade -
  Hipótese nula: sem heteroscedasticidade
  Estatística de teste: LM = 8,251
  com p-valor = P(Qui-quadrado(8) > 8,251) = 0,409344

Teste da normalidade dos resíduos -
  Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal
  Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 1,88306
  com p-valor = 0,39003

```

**Figura B.1** Resultado Gretl do modelo de custo total

```

Modelo 3: MQO, usando as observações 1-24
Variável dependente: CUSTOTOTAL
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

-----
                coeficiente      erro padrão      razão-t      p-valor
-----
const           16,0311           6,25363         2,563         0,0190      **
AREADEPISTA     8,08824e-05           4,25168e-05     1,902         0,0724      *
RECUPERACAO    -16,0015              6,41601         -2,494         0,0220      **
AMPLIACAO      -12,7746              5,56358         -2,296         0,0332      **
GRANDE         20,0169              3,75503         5,331         3,82e-05    ***

Média var. dependente  16,66662  D.P. var. dependente  18,75755
Soma resid. quadrados  689,4125  E.P. da regressão     6,023692
R-quadrado             0,914808  R-quadrado ajustado   0,896873
F(4, 19)              55,97868  P-valor(F)           2,99e-10
Log da verossimilhança -74,34796  Critério de Akaike    158,6959
Critério de Schwarz   164,5862  Critério Hannan-Quinn 160,2586

Teste RESET para especificação -
Hipótese nula: a especificação é adequada
Estatística de teste: F(2, 17) = 0,571502
com p-valor = P(F(2, 17) > 0,571502) = 0,575158

Teste de White para a heteroscedasticidade -
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade
Estatística de teste: LM = 15,3483
com p-valor = P(Qui-quadrado(9) > 15,3483) = 0,0818013

Teste da normalidade dos resíduos -
Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal
Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 6,89392
com p-valor = 0,0318422

```

**Figura B.2** Resultado Gretl do modelo de custo total ajustado

Modelo 2: MQO, usando as observações 1-23  
Variável dependente: REVESTIMENTO  
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	-6,56591	3,36783	-1,950	0,0715	*
AREADEPISTA	7,75275e-05	3,41279e-05	2,272	0,0394	**
PCN	0,187338	0,0567913	3,299	0,0053	***
RECUPERACAO	2,36177	1,32108	1,788	0,0955	*
NOVAPISTA	2,06693	4,36930	0,4731	0,6435	
SUDESTE	-0,0349284	2,42730	-0,01439	0,9887	
NORTE	2,06375	2,32261	0,8885	0,3893	
NORDESTE	-5,39089	1,71413	-3,145	0,0072	***
CENTROOESTE	-4,59710	1,65628	-2,776	0,0149	**
Média var. dependente	6,868618	D.P. var. dependente	6,554274		
Soma resid. quadrados	114,0551	E.P. da regressão	2,854258		
R-quadrado	0,879318	R-quadrado ajustado	0,810357		
F(8, 14)	28,54909	P-valor(F)	2,20e-07		
Log da verossimilhança	-51,04924	Critério de Akaike	120,0985		
Critério de Schwarz	130,3179	Critério Hannan-Quinn	122,6686		

Excluindo a constante, a variável com maior p-valor foi 10 (SUDESTE)

Teste RESET para especificação -  
Hipótese nula: a especificação é adequada  
Estatística de teste:  $F(2, 12) = 2,29752$   
com p-valor =  $P(F(2, 12) > 2,29752) = 0,142961$

Teste de White para a heteroscedasticidade -  
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade  
Estatística de teste:  $LM = 9,31004$   
com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(10) > 9,31004) = 0,502954$

Teste da normalidade dos resíduos -  
Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal  
Estatística de teste:  $\text{Qui-quadrado}(2) = 2,45616$   
com p-valor =  $0,292854$

**Figura B.3** Resultado Gretl modelo custo revestimento

```

Modelo 8: MQO, usando as observações 1-23
Variável dependente: REVESTIMENTO
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

      coeficiente      erro padrão      razão-t      p-valor
-----
AREADEPISTA      9,33269e-05      1,14236e-05      8,170      1,23e-07 ***
PCN               0,0817587       0,0215253       3,798      0,0012 ***
NORDESTE        -4,39692        1,31505        -3,344      0,0034 ***
CENTROOESTE     -4,53150        1,14314        -3,964      0,0008 ***

Média var. dependente      6,868618      D.P. var. dependente      6,554274
Soma resid. quadrados      164,0710      E.P. da regressão      2,938590
R-quadrado      0,919184      R-quadrado ajustado      0,906424
F(4, 19)      80,31814      P-valor(F)      1,24e-11
Log da verossimilhança -55,23084      Critério de Akaike      118,4617
Critério de Schwarz      123,0037      Critério Hannan-Quinn      119,6040

Teste RESET para especificação -
Hipótese nula: a especificação é adequada
Estatística de teste: F(2, 17) = 3,32784
com p-valor = P(F(2, 17) > 3,32784) = 0,0603066

Teste de White para a heteroscedasticidade -
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade
Estatística de teste: LM = 13,693
com p-valor = P(Qui-quadrado(11) > 13,693) = 0,250448

Teste da normalidade dos resíduos -
Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal
Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 1,18009
com p-valor = 0,554304

```

**Figura B.4** Resultado Gretl modelo custo revestimento com remoção de variáveis não significativas

Modelo 15: MQO, usando as observações 1-23

Variável dependente: REVESTIMENTO

Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	3,54742	0,730475	4,856	0,0001	***
AREADEPISTA	3,66331e-05	1,37946e-05	2,656	0,0156	**
GRANDE	8,68781	1,15517	7,521	4,14e-07	***
PEQUENO	-3,18221	0,686952	-4,632	0,0002	***
Média var. dependente	6,868618	D.P. var. dependente	6,554274		
Soma resid. quadrados	47,73011	E.P. da regressão	1,584964		
R-quadrado	0,949497	R-quadrado ajustado	0,941522		
F(3, 19)	124,1486	P-valor(F)	1,16e-12		
Log da verossimilhança	-41,03137	Critério de Akaike	90,06274		
Critério de Schwarz	94,60472	Critério Hannan-Quinn	91,20504		

Teste RESET para especificação -

Hipótese nula: a especificação é adequada

Estatística de teste:  $F(2, 17) = 3,026$

com p-valor =  $P(F(2, 17) > 3,026) = 0,0751265$

Teste de White para a heteroscedasticidade -

Hipótese nula: sem heteroscedasticidade

Estatística de teste: LM = 9,95542

com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(6) > 9,95542) = 0,126542$

Teste da normalidade dos resíduos -

Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal

Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 2,75909

com p-valor = 0,251692

Figura B.5 Resultado Gretl modelo custo revestimento ajustado

Modelo 1: MQO, usando as observações 1-19  
Variável dependente: BASE

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	-14,2973	7,13566	-2,004	0,0635	*
AREADEPISTA	0,000115576	3,84627e-05	3,005	0,0089	***
PCN	0,356228	0,147213	2,420	0,0287	**
SUL	-7,88270	4,18084	-1,885	0,0789	*
Média var. dependente	7,201090	D.P. var. dependente		11,38843	
Soma resid. quadrados	875,4363	E.P. da regressão		7,639530	
R-quadrado	0,625006	R-quadrado ajustado		0,550007	
F(3, 15)	8,333554	P-valor(F)		0,001693	
Log da verossimilhança	-63,34752	Critério de Akaike		134,6950	
Critério de Schwarz	138,4728	Critério Hannan-Quinn		135,3344	

Teste RESET para especificação -  
Hipótese nula: a especificação é adequada  
Estatística de teste:  $F(2, 13) = 13,37$   
com p-valor =  $P(F(2, 13) > 13,37) = 0,000700881$

Teste de White para a heteroscedasticidade -  
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade  
Estatística de teste:  $LM = 17,3147$   
com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(8) > 17,3147) = 0,0269935$

Teste da normalidade dos resíduos -  
Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal  
Estatística de teste:  $\text{Qui-quadrado}(2) = 5,13104$   
com p-valor =  $0,0768793$

Figura B.6 Resultado Gretl modelo custo da base

Modelo 3: MQO, usando as observações 1-17

Variável dependente: TERRAPLENAGEM

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	-0,124432	15,9785	-0,007787	0,9940
AREADEPISTA	0,000124855	0,000193745	0,6444	0,5373
PCN	0,0152100	0,240332	0,06329	0,9511
NORDESTE	2,23843	6,98527	0,3205	0,7568
CENTROOESTE	4,84392	7,48448	0,6472	0,5356
SUSDESTE	0,615430	8,62987	0,07131	0,9449
NORTE	-1,18574	8,65897	-0,1369	0,8945
NOVAPISTA	-3,31470	21,1355	-0,1568	0,8793
RECUPERACAO	-3,22313	7,79653	-0,4134	0,6902
Média var. dependente	5,492813	D.P. var. dependente	7,483411	
Soma resid. quadrados	464,4821	E.P. da regressão	7,619729	
R-quadrado	0,481618	R-quadrado ajustado	-0,036764	
F(8, 8)	0,929080	P-valor(F)	0,540156	
Log da verossimilhança	-52,23749	Critério de Akaike	122,4750	
Critério de Schwarz	129,9739	Critério Hannan-Quinn	123,2204	

Excluindo a constante, a variável com maior p-valor foi 4 (PCN)

Teste RESET para especificação -

Hipótese nula: a especificação é adequada

Estatística de teste:  $F(2, 6) = 0,190056$

com p-valor =  $P(F(2, 6) > 0,190056) = 0,831704$

Teste de White para a heteroscedasticidade -

Hipótese nula: sem heteroscedasticidade

Estatística de teste: LM = 4,4928

com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(10) > 4,4928) = 0,922391$

Teste da normalidade dos resíduos -

Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal

Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 12,1335

com p-valor = 0,00231865

Figura B.7 Resultado Gretl modelo custo terraplenagem

Modelo 2: MQO, usando as observações 1-24  
Variável dependente: CustoSinalizacao  
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HCl

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	0,0946828	0,0657652	1,440	0,1647
AREADEPISTA	1,03780e-05	3,83192e-06	2,708	0,0132 **
norte	-0,294717	0,169734	-1,736	0,0972 *

Média var. dependente	0,492584	D.P. var. dependente	0,713319
Soma resid. quadrados	5,313612	E.P. da regressão	0,503020
R-quadrado	0,545959	R-quadrado ajustado	0,502717
F(2, 21)	3,752674	P-valor(F)	0,040418
Log da verossimilhança	-15,96114	Critério de Akaike	37,92228
Critério de Schwarz	41,45644	Critério Hannan-Quinn	38,85990

Teste RESET para especificação -  
Hipótese nula: a especificação é adequada  
Estatística de teste:  $F(2, 19) = 0,245284$   
com p-valor =  $P(F(2, 19) > 0,245284) = 0,784922$

Teste de White para a heteroscedasticidade -  
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade  
Estatística de teste:  $LM = 22,4912$   
com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(4) > 22,4912) = 0,000159985$

Teste da normalidade dos resíduos -  
Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal  
Estatística de teste:  $\text{Qui-quadrado}(2) = 11,8003$   
com p-valor =  $0,00273898$

Figura B.8 Resultado Gretl modelo custo da sinalização

Teste no Modelo 5

Hipótese nula: os parâmetros de regressão para as variáveis valem zero.  
 NORDESTE, CENTRO, RECUPERACAO  
 Estatística de teste:  $F(3, 13) = 0,603727$ , p-valor 0,624089  
 A exclusão de variáveis melhorou 3 de 3 critérios de informação.

Modelo 6: MQO, usando as observações 1-24  
 Variável dependente: SINALIZAAAO

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	0,675182	0,192592	3,506	0,0029	***
AREADEPISTA	3,77697e-06	1,67696e-06	2,252	0,0387	**
PCN	-0,00560099	0,00284934	-1,966	0,0669	*
pequeno	-0,232193	0,0926097	-2,507	0,0233	**
GRANDE	1,94362	0,153644	12,65	9,54e-010	***
SUDESTE	-0,395875	0,119160	-3,322	0,0043	***
NORTE	-0,344676	0,124648	-2,765	0,0138	**
NOVA	-0,365362	0,206207	-1,772	0,0955	*
Média var. dependente	0,492584	D.P. var. dependente	0,713319		
Soma resid. quadrados	0,428257	E.P. da regressão	0,163603		
R-quadrado	0,963406	R-quadrado ajustado	0,947396		
F(7, 16)	60,17574	P-valor(F)	2,63e-10		
Log da verossimilhança	14,25850	Critério de Akaike	-12,51699		
Critério de Schwarz	-3,092562	Critério Hannan-Quinn	-10,01669		

Teste RESET para especificação -  
 Hipótese nula: a especificação é adequada  
 Estatística de teste:  $F(2, 14) = 8,86972$   
 com p-valor =  $P(F(2, 14) > 8,86972) = 0,00324864$

Teste de White para a heteroscedasticidade -  
 Hipótese nula: sem heteroscedasticidade  
 Estatística de teste: LM = 13,7571  
 com p-valor =  $P(\text{Qui-quadrado}(9) > 13,7571) = 0,131232$

Teste da normalidade dos resíduos -  
 Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal  
 Estatística de teste: Qui-quadrado(2) = 1,681  
 com p-valor = 0,431494

Figura B.9 Resultado Gretl modelo custo da sinalização ajustado