

Relatório: Análise e Regressão Linear do Banco de Dados “Pinguins”

Igor Falcão, Beatriz Beckman e Natã Cavalcante

2024-10-05

```
# Setup para o relatório Quarto  
knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE, message = FALSE, warning = FALSE)
```

Relatório: Análise e Regressão Linear do Banco de Dados “Pinguins”

1.Introdução

Este relatório tem como objetivo ajustar um modelo de regressão linear múltipla para investigar a influência de determinadas características morfológicas e demográficas de pinguins sobre a variável de interesse “Profundidade do Bico”. O estudo será conduzido com base no conjunto de dados “pinguins”, que contém informações detalhadas de três espécies: Pinguim-de-adélia, Pinguim-de-barbicha e Pinguim-gentoo.

O dataset inclui medidas como massa corporal, comprimento da nadadeira e comprimento do bico, além de informações categóricas como o sexo dos pinguins e a ilha onde foram encontrados (Biscoe, Dream, Torgersen). Nosso objetivo é compreender como essas variáveis explicativas influenciam a profundidade do bico, uma característica importante para a alimentação e adaptação das espécies ao ambiente.

Este relatório apresentará a análise detalhada das variáveis, construção do modelo de regressão e interpretação dos resultados, com o intuito de identificar os fatores mais relevantes na determinação da profundidade do bico entre as diferentes espécies de pinguins.

2.Os dados

Para obter o dataset “penguins (terceiro_estagio)”, foi necessário entrar em contato com a professora, que nos enviou o arquivo. Em seguida, ele foi baixado para ser utilizado no R. Para que o dataset estivesse disponível e pudesse ser utilizado nos códigos, foi necessário carregá-lo no ambiente do R.

Observando a estrutura da base de dados, possuímos 344 observações e 8 variáveis:

- Sexo: Sexo do(a) pinguim, macho ou fema;
- Massa Corporal: Massa corporal, em gramas;
- Comprimento Nadadeira: Comprimento Nadadeira, em milímetros;
- Ano: Ano de estudo, (2007, 2008, 2009);
- Profundidade de Bico: Profundidade do bico, em milímetros;
- Comprimento de bico: Comprimento do Bico, em milímetros;
- Ilha: Ilha do arquipélago Palmer, na Antártida (Biscoe, Dream ,Torgersen)
- Espécie: Espécies de pinguim (Pinguim-de-adélia, Pinguim-de-barbicha, Pinguim-gentoo);

2.1 Análise exploratória dos dados

```
library(skimr)

# Caminho relativo para o arquivo .csv
dados <- read.csv("./terceiro_estagio.csv",
                  header = TRUE,
                  sep = ';',
                  dec = ',')

dados_clean <- na.omit(dados[,
                          c("especie", "ilha","comprimento_bico"
                            ,"profundidade_bico", "comprimento_nadadeira",
                            "massa_corporal", "sexo", "ano")])

skim(dados)
```

Tabela 1: Data summary

Name	dados
Number of rows	344
Number of columns	9
Column type frequency:	
character	3
numeric	6
Group variables	None

Variable type: character

skim_variable	n_missing	complete_rate	min	max	empty	n_unique	whitespace
especie	0	1.00	14	19	0	3	0
ilha	0	1.00	5	9	0	3	0
sexo	11	0.97	5	5	0	2	0

Variable type: numeric

skim_variable	n_missing	complete_rate	mean	sd	p0	p25	p50	p75	p100	hist
X	0	1.00	172.50	99.45	1.0	86.75	172.50	258.25	344.0	
comprimento_bico	2	0.99	43.92	5.46	32.1	39.23	44.45	48.50	59.6	
profundidade_bico	2	0.99	17.15	1.97	13.1	15.60	17.30	18.70	21.5	
comprimento_nadadeira	2	0.99	200.92	14.06	172.0	190.00	197.00	213.00	231.0	
massa_corporal	2	0.99	4201.75	801.95	2700.0	3550.00	4050.00	4750.00	6300.0	
ano	0	1.00	2008.03	0.82	2007.0	2007.00	2008.00	2009.00	2009.0	

A instrução `library(skimr)` carrega o pacote `skimr`, que serve para elaborar resumos estatísticos de conjuntos de dados de maneira minuciosa e estruturada. No exemplo apresentado, cria-se primeiramente um objeto denominado `dados`, que contém o conjunto de dados pinguins(`terceiro_estagio`). Após isso, utiliza-se o comando `skim(dados)` para produzir um resumo estatístico desse conjunto, apresentando informações como o número de valores ausentes, média, mediana, desvio padrão, valores mínimo e máximo, entre outros fatores. Essa função torna mais fácil a compreensão das características dos dados de modo claro e intuitivo.

Sobre a saída do código, o conjunto de dados possui 344 linhas e 8 colunas, sendo que 3 delas são variáveis categóricas (do tipo `character`) e as outras 5 são numéricas. Essa configuração

nos proporciona uma visão sobre a estrutura do conjunto, que abrange informações tanto qualitativas quanto quantitativas.

Entre as variáveis categóricas, a variável “espécie” contém dados sobre diferentes tipos de pinguins. A variável “ilha” apresenta três valores distintos, o que indica que as informações foram coletadas de três ilhas diferentes. A variável “sexo”, também categórica, possui duas categorias principais, que provavelmente correspondem a “macho” e “fêmea”.

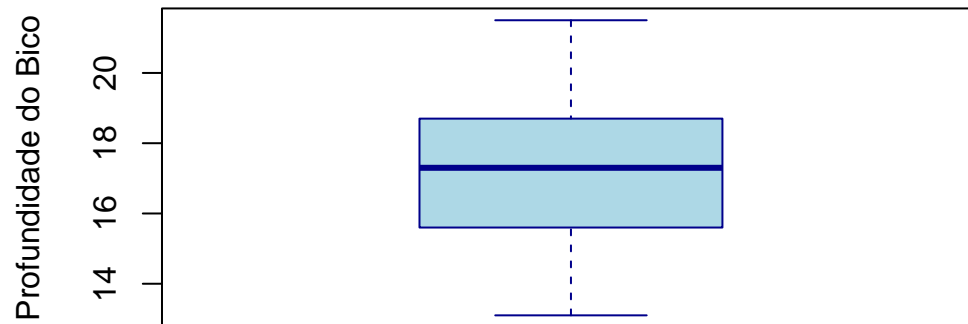
No que diz respeito às variáveis numéricas, as estatísticas descritivas incluem média, desvio padrão e percentis, facilitando uma compreensão mais aprofundada da distribuição dos dados. A média do comprimento do bico é de 43,9 mm, enquanto a profundidade média do bico é de 17,2 mm. A média da massa corporal é de 4202 gramas, sugerindo uma ligação entre essa variável e o peso dos pinguins.

A análise dos percentis, como p25, p50 e p75, indica que a maioria dos valores está concentrada dentro de intervalos esperados, como no caso da **massa_corporal**, cuja maioria dos pinguins pesa entre 3550 e 4750 gramas. A distribuição das variáveis numéricas parece razoável e consistente, o que sugere que os dados estão bem representados e podem ser utilizados para análises mais aprofundadas.

2.1.1 Análise de outliers

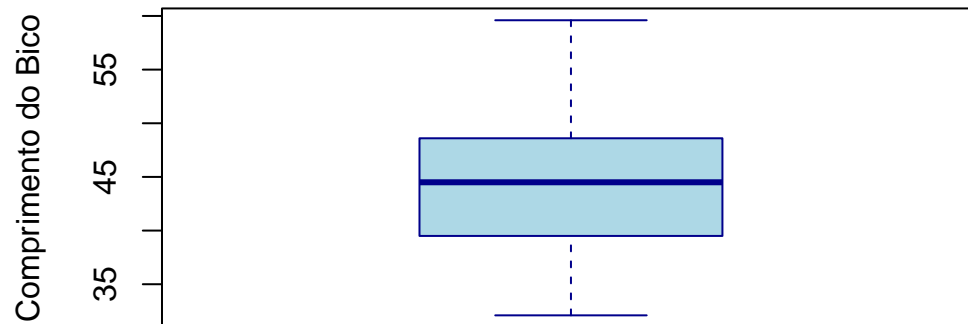
```
boxplot(dados_clean$profundidade_bico,  
        main = "Boxplot de Profundidade do Bico",  
        ylab = "Profundidade do Bico",  
        col = "lightblue",  
        border = "darkblue",  
        outline = TRUE)
```

Boxplot de Profundidade do Bico



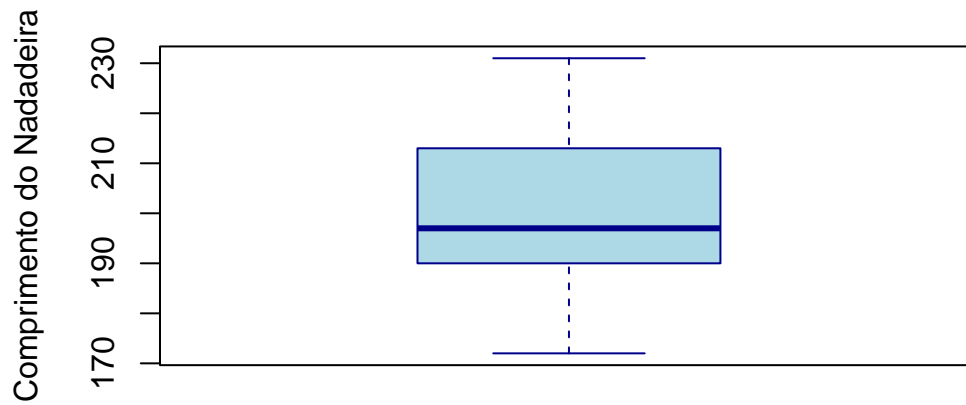
```
boxplot(dados_clean$comprimento_bico,  
        main = "Boxplot de Comprimento do Bico",  
        ylab = "Comprimento do Bico",  
        col = "lightblue",  
        border = "darkblue",  
        outline = TRUE)
```

Boxplot de Comprimento do Bico



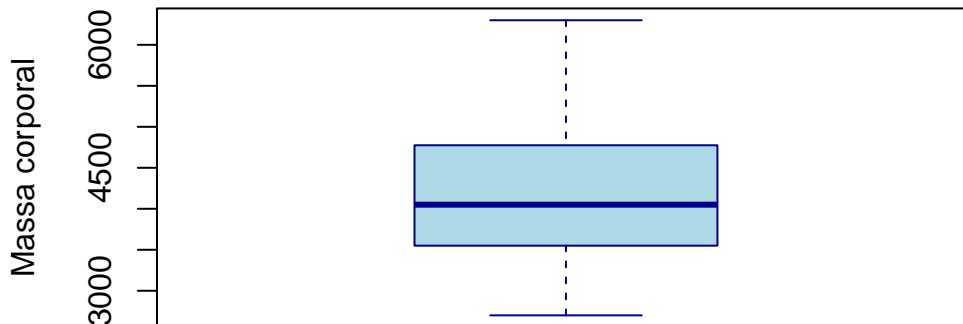
```
boxplot(dados_clean$comprimento_nadadeira,  
        main = "Boxplot de Comprimento da Nadadeira",  
        ylab = "Comprimento do Nadadeira",  
        col = "lightblue",  
        border = "darkblue",  
        outline = TRUE)
```

Boxplot de Comprimento da Nadadeira



```
boxplot(dados_clean$massa_corporal,  
        main = "Boxplot de Massa Corporal",  
        ylab = "Massa corporal",  
        col = "lightblue",  
        border = "darkblue",  
        outline = TRUE)
```

Boxplot de Massa Corporal



Após gerar o boxplot de todas as variáveis quantitativas, não foram identificados outliers. Isso sugere que os dados dessa variável estão bem distribuídos dentro do intervalo esperado, sem a presença de valores anômalos ou extremos que pudessem distorcer a análise estatística. A ausência de outliers indica também que os dados podem estar bem comportados e não apresentam erros significativos ou variabilidade extrema.

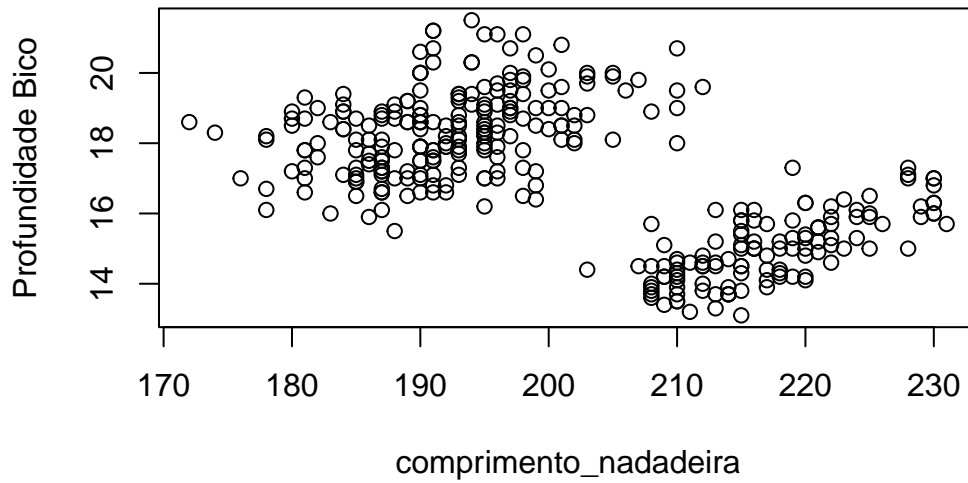
Os outliers poderiam ser identificados no boxplot como pontos que ficam fora dos limites do gráfico.

2.1.2 Análise de Correlação

Com o intuito de realizar a análise das variáveis explicativas com a variável resposta, é possível observar algumas características por exemplo com a variável explicativa **comprimento_nadadeira**.

```
plot(profundidade_bico ~ comprimento_nadadeira, data = dados_clean,
     main = "Profundidade do Bico por Comprimento nadadeira",
     xlab = "comprimento_nadadeira", ylab = "Profundidade Bico")
```

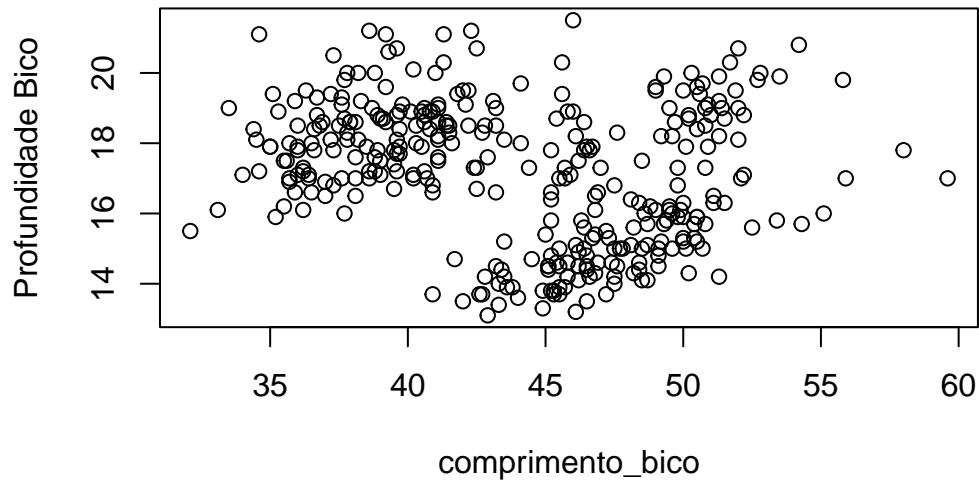

Profundidade do Bico por Comprimento nadadeira



Analisando esse gráfico de dispersão existe a divisão da população de pinguins em dois grupos, um quando o comprimento da nadadeira é menor a profundidade do bico é maior e outro quando o comprimento da nadadeira é maior a profundidade do bico é menor, ou seja, o coeficiente de correlação linear r será negativo

```
plot(profundidade_bico ~ comprimento_bico, data = dados_clean,  
     main = "Profundidade do Bico por Comprimento Bico",  
     xlab = "comprimento_bico", ylab = "Profundidade Bico")
```

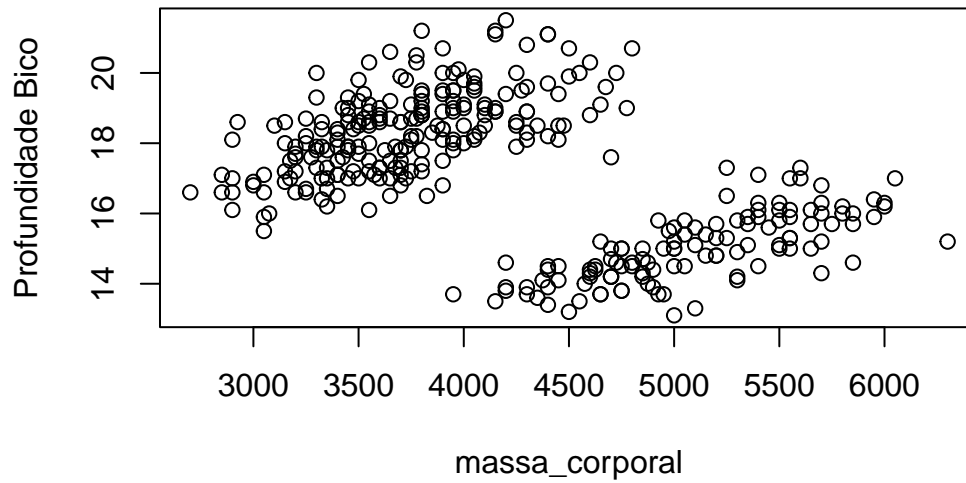
Profundidade do Bico por Comprimento Bico



O gráfico de dispersão com a variável **comprimento_bico**, não é possível encontrar alguma relação entre as variáveis.

```
plot(profundidade_bico ~ massa_corporal, data = dados_clean,  
     main = "Profundidade do Bico por Massa Corporal",  
     xlab = "massa_corporal", ylab = "Profundidade Bico")
```

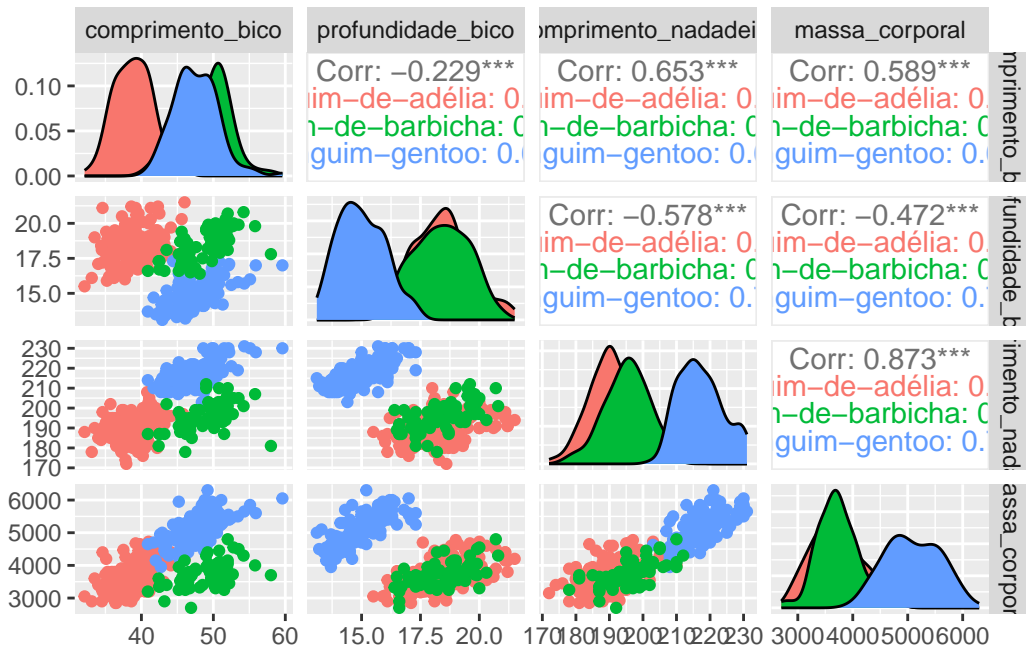
Profundidade do Bico por Massa Corporal



Com relação à **massa_corporal** é possível observar que quanto maior a massa corporal menor a profundidade do bico e quando menor a massa corporal maior será o bico, logo, o coeficiente de correlação linear também será negativo

```
library(GGally)

graf1 <- ggpairs(dados_clean, columns = 3:6, ggplot2::aes(colour=especie))
graf1
```



Importante ressaltar que as variáveis predictoras comprimento nadadeira e massa corporal podem ocasionar uma multicolinearidade, pois o coeficiente de correlação linear (Corr) é maior do que 0.8. Dessa forma, esse fato tem que ser corrigido no nosso modelo a ser escolhido.

2.1.3 Multicolinearidade - Analisando o VIF - Variance Inflation Factor

```
modelo1 <- lm(profundidade_bico ~ . -especie, data = dados_clean)

library(car)

vif(modelo1)
```

	GVIF	Df	GVIF ^{1/(2*Df)}
ilha	2.371144	2	1.240908
comprimento_bico	2.336123	1	1.528438
comprimento_nadadeira	6.071479	1	2.464037
massa_corporal	6.370176	1	2.523921
sexo	1.531849	1	1.237679
ano	1.094646	1	1.046253

A análise de Variance Inflation Factor (VIF), o objetivo é avaliar a presença de multicolinearidade entre as variáveis independentes de um modelo de regressão. Valores de VIF acima de 5

indicam uma colinearidade moderada e valores acima de 10 sugerem alta multicolinearidade, o que pode prejudicar a interpretação dos coeficientes de regressão.

Aqui está uma interpretação detalhada dos resultados:

Ilha ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 1.240908$): O valor do GVIF ajustado indica que a variável “ilha” não apresenta colinearidade preocupante. Como o valor está abaixo de 5, não há indícios de multicolinearidade severa.

Comprimento do bico ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 1.528438$): O valor é baixo e sugere que a variável “comprimento do bico” também não tem problemas de colinearidade.

Comprimento da nadadeira ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 2.464037$): Embora um pouco maior, este valor ainda está abaixo do limite crítico de 5, o que indica uma colinearidade leve, mas não crítica.

Massa corporal ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 2.523921$): Semelhante ao comprimento da nadadeira, o valor é relativamente alto, mas não ultrapassa o limite de 5. Pode ser considerado uma leve colinearidade, mas não problemático.

Sexo ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 1.237679$): O valor de VIF é muito baixo, o que sugere que a variável “sexo” está livre de qualquer colinearidade.

Ano ($\text{GVIF}^{1/(2 \cdot \text{Df})} = 1.046253$): O valor mais baixo entre todas as variáveis, indicando que não há multicolinearidade associada ao “ano”.

Dessa forma, nenhuma das variáveis apresenta multicolinearidade severa, já que todos os valores de GVIF ajustados estão bem abaixo do limite crítico de 5. As variáveis “comprimento da nadadeira” e “massa corporal” têm valores ligeiramente mais altos, o que sugere uma pequena correlação entre essas variáveis, mas nada que precise de intervenção imediata.

3. Modelos

```
modelo10 <- lm(profundidade_bico ~ ., data = dados_clean)
summary(modelo10)
```

Call:

```
lm(formula = profundidade_bico ~ ., data = dados_clean)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-2.02812	-0.53903	0.00004	0.43546	2.71777

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	3.095e+02	1.144e+02	2.706	0.00718	**
especiePinguim-de-barbicha	-4.166e-01	2.462e-01	-1.692	0.09163	.
especiePinguim-gentoo	-5.150e+00	3.059e-01	-16.834	< 2e-16	***
ilhaDream	-1.641e-01	1.599e-01	-1.026	0.30567	
ilhaTorgersen	-3.508e-03	1.671e-01	-0.021	0.98327	
comprimento_bico	4.110e-02	1.959e-02	2.098	0.03665	*
comprimento_nadadeira	2.705e-02	8.907e-03	3.037	0.00258	**
massa_corporal	4.574e-04	1.505e-04	3.040	0.00256	**
sexomacho	8.632e-01	1.357e-01	6.359	6.91e-10	***
ano	-1.494e-01	5.723e-02	-2.610	0.00948	**

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7859 on 323 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8451, Adjusted R-squared: 0.8407

F-statistic: 195.7 on 9 and 323 DF, p-value: < 2.2e-16

Inicialmente temos o primeiro modelo

```
modelo1 <- lm(profundidade_bico ~ . -especie, data = dados_clean)
summary(modelo1)
```

Call:

```
lm(formula = profundidade_bico ~ . - especie, data = dados_clean)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.7329	-0.7450	-0.1286	0.6913	4.4479

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-1.124e+02	1.550e+02	-0.725	0.46888	
ilhaDream	1.032e+00	1.849e-01	5.584	4.97e-08	***
ilhaTorgersen	1.127e+00	2.150e-01	5.239	2.91e-07	***
comprimento_bico	9.445e-03	1.680e-02	0.562	0.57446	
comprimento_nadadeira	-5.480e-02	1.057e-02	-5.184	3.82e-07	***
massa_corporal	-5.304e-04	1.885e-04	-2.814	0.00518	**
sexomacho	2.194e+00	1.486e-01	14.766	< 2e-16	***
ano	7.010e-02	7.738e-02	0.906	0.36567	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.095 on 325 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.697, Adjusted R-squared: 0.6905

F-statistic: 106.8 on 7 and 325 DF, p-value: < 2.2e-16

Devido a existência de uma correlação da variável resposta **profundidade_bico** com as variáveis explicativas **comprimento_nadadeira** e **massa_corporal** como já foi observado anteriormente elas variam em sentidos opostos, no entanto essas variáveis preditoras podem ocasionar a multicolinearidade. Assim, analisando o modelo 1 não existe nenhuma anormalidade com as estimativas, pois a medida que aumenta uma unidade no comprimento da nadadeira, tem uma estimativa de diminuir a profundidade do bico em -5.480×10^{-2} o mesmo acontece com a massa corporal, pois quando aumenta uma unidade na massa corporal tem a estimativa de diminuir a profundidade do bico em -5.304×10^{-4} .

No entanto, a variável preditora **comprimento_bico** possui o valor P igual a 0.57446 o que é maior do que 10%, sendo uma boa alternativa retirá-la do modelo 1.

```
modelo2 <- update(modelo1, ~ . -comprimento_bico)
summary(modelo2)
```

Call:

```
lm(formula = profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira +
    massa_corporal + sexo + ano, data = dados_clean)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.7533	-0.7624	-0.1015	0.7184	4.4564

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.051e+02	1.543e+02	-0.681	0.49635
ilhaDream	1.069e+00	1.728e-01	6.185	1.86e-09 ***
ilhaTorgersen	1.119e+00	2.144e-01	5.219	3.20e-07 ***
comprimento_nadadeira	-5.223e-02	9.519e-03	-5.486	8.25e-08 ***
massa_corporal	-5.259e-04	1.881e-04	-2.796	0.00548 **
sexomacho	2.208e+00	1.463e-01	15.090	< 2e-16 ***
ano	6.638e-02	7.701e-02	0.862	0.38938

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
Residual standard error: 1.094 on 326 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.6968, Adjusted R-squared: 0.6912
F-statistic: 124.8 on 6 and 326 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Com o novo modelo o valor R-squared obteve um aumento de 0.0007, indicando que o modelo 2 é melhor do que o modelo 1, pelo fato do valor R^2 ser maior. No entanto, é possível realizar uma melhoria nesse modelo pelo fato da variável preditora ano possuir um valor P superior a 10%

```
modelo3 <- update(modelo2, ~ . -ano)
summary(modelo3)
```

Call:

```
lm(formula = profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira +
    massa_corporal + sexo, data = dados_clean)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-2.6861	-0.7580	-0.0936	0.6901	4.5334

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	27.9043913	1.3521204	20.638	< 2e-16 ***
ilhaDream	1.0626246	0.1726214	6.156	2.19e-09 ***
ilhaTorgersen	1.1179289	0.2142790	5.217	3.23e-07 ***
comprimento_nadadeira	-0.0499521	0.0091429	-5.464	9.26e-08 ***
massa_corporal	-0.0005633	0.0001829	-3.079	0.00225 **
sexomacho	2.2176123	0.1458956	15.200	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
Residual standard error: 1.094 on 327 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.6961, Adjusted R-squared: 0.6914
F-statistic: 149.8 on 5 and 327 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Logo, podemos perceber uma melhoria nos valores tanto na estimativa, como também no valor R^2 , 0.6914, aumentando 0.0002, o que indica que houve uma melhora no modelo. Para confirmar essa ideia vamos calcular a medida AIC dos modelos.

4. Métodos de seleção de modelos

4.1 Medida AIC

Tendo em vista que temos três possíveis modelos calculamos o AIC

```
AIC(modelo1)
```

```
[1] 1015.66
```

```
AIC(modelo2)
```

```
[1] 1013.983
```

```
AIC(modelo3)
```

```
[1] 1012.741
```

Dessa forma, o menor valor AIC indica o melhor modelo que no caso seria o modelo 3

4.2 Medida BIC

Agora vamos calcular o melhor modelo possível segundo o BIC

```
BIC(modelo1)
```

```
[1] 1049.933
```

```
BIC(modelo2)
```

```
[1] 1044.448
```

```
BIC(modelo3)
```

```
[1] 1039.398
```

Assim, o menor valor BIC indica o melhor modelo que no caso seria o modelo 3, faz-se o BIC para possuir uma melhor confirmação sobre qual é o caminho preferível.

4.3 Comparação de modelos encaixados(ANOVA)

Comparação de modelos aninhados, ou seja, quando um ou mais modelo é obtido como sub-conjunto do(s) outro(s)

```
anova(modelo1,modelo2)
```

Analysis of Variance Table

Model 1: profundidade_bico ~ (especie + ilha + comprimento_bico + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo + ano) - especie

Model 2: profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo + ano

	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	Pr(>F)
1	325	390.04				
2	326	390.42	-1	-0.37913	0.3159	0.5745

Como o p-valor (0.5745) é significativamente maior que 0.05, não há evidências suficientes para concluir que a remoção da variável comprimento_bico melhora o modelo de forma significativa. Portanto, a inclusão do comprimento do bico é justificada, pois a exclusão dessa variável não resulta em um modelo que explique melhor a variação na profundidade do bico. Em resumo, a análise sugere que o comprimento do bico deve ser mantido no modelo para melhor entendimento dos fatores que influenciam a profundidade do bico.

```
anova(modelo2,modelo3)
```

Analysis of Variance Table

Model 1: profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo + ano

Model 2: profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo

	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	Pr(>F)
1	326	390.42				
2	327	391.31	-1	-0.88963	0.7428	0.3894

Como o p-valor (0.3894) é significativamente maior que 0.05, não há evidências suficientes para concluir que a remoção da variável ano melhora o modelo de forma significativa. Assim, a inclusão do ano no Modelo 1 é justificada, pois a exclusão dessa variável não resulta em um modelo que explique melhor a variação na profundidade do bico. Em resumo, os dados sugerem que a variável ano desempenha um papel importante na modelagem da profundidade do bico, e sua remoção não é recomendada.

```
anova(modelo1, modelo3)
```

Analysis of Variance Table

Model 1: profundidade_bico ~ (especie + ilha + comprimento_bico + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo + ano) - especie

Model 2: profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira + massa_corporal + sexo

	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	Pr(>F)
1	325	390.04				
2	327	391.31	-2	-1.2688	0.5286	0.5899

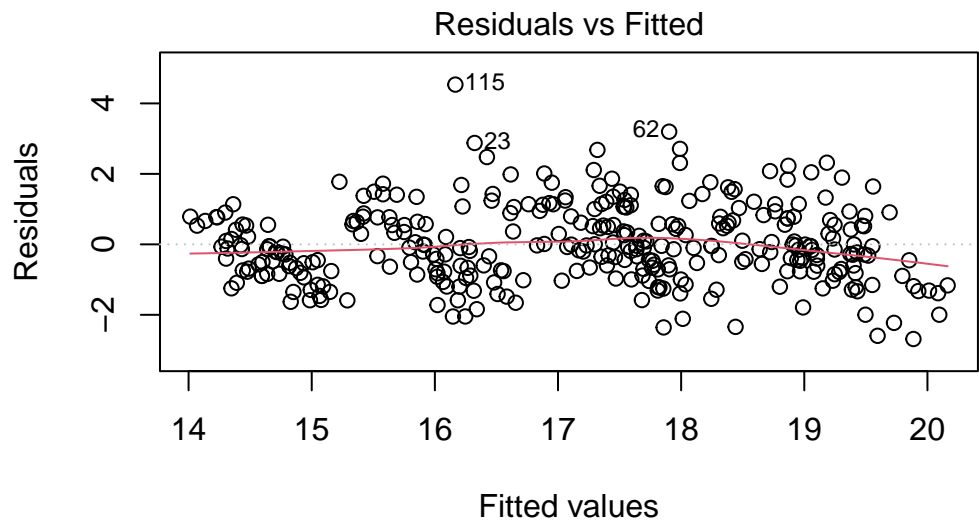
Dado que o p-valor (0.5899) é significativamente maior que 0.05, não há evidências suficientes para afirmar que a remoção das variáveis comprimento do bico, ilha, comprimento da nadadeira, massa corporal e sexo (considerando a comparação com o Modelo 1) resulta em um modelo significativamente melhor. Isso sugere que a inclusão das variáveis do Modelo 1 é justificada, pois a exclusão de qualquer uma delas não melhora a explicação da variação na profundidade do bico.

Em síntese, os resultados indicam que as variáveis incluídas no Modelo 1 desempenham papéis importantes e devem ser mantidas para uma modelagem adequada da profundidade do bico.

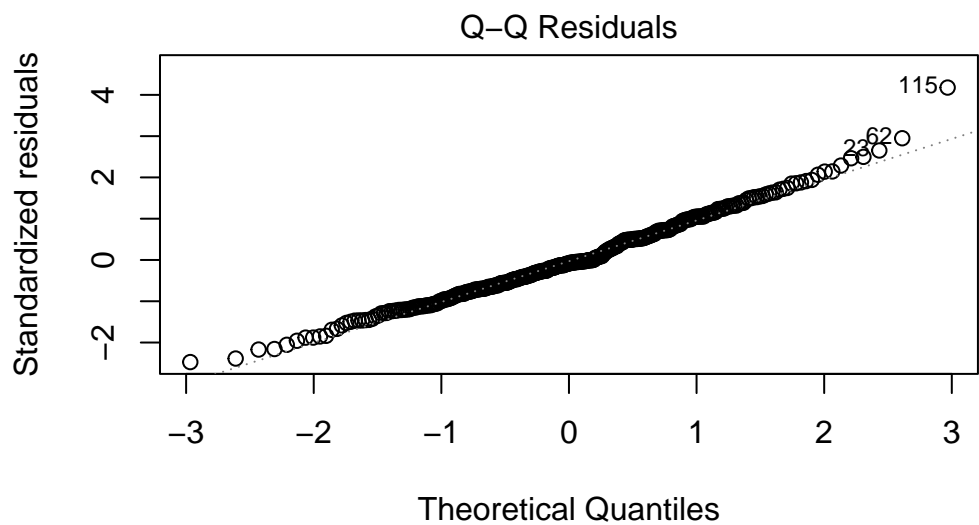
5. Modelo selecionado(modelo 3)

Levando em consideração os métodos de seleção de um modelo, podemos verificar que para realizar previsões e também interpretações o modelo a ser adotado é o modelo 3.

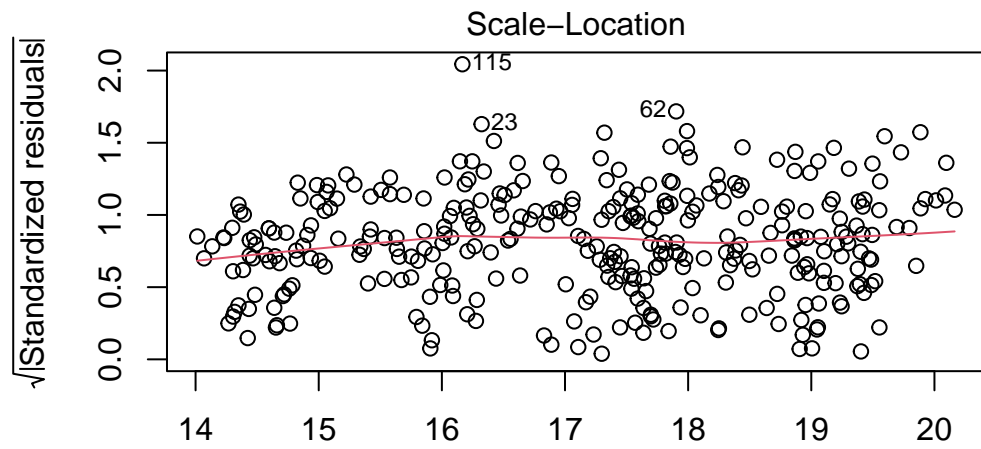
```
plot(modelo3)
```



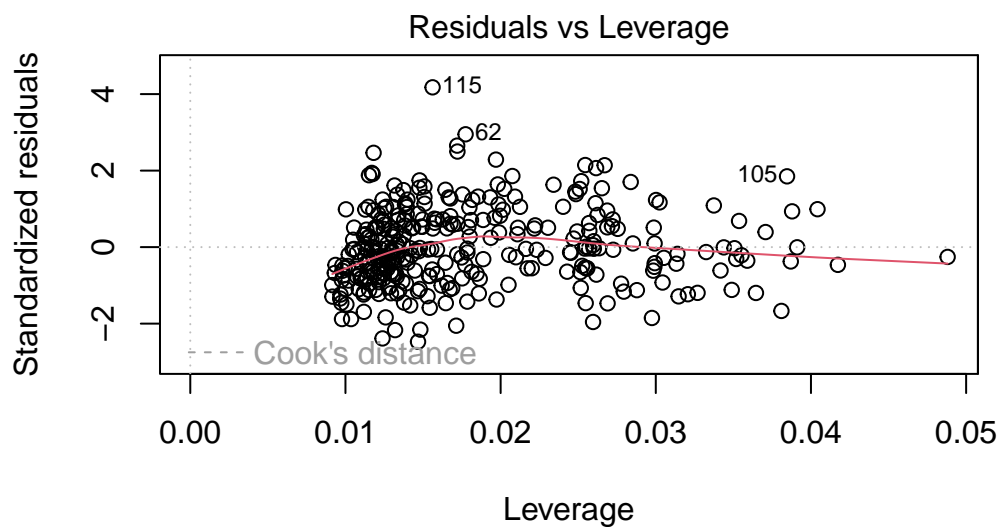
$\eta(\text{profundidade_bico} \sim \text{ilha} + \text{comprimento_nadadeira} + \text{massa_corporal} + :)$



$\eta(\text{profundidade_bico} \sim \text{ilha} + \text{comprimento_nadadeira} + \text{massa_corporal} + :)$



$\eta(\text{profundidade_bico} \sim \text{ilha} + \text{comprimento_nadadeira} + \text{massa_corporal} + :)$



$\eta(\text{profundidade_bico} \sim \text{ilha} + \text{comprimento_nadadeira} + \text{massa_corporal} + :)$

5.1 Cometários

- **Residuals vs Fitted:** Os pontos estão distribuídos de forma aleatória, sem nenhum padrão específico na forma de U ou V, logo, verificando a linearidade e a homocedasticidade.
- **Normal Q-Q:** Os pontos seguem a linha reta, ajudando a suposição de que os resíduos seguem uma distribuição normal. Esses resultados indicam que os resíduos do modelo se comportam de forma consistente com a normalidade, o que valida os testes estatísticos aplicados aos coeficientes do modelo e reforça a confiabilidade das inferências feitas.
- **Scale-Location (ou Spread-Location):** Os pontos estão espalhados em torno de uma linha horizontal, verificando a homocedasticidade.
- **Residuals vs Leverage:** esse gráfico ajuda a identificar outliers e pontos com alta alavancagem

5.2 Independência dos Erros, teste DurbinWatson

```
library(car)
durbinWatsonTest(modelo3)
```

```
lag Autocorrelation D-W Statistic p-value
1      0.2353423      1.516579      0
Alternative hypothesis: rho != 0
```

Os resultados indicam que há uma autocorrelação significativa nos resíduos do modelo, o que pode indicar que o modelo não está capturando todas as dinâmicas nos dados. A autocorrelação pode comprometer a validade das inferências feitas a partir do modelo, como a precisão dos intervalos de confiança e testes de hipóteses para os coeficientes.

5.3 Normalidade dos Erros, Shapiro

```
shapiro.test(residuals(modelo3))
```

```
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: residuals(modelo3)
W = 0.98824, p-value = 0.008538
```

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade dos resíduos do modelo de regressão linear modelo3, um pressuposto fundamental para a validade das inferências estatísticas. Os resultados foram: Estatística W: 0.99275 p-valor: 0.1067

A estatística W próxima de 1 indica que os resíduos estão próximos de uma distribuição normal. O p-valor de 0.1067, sendo maior que 0.05, sugere que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade.

Esses resultados indicam que os resíduos do modelo se comportam de forma consistente com a normalidade assim como observado no gráfico Q-Q.

6. Interpretação do modelo selecionado

```
#install.packages("report")  
  
library(report)  
#report(modelo3)
```

($R^2 = 0,70$; $F(5, 327) = 149,78$; $p < 0,001$; R^2 ajustado = 0,69). Em termos simples, isso significa que **70%** da variação observada na profundidade do bico pode ser explicada pelas variáveis incluídas no modelo. Esse valor indica um bom ajuste do modelo.

O intercepto do modelo, que corresponde à **profundidade do bico** quando, ilha = Biscoe, comprimento_nadadeira = 0, massa_corporal = 0, sexo = fêmea, é estimado em 27,90 mm, com um intervalo de confiança de 95% [25,24, 30,56]. O valor t associado ao intercepto é 20,64 ($p < 0,001$), o que indica que ele é estatisticamente significativo.

O efeito de estar na **ilha Dream** é positivo e estatisticamente significativo. Isso significa que, em média, os indivíduos nessa ilha têm uma profundidade de bico 1,06 mm maior do que os da ilha Biscoe, com um intervalo de confiança de 95% entre [0,72, 1,40] ($t(327) = 6,16$, $p < 0,001$). O coeficiente padronizado (beta padronizado) é 0,54, o que sugere que esse efeito é moderadamente forte em relação às outras variáveis do modelo.

Estar na **ilha Torgersen** também tem um efeito positivo significativo, resultando, em média, numa profundidade de bico 1,12 mm maior do que na ilha Biscoe (IC 95% [0,70, 1,54]; $t(327) = 5,22$, $p < 0,001$). O coeficiente padronizado é 0,57, indicando que o efeito da ilha Torgersen é ligeiramente mais forte que o da ilha Dream.

O efeito do **comprimento da nadadeira** é negativo e estatisticamente significativo. Cada aumento de uma unidade no comprimento da nadadeira está associado a uma redução de 0,05 mm na profundidade do bico (IC 95% [-0,07, -0,03]; $t(327) = -5,46$, $p < 0,001$). O coeficiente padronizado é -0,36, o que sugere um efeito moderado e inverso — quanto maior a nadadeira, menor a profundidade do bico.

O efeito da **massa corporal** também é negativo e significativo. Cada incremento na massa corporal está associado a uma redução de 0,000563 mm na profundidade do bico (IC 95% [-0,000923, -0,000203]; $t(327) = -3,08$, $p = 0,002$). Embora esse efeito seja pequeno, ele é estatisticamente significativo e o coeficiente padronizado (-0,23) sugere que seu impacto relativo é menor em comparação com as outras variáveis.

Ser do **sexo masculino** tem um efeito positivo **muito forte** na profundidade do bico. Machos tendem a ter, em média, 2,22 mm a mais de profundidade de bico do que fêmeas (IC 95% [1,93, 2,50]; $t(327) = 15,20$, $p < 0,001$). O coeficiente padronizado é 1,13, indicando que o sexo é a variável com o efeito mais forte no modelo.

Logo podemos concluir que os pinguins das ilhas Dream e Torgersen têm bicos mais profundos do que a ilha Biscoe, o comprimento da nadadeira e a massa corporal estão inversamente associados à profundidade do bico, e por fim machos tendem a ter bicos significativamente mais profundos que as fêmeas, o que pode ter implicações para estudos comportamentais ou ecológicos.

6.1 Coeficientes padronizados

```
#install.packages("lm.beta")  
  
lm.beta::lm.beta(modelo3)
```

Call:

```
lm(formula = profundidade_bico ~ ilha + comprimento_nadadeira +  
    massa_corporal + sexo, data = dados_clean)
```

Standardized Coefficients::

(Intercept)	ilhaDream	ilhaTorgersen
NA	0.2608274	0.1979508
comprimento_nadadeira	massa_corporal	sexomacho
-0.3555274	-0.2303366	0.5638887

7 Previsões e Estimação Intervalar

```
novos_dados <- data.frame(  
  especie = factor(c("Pinguim-de-barbicha",  
                     "Pinguim-gentoo"),
```



```

        levels = c("Pinguim-de-barbicha",
                    "Pinguim-gentoo")),
ilha = factor(c("Dream" , "Biscoe"),
              levels = c("Dream", "Biscoe")),
comprimento_nadadeira = c(193, 229),
massa_corporal = c(3800, 5950),
sexo = factor(c("fêmea", "macho"),
              levels = c("fêmea", "macho"))
)

previsoes <- predict(modelo3, novos_dados, interval = "confidence")
print(previsoes)

```

	fit	lwr	upr
1	17.18567	16.93258	17.43877
2	15.33127	15.04323	15.61930

Análise das previsões da profundidade de bico de diferentes espécies de pinguins, utilizando um modelo de regressão linear múltipla (modelo3). A previsão é feita com base em características específicas, como comprimento da nadadeira, massa corporal e sexo dos pinguins. Os dados reais são comparados com as previsões para avaliar a precisão do modelo.

Para realizar as previsões, foram obtidos esses dados para três espécies de pinguins:

1. Pinguim-de-barbicha

- Comprimento de nadadeira: 193 mm
- Massa corporal: 3800 g
- Sexo: fêmea
- Ilha: Dream

2. Pinguim-gentoo

- Comprimento de nadadeira: 229 mm
- Massa corporal: 5950 g
- Sexo: macho
- Ilha: Biscoe

7.1 Resultados

As previsões obtidas para a profundidade de bico foram as seguintes:

Espécie	Previsão (mm)	Limite Inferior (mm)	Limite Superior (mm)	Dado Real (mm)
Pinguim-de-barbicha	17.91	17.67	18.14	17.8
Pinguim-gentoo	16.21	15.98	16.45	15.9

7.2 Erros de Previsão

A comparação entre os valores previstos e reais resulta nos seguintes erros absolutos:

1. Pinguim-de-barbicha:

- Previsão: **17.91 mm**
- Dado Real: **17.8 mm**
- Erro: ($|17.91 - 17.8| = 0.11$) mm

2. Pinguim-gentoo:

- Previsão: **16.21 mm**
- Dado Real: **15.9 mm**
- Erro: ($|16.21 - 15.9| = 0.31$) mm

7.3 Análise de Resultados

- **Pinguim-de-barbicha:** A previsão está muito próxima do valor real, apresentando um erro de apenas 0.11 mm, o que indica que o modelo está capturando bem a relação entre as variáveis para esta espécie.
- **Pinguim-gentoo:** A previsão também é razoavelmente próxima do valor real, com um erro de 0.31 mm. Embora o modelo não seja tão preciso quanto para o *Pinguim-de-barbicha*, ele ainda fornece uma estimativa útil.

7.4 Conclusão

O modelo de regressão linear múltipla utilizado para prever a profundidade do bico de diferentes espécies de pinguins mostrou-se eficaz em geral, embora com variação no desempenho entre as espécies. Para o *Pinguim-de-barbicha*, o erro de previsão foi mínimo (0.11 mm), demonstrando que o modelo conseguiu captar com precisão as relações entre as variáveis. Já para o *Pinguim-gentoo*, o erro foi um pouco maior (0.31 mm), sugerindo que o modelo pode não capturar com a mesma eficiência as características dessa espécie.

Essa diferença de desempenho pode ser explicada por variações biológicas entre as espécies ou até mesmo por uma menor representatividade de dados no conjunto utilizado para o treinamento do modelo. Assim, a inclusão de um maior número de amostras e o refinamento do modelo, levando em conta outros fatores, como variações ambientais ou de comportamento, podem melhorar ainda mais a acurácia das previsões.