



DOI: 10.5281/zenodo.18986557

ANÁLISE DOS GRAUS DE VOO DE FORMATURA DE DOIS AVIÕES

João Paulo Martins dos Santos¹

Rafael Viol Cabral Costa²

Resumo

O objetivo deste artigo é comparar os graus obtidos em voo em formatura com dois aviões com e sem instrução simulada. Os dados são compostos pelos graus dos períodos de 2014 a 2018 e de 2022 a 2023, os quais representam, respectivamente, os anos sem e com instrução simulada. A metodologia de análise foi conduzida por meio do emprego da linguagem R com análise gráfica e testes de hipóteses t, Mann-Whitney, Anova e Kruskal-Wallis. Os resultados do teste t e anova apontam na direção da rejeição da hipótese de igualdade entre as médias dos graus com valor p, aproximadamente, zero para os dados agrupados independentes do ano e para comparação dos graus entre os anos. De forma análoga, os testes de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis apontam na direção da rejeição da hipótese nula em favor da hipótese alternativa de que os grupos são amostrados de populações com distribuições diferentes sendo que uma das populações exibe dominância estocástica. A análise post-hoc foi realizada com os testes tukey HSD e Dunn, os quais exibem diferenças significativas entre anos com e sem instrução simulada. **Palavras-chave:** Simuladores de voo; voo de formatura; instrução de voo; Análise Estatística.

Abstract

The aim of this article is to compare the grades obtained in formation flight with two aircraft in the Second Air Instruction Squadron (2nd AIS) with and without simulated instruction. The simulated training used the X-Plane 11 Simulator, in the digital version of the aircraft used in the 2nd AIS, NEIVA T-25 UNIVERSAL. The data consist of the grades from the periods of 2014 to 2018 and from 2022 to 2023, representing, respectively, the years without and with simulated instruction. The analysis methodology was conducted through the use of the R language with graphical analysis and t-tests, Mann-Whitney, Anova, and Kruskal-Wallis tests. The results of the t-test and Anova point towards rejecting the hypothesis of equality between the means of the grades with a p-value of approximately zero for the independent grouped data of the year and for the comparison of grades between the

¹Academia da Força Aérea, jpmddossantos@yahoo.com.br

²Academia da Força Aérea

years. Similarly, the Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests indicate rejecting the null hypothesis in favor of the alternative hypothesis that the groups are sampled from populations with different distributions, with one of the populations exhibiting stochastic dominance. Post-hoc analysis was performed with the Tukey HSD and Dunn tests, which show significant differences between years with and without simulated instruction. **Keywords:** Flight simulators; formation flight; flight instruction, statistical analysis

Introdução

A Academia da Força Aérea (AFA) é uma instituição de ensino superior militar da Força Aérea Brasileira (FAB), fundada em 1949, no município de Pirassununga. Tem por objetivo a formação de oficiais de carreira nos quadros de aviação, intendência e infantaria em um curso com duração de quatro anos. No quadro de aviação, o Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) é responsável por formar pilotos básicos em condições de, após a conclusão do curso, realizar o curso de especialização em alguma das aviações operacionais da FAB: Aviação de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR), Aviação de Transporte, Asas Rotativas ou Aviação de Caça (Brasil, 2022c).

Ao longo do segundo ano do CFOAv, são ministradas no 2º Esquadrão de Instrução Aérea (2º EIA) as instruções de voo que compõem o Estágio Primário da aeronave T-25 Universal. Todos os exercícios que serão realizados, os níveis de aprendizagem, as fases do voo, os critérios de avaliação e as diretrizes estabelecidas para a instrução aérea são contemplados no Programa de Instrução e Manutenção Operacional da AFA (PIMO).

Uma das fases é a de voo em formatura com dois aviões (FR2), onde dois aviões voam em formação, sendo um deles o líder (LD), pilotado por um instrutor, e o outro é o ala, conduzido pelo cadete em instrução e outro instrutor (Brasil, 2022b). Com o intuito de melhorar a qualidade da instrução aérea na AFA, no ano de 2021, foram implementadas instruções semelhantes às feitas no 2º EIA nos simuladores de voo T-2000 do Esquadrão de Treinamento Simulado (ETS).

O simulador T-2000 é um dos equipamentos disponíveis no ETS. Foi desenvolvido pela AFA em parceria com o Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos (CCA-SJ) e inaugurado em julho de 2020. Suas principais contribuições estão relacionadas à capacidade de possibilitar o treinamento de diversos tipos de missões e a aplicação dos conceitos de pilotagem, desde os mais básicos até os mais avançados. No T-2000 é possível simular não só o T-25 Universal, mas também o T-27 Tucano, a aeronave utilizada na instrução dos cadetes do 4º ano. Além disso, os simuladores possuem capacidade de conexão em rede entre eles, o que permite a operação de diversas aeronaves simuladas num mesmo espaço, com a presença de um controlador de voo, trazendo mais realismo para a instrução (Inforzatto, 2020).

Nesse contexto, a instrução simulada é um dos elementos que têm influência nos graus

obtidos. Porém não é exclusiva, pois os dados não são provenientes de experimentos com controle de variáveis, mas sim da avaliação ao longo dos anos. Estas, por sua vez, podem ser influenciadas por mudanças de instrutores, disponibilidade de aeronaves, clima ou mesmo os hardwares e softwares utilizados, etc. Assim, levando em conta que não há uma definição clara e precisa de todas as variáveis que influenciam no grau obtido e que, no momento, com base nos dados disponíveis, é possível apenas classificar os graus em grupos sem e com instrução simulada e as respectivas missões associadas, a presente pesquisa busca determinar se “Há evidências para suportar a hipótese de diferenças nos graus com e sem instrução simulada”, mas atribuir uma relação direta de causa e efeito não é oportuno. Para isso, foram utilizados de forma anônima, os graus aferidos às missões de FR2 do 2º EIA nos anos de 2014 a 2018 e de 2022 a 2023. Vale ressaltar que, nos anos de 2019, 2020 e 2021, a fase de FR2 foi excluída do Estágio primário do 2º EIA, e somente em 2022 foram adicionadas missões de voo de formatura nos simuladores (Brasil, 2014, 2015, 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; 2021; 2022; 2023).

Objetivo

O objetivo geral deste artigo é avaliar, do ponto de vista estatístico, se há ou não diferença significativa entre as notas de voo dos cadetes aviadores que tiveram instruções nos simuladores do ETS e daqueles que não as tiveram.

Material e Método

Os graus finais de entre os anos de 2014 a 2018 e de 2022 a 2023 utilizados para a análise. A metodologia é baseada na análise utilizando a linguagem R (R Core Team, 2022) por meio da interface *Rstudio Posit* (RStudio Team, 2022). Os gráficos e as manipulações dos dados foram embasadas no operador *pipe* (`%>%`), proporcionado pelo *dplyr* (Wickham et al., 2021) e na capacidade gráfica do *ggplot2* (Wickham, 2016).

A análise, primeiramente, foi baseada no agrupamento dos anos com e sem instrução simulada com realização dos teste t e Mann-Whitney, precedidos pelas estatísticas descritivas com o pacote *psych* (Revelle, 2004). O teste t foi embasado na observação de que “As hipóteses de distribuições normais das populações e valores conhecidos de desvios são desnecessárias quando ambos os tamanhos das amostras são grandes” (Devore, 2006, p. 319). Esse fato, segundo o autor, é consequência do Teorema do Central do Limite, o qual garante que a diferença entre as médias das distribuições é aproximadamente distribuição normal, independentemente das distribuições das populações subjacentes (Ver (Devore, 2006, p.319)). De forma complementar, o teste de *Mann-Whitney* é utilizado considerando que os graus estão em escala ordinal (Mangiafico, 2016). Em seguida, a comparação das diferenças entre os graus para os anos com e sem instrução simulada foi realizada por meio da Anova e do teste de Kruskal-Wallis (Montgomery, 1991), (Devore,

2006), (Mangiafico, 2016). Por fim, os testes *post hoc* das diferenças Honestas de Tukey e o teste de Dunn foram realizados. Pormenores podem ser obtidos, por exemplo, em Mangiafico (2006) e pacotes utilizados; referências adicionais são (Alcoforado, 2021) e (Almeida, 2022).

Resultados e Discussão

Os graus de todos os voos de formatura nos Estágios Primários dos anos de 2014 a 2018 e 2022 a 2023 são mostrados na Figura 1.

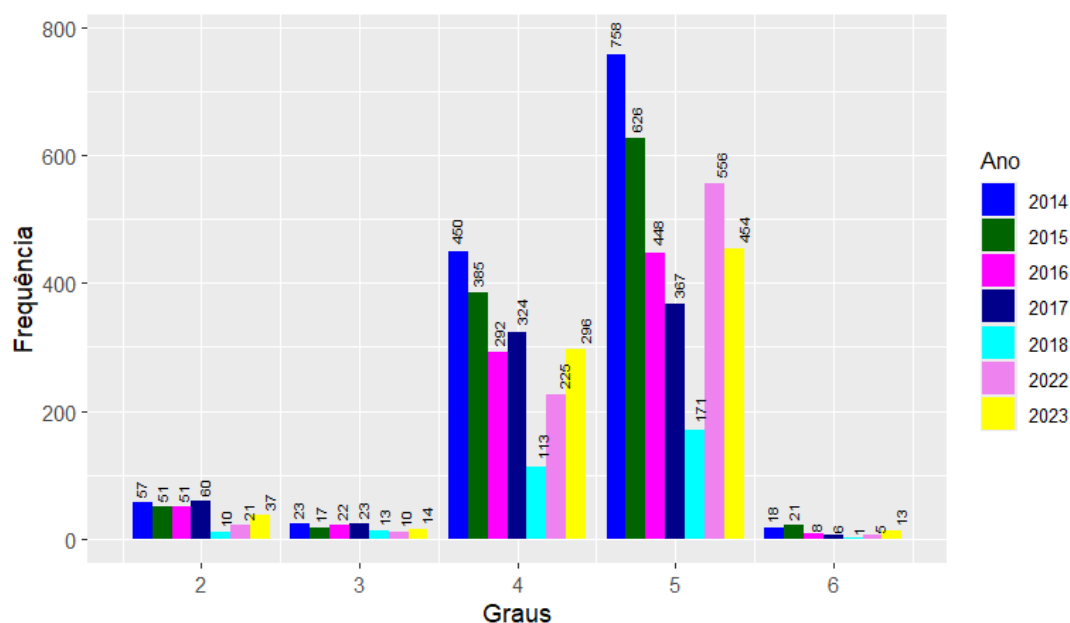


Figura 1: Graus obtidos nos anos de 2014 a 2018 e 2022 a 2023.

Fonte: Autores, 2025

Uma indicação da diferença entre o treinamento simulado e o não simulado pode ser observada no teste de proporção com correção de continuidade (função *prop.test(**)* disponível no R) para notas iguais ou superiores a 5 nos períodos analisados. O teste forneceu evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade de proporções, favorecendo a hipótese alternativa de que há diferenças significativas entre as proporções de notas superiores a 5 entre os períodos. Os resultados estatísticos incluem $\chi^2 = 22.545$, $df = 1$, $valor\ p \approx 0.0$ ($2.053 \cdot 10^{-6}$) com proporções observadas de $p_1 = 0.5617$, $p_2 = 0.6302$. A seguir, são apresentadas discussões e análises adicionais envolvendo os graus.

A Tabela 1, mostrada a seguir, ilustra os resultados dos graus agrupados de acordo com a utilização de instrução simulada ou não.

Tabela 1: Estatísticas descritivas dos graus agrupados: sem e com instrução simulada.

Ano	n	mean	sd	median	trimmed	min	max	skew	kurtosis	se
Ano $\leq$ 2018	4315	4.45	0.80	5.00	4.58	2.00	6.00	-1.45	2.28	0.01
Ano $>$ 2018	1631	4.56	0.72	5.00	4.66	2.00	6.00	-1.68	3.50	0.02

Fonte: Autores, 2025

A análise descritiva mostra uma relativa similaridade entre os valores descritivos com leve discrepância para alguns valores, exceto curtose (kurtosis) e o erro padrão (se). A Figura 2 mostra os boxplots com destaque para a média amostral de cada conjunto.



Figura 2: Box Plots dos dados agrupados em relação ao período de tempo com e sem instrução simulada.

Fonte: Autores, 2025

A comparação das médias dos graus foi realizada utilizando o teste t para diferenças entre médias. É importante destacar que o teste de normalidade de Shapiro-Wilk rejeitou a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal para ambos os grupos analisados, com valores p aproximadamente nulos ($\text{valor } p < 2.2 \cdot 10^{-16}$). Apesar disso, a adequação do uso do teste t foi justificada com base nas considerações apresentadas por Devore (2006, p. 319), para aplicação do teste t em amostras grandes, mesmo em casos de desvios da normalidade. Assim, os resultados obtidos indicam evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade entre as médias dos graus, em favor da hipótese alternativa de que existe uma diferença verdadeira entre as médias dos grupos analisados. Tal conclusão foi baseada em uma estatística $t = 5.124$ com graus de liberdade $df = 3249.1$ e um $\text{valor } p \approx 0.0$ ($3.164 \cdot 10^{-7}$). As médias amostrais foram $\bar{x} = 4.45$ para o primeiro grupo (ano menor ou igual a 2018) e $\bar{x} = 4.56$ para o segundo grupo.

De forma complementar, o teste de Mann-Whitney (Mangiafico, 2006), aplicado via função `wilcox.test(**)` com correção de continuidade) sugere a rejeição da hipótese nula em favor da hipótese alternativa ($\text{valor } p \approx 0.0$ ($8.089 \cdot 10^{-7}$)). Segundo Mangiafico (2006), para que a conclusão seja direcionada

para a mediana, as distribuições dos valores para cada grupo precisam ter forma e dispersão semelhantes. Caso contrário, o teste é um teste de igualdade estocástica. Nesse contexto, a hipótese nula é que os dois grupos são amostrados de populações com distribuições idênticas (exibem igualdade estocástica), enquanto que a hipótese alternativa bidirecional é que os dois grupos são amostrados de populações com distribuições diferentes (uma das populações amostradas exibe dominância estocástica).

A Figura 3 apresenta os boxplots dos graus por ano. Analogamente, ao caso anterior, exceto 2017, os boxplots possuem um aspecto idêntico, conforme pode ser observado na Tabela 02, mas a média difere por quantidades que podem ser consultadas na Tabela 02.

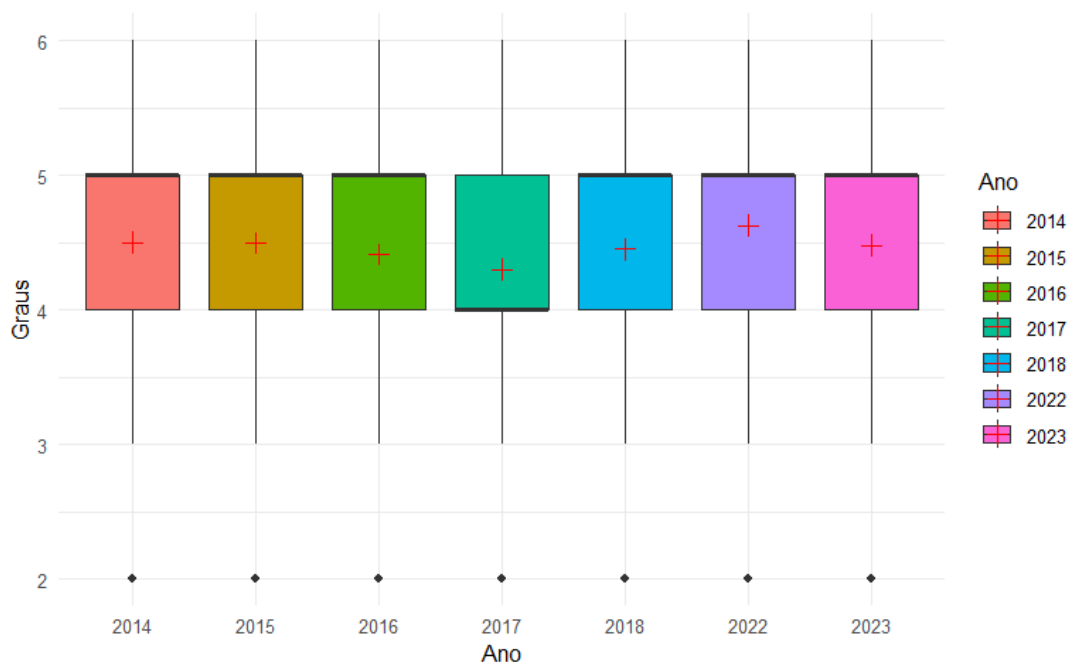


Figura 3: Box Plots dos dados por ano ao longo do período.

Fonte: Autores, 2025

As estatísticas descritivas mostradas na Tabela 02 são similares àquelas obtidas no caso do agrupamento dos graus de acordo com a instrução simulada ou não mostradas na Tabela 01.

Tabela 2: Estatísticas descritivas dos dados por ano.

Ano	n	mean	sd	median	trimmed	min	max	skew	kurtosis	se
2014	1306	4.50	0.76	5.00	4.62	2.00	6.00	-1.54	2.84	0.02
2015	1100	4.50	0.77	5.00	4.61	2.00	6.00	-1.48	2.71	0.02
2016	821	4.41	0.83	5.00	4.57	2.00	6.00	-1.44	1.95	0.03
2017	780	4.30	0.86	4.00	4.46	2.00	6.00	-1.27	1.34	0.03
2018	308	4.45	0.73	5.00	4.57	2.00	6.00	-1.38	2.06	0.04
2022	817	4.63	0.65	5.00	4.73	2.00	6.00	-1.94	4.71	0.02
2023	814	4.48	0.77	5.00	4.59	2.00	6.00	-1.45	2.62	0.03

Fonte: Autores, 2025

Neste caso, a comparação das médias em cada ano ainda está sob as hipóteses apontadas anteriormente em (Devore, 2006, p.319). Os resultados da ANOVA indicam que o efeito do fator Ano

sobre a variável dependente é estatisticamente significativo pois $F(df_1 = 6, df_2 = 5939) = 13.25$, $p \approx 0.0$ ($5.7 \cdot 10^{-15}$), resultado ocasionado por $SQTr = 47$ (*Sum of Squares due Treatment-SSFactor*), $SQE = 3545$ (*Sum of Squares due to Error - SSResidual ou SSError*), $QMTr = 7.912$ (*Mean Square due to Treatment - MSFactor ou MSTreatment*), $QME = 0.597$ (*Mean Square due to Error - MSResidual*) e $F = QMTr/QME = 13.25$.

A significância do teste F aponta que há ao menos dois anos cujas médias possuem diferença significativa. A Figura 4 ilustra os resultados do das Diferenças Honestas de Tukey ($tukeyHSD(**)$), um teste *post-hoc* utilizado para identificar quais grupos apresentam as diferenças apontadas pela ANOVA.

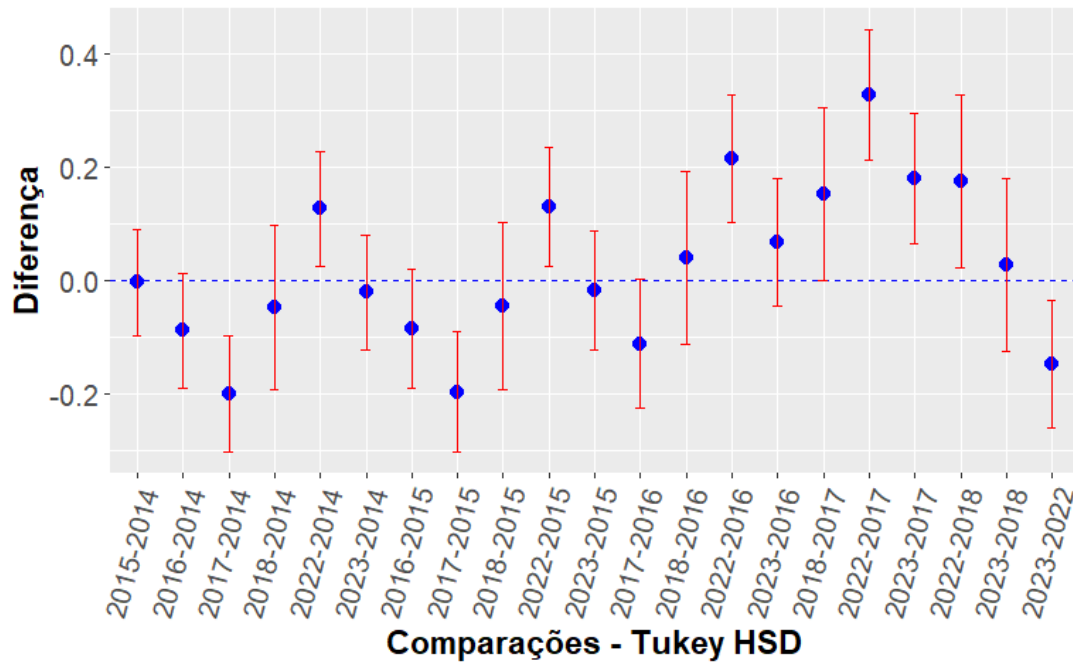


Figura 4: Teste de Tukey das diferenças honestas $TukeyHSD^*$

Fonte: Autores, 2025

É possível identificar diferenças significantes (levando em conta um nível de significância $\alpha = 0.05$) entre os anos "2017-2014", "2022-2014", "2017-2015", "2022-2015", "2022-2016", "2022-2017", "2023-2017", "2022-2018", "2023-2018" e "2023-2022".

É interessante observar que embora diferenças significativas detectadas possam sugerir uma o impacto da nova metodologia ao observar diferenças do ano 2022 em relação aos demais, não é razoável atribuir as diferenças significativas à nova metodologia sem considerar outros fatores uma vez que o ano 2023 parece não sustentar a hipótese.

No momento, a ANOVA aponta para a existência de diferenças significantes, mas a análise *post-hoc* dos anos não indica uma dominância das médias após a implementação da nova metodologia, sugerindo a existência de outros fatores tais como, por exemplo, mudanças no perfil de alunos ou instrutores, mudanças no ambiente de simulação, influência de condição externa, influência da aeronave, entre outras possibilidades.

Analogamente, ao caso anterior, o teste de Kruskal-Wallis, similar ao sentido de rejeição da hipótese nula de que grupos são amostrados de populações com distribuições idênticas (exibem igualdade estocástica), fornece $\chi^2 = 81.18$, $p \approx 0.0$ ($2.03 \cdot 10^{-15}$) e, como consequência, leva à rejeição da hipótese nula seguindo uma argumentação análoga àquela apresentada para o teste de Mann-Whitney. O teste *post-hoc* utilizado foi o teste de Dunn com correção de Bonferroni e os resultados estão na tabela a seguir com destaque para os valores p menores que o nível de significância $\alpha = 0.05$.

Tabela 3: Teste de Dunn (*Dunn's test*) com destaque para os valores p menores que o nível de significância $\alpha = 0.05$.

Compara	2014-2015	2014-2016	2015-2016	2014-2017	2015-2017	2016-2017	2014-2018
Z	0.14	2.19	1.99	5.62	5.32	3.14	1.34
P.unadj	0.89	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.18
P.adj	1.00	0.60	0.97	0.00	0.00	0.04	1.00
Compara	2015-2018	2016-2018	2017-2018	2014-2022	2015-2022	2016-2022	2017-2022
Z	1.23	-0.19	-2.52	-3.99	-3.98	-5.58	-8.64
P.unadj	0.22	0.85	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
P.adj	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Compara	2018-2022	2014-2023	2015-2023	2016-2023	2017-2023	2018-2023	2022-2023
Z	-3.94	0.80	0.65	-1.25	-4.36	-0.74	4.32
P.unadj	0.00	0.42	0.51	0.21	0.00	0.46	0.00
P.adj	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00

Conforme a Tabela 3, o teste de Dunn aponta que há evidências de que os grupos são amostrados com distribuições distintas nas combinações "2014 - 2017", "2015 - 2017", "2016 - 2017", "2014 - 2022", "2015 - 2022", "2016 - 2022", "2017 - 2022", "2018 - 2022", "2017 - 2023" e "2022 - 2023". Deve ser ressaltado que a correção de Bonferroni influencia drasticamente nos resultados para a rejeição da hipótese nula; a opção foi feita com base no aspecto conservador, mas o R possui outras alternativas de correções que não foram exploradas; estas, em geral, ocasionam resultados distintos dos apresentados.

Conclusão

Ao analisar as proporções de graus acima de cinco para os anos antes (inclusive) e após 2018, há evidências para suportar a rejeição da hipótese de que as proporções de graus acima de cinco são iguais. Esse contexto direcionou à análise das diferenças com e sem instrução simulada, sugerindo a rejeição de igualdade entre as médias com base nos resultados do teste *t*. Como consequência, a análise sugere que os graus médios da instrução simulada são maiores que os graus médios das instruções sem o auxílio do simulador, apesar da diferença pequena entre as médias dos graus. Na mesma linha, o teste de *Mann-Whitney* aponta para a dominância estocástica dos graus que tiveram instrução em simulador em relação aos graus que não tiveram tal auxílio. O próximo passo foi a análise dos graus por meio da Anova (*Kruskal-Wallis*) para testar a consistência das diferenças (dominância) em relação aos anos. A Anova sugere evidências para suportar a rejeição da hipótese de igualdade das médias dos graus entre os diferentes anos, porém é interessante observar que embora diferenças significativas detectadas possam sugerir uma o impacto da nova metodologia ao observar diferenças do ano 2022 em relação aos demais, não é razoável atribuir as diferenças significativas à nova metodologia sem considerar outros fatores uma vez que o ano 2023 parece não sustentar a hipótese. De forma análoga, o teste de *Kruskal-Wallis* fornece resultados similares ao método Anova, mas levando em conta as observações da dominância estocástica uma vez que os requerimentos para afirmações sobre a mediana não foram verificados. De forma geral, no momento, não é possível atribuir as diferenças (médias ou dominância estocástica) apenas à utilização do simulador, uma vez que há um conjunto variáveis que podem afetar os graus. De forma geral, uma análise pormenorizada levando em conta todas as missões e diferentes variáveis é requerido para maior detalhamento das diferenças dos graus antes e após a presença do simulador. Um ponto importante a ser considerado em questões futuras é a análise e comparação das notas por missões bem como a adoção de outros métodos estatísticos.

Referências

- ALCOFORADO, L. **Utilizando a Linguagem R: Conceitos, manipulação, visualização, modelagem e elaboração de relatórios**. 1. Ed. São Paulo: Alta Books, 2021.
- ALMEIDA, D. C. E. **Utilização dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 2, 2022.
- DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. (J. P. N. da Silva, Trad.). São Paulo: Cengage Learning, 2006.
- INFORZATTO, M. F. **FAB inaugura novo sistema de simulador de voo para instrução dos Cadetes Aviadores**. Agência Força Aérea, 2020. Disponível em: Link Disponível. Acesso em: 27 jun. de 2023.
- JOHNSON, J.E. **Guerra no Ar**. Porto Alegre: Editora Globo, 1964.
- MANGIAFICO, S. S. **Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R**. version 1.20.05, revised 2023. ed. New Brunswick, NJ.: Rutgers Cooperative Extension, 2016.
- MONTGOMERY, D.E. **Design and Analysis of Experiments**. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- REVELLE, W. **psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research**. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.4.3. 2 Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=psych>
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. URL: <https://www.R-project.org/>.
- RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA, 2022. URL: <http://www.rstudio.com/>.
- WICKHAM, Hadley. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K.. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. R package version 1.0.7. 2021. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.

Anexo

```
“{r}
library("readxl"); library(dplyr); library(magrittr); library(ggplot2); library(stats); library(FSA); li-
brary(psych)
dados=read_excel("Graus.xlsx")
“
“{r}
proporcoes <- dados %>% count(Grau, Ano) %>% group_by(Ano) %>% mutate(proporcao = n)
ggplot(data = proporcoes, aes(x = Grau, y = proporcao, fill = factor(Ano))) +
geom_bar(stat = "identity", position = "dodge", width = 0.87) +
geom_text(aes(label = round(proporcao, 1)), position = position_dodge(width = .95),
vjust = 0.75, angle = 90, hjust = -0.25, size=2.5) +
labs(title = , x = "Graus",y = "Frequência", fill = "Ano") +
scale_fill_manual(values = c("blue", "darkgreen", "magenta", "darkblue", "cyan", "violet", "yellow"),
labels = c("2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2022", "2023")) +
scale_y_continuous(limits = c(0, 780)) +
theme(panel.grid.major.x = element_line(color = "white", linetype = 1),
plot.title = element_text(size = 14, face = "bold"),
axis.title = element_text(size = 12),axis.text = element_text(size = 10))
“
“{r}
dt1=dados %>% filter(Ano<=2018)
dt2=dados%>% filter(Ano>2018)
results_dt1 <- describe(dt1$Grau)
results_dt2 <- describe(dt2$Grau)
“
“{r,echo=T}
# Criar o boxplot sem legenda e com rótulos no eixo x
boxplot <- ggplot(data = dados, aes(x = factor(Ano > 2018), y = Grau, fill = factor(Ano > 2018)))
+
geom_boxplot() +stat_summary(fun = mean, geom = "point", shape = 3, size = 3, color = "red",
aes(group = factor(Ano > 2018))) +
labs(x = "Período", y = "Graus") +
scale_x_discrete( labels = c("FALSE"= "Até 2018 (incluso)", "TRUE"= "Após 2018")) +
theme_minimal() + theme(legend.position = "none",axis.title.x = element_text(size=14),
axis.title.y = element_text(size=14), axis.text.x = element_text(size=12),
axis.text.y = element_text(size=12))
boxplot
“
- Proporção de notas maiores que 5
“{r}
antes_2018 <- subset(dados, Ano <= 2018); apos_2018 <- subset(dados, Ano > 2018)
valor=5
prop_antes_2018 <- sum(antes_2018$Grau >= valor) / nrow(antes_2018)
prop_apos_2018 <- sum(apos_2018$Grau >= valor) / nrow(apos_2018)
cat("Proporção de notas >= 4 antes de 2018:", prop_antes_2018, "\n")
cat("Proporção de notas >= 4 após 2018:", prop_apos_2018, "\n")
```

```
sucessos_antes <- sum(antes_2018$Grau >= valor)
sucessos_apos <- sum(apos_2018$Grau >=valor)
total_antes <- nrow(antes_2018)
total_apos <- nrow(apos_2018)
# Realizar o teste de proporção
teste <- prop.test(x = c(sucessos_antes, sucessos_apos),n = c(total_antes, total_apos))
# Exibir o resultado do teste
print(teste)
““

- t test para médias
““{r}
t.test(dt2$Grau,dt1$Grau,var.equal = FALSE,alternative = "two.sided")
““

- Teste de Normalidade dos dados
““{r}
shapiro.test(dt1$Grau)
shapiro.test(dt2$Grau)
““

““{r,echo=T}
# Calcular a média para cada ano
medias <- dados %>% group_by(Ano) %>% summarise(media = mean(Grau, na.rm = TRUE))
boxplot <- ggplot(data = dados, aes(x = factor(Ano), y = Grau, fill = factor(Ano))) +
geom_boxplot() + geom_point(data = medias, aes(x = factor(Ano), y = media),
color = "red", size = 3, shape = 3) +
labs( x = "Ano",y = "Graus",fill = "Ano") + theme_minimal()
boxplot
““

““{r}
desc <- describeBy(dados$Grau, group = dados$Ano)
““

- ANOVA para comparações por ano entre todos os anos
““{r}
modelo_anova <- aov(Grau ~ as.factor(dados$Ano), data = dados)
summary(modelo_anova)
““

- Teste post-hoc Tukey HSD
““{r}
resultado_tukey <- TukeyHSD(modelo_anova)
df=as.data.frame(resultado_tukey$as.factor(dados$Ano)‘)
df2=df %>% filter(‘p adj’<0.05)
df$id <- c("2015-2014", "2016-2014", "2017-2014", "2018-2014", "2022-2014", "2023-2014",
"2016-2015", "2017-2015", "2018-2015", "2022-2015", "2023-2015",
"2017-2016", "2018-2016", "2022-2016", "2023-2016",
"2018-2017", "2022-2017", "2023-2017", "2022-2018", "2023-2018", "2023-2022")
df$id <- factor(df$id, levels = df$id)
ggplot(df, aes(x = id, y = diff)) +
geom_hline(yintercept = 0.0,lwd=.5,color="blue",linetype="dashed")+
```

```
geom_point(size = 3, color = "blue") +  
geom_errorbar(aes(ymin = lwr, ymax = upr), width = 0.2, color = "red") +  
labs(x = "Comparações - Tukey HSD", y = "Diferença") +  
theme(axis.text.x = element_text(size=14,angle = 75, hjust = 1),  
axis.title.x = element_text(size = 16, face = "bold"),  
axis.title.y = element_text(size = 16, face = "bold"),  
axis.text = element_text(size = 14) )  
““  
“{r}  
dados$Ano=as.factor(dados$Ano)  
kruskal.test(dados$Grau,dados$Ano)  
““  
- Dunn's Test  
“{r}  
DT = dunnTest(Grau ~ Ano, data=dados,method="bonferroni")  
df3=as.data.frame(DT$res)  
df3  
#str(df2)  
df31=df3 %>% filter(P.adj<0.05)  
df31$Comparison  
““
```