

# Significância Estatística

## O p-valor e Testes de Hipóteses

Felipe Figueiredo

- 1 Discussão da aula passada
  - Discussão da aula passada
- 2 Testes de Hipóteses
  - Hipóteses
  - Significância
  - O p-valor é...
  - O p-valor não é...
  - Exercício
- 3 Aprofundamento
  - Aprofundamento

## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

# Discussão da aula passada



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Discussão da aula  
passada

Testes de  
Hipóteses

Aprofundamento

Discussão da leitura obrigatória da aula passada

- 1 Discussão da aula passada
  - Discussão da aula passada
- 2 Testes de Hipóteses
  - Hipóteses
  - Significância
  - O p-valor é...
  - O p-valor não é...
  - Exercício
- 3 Aprofundamento
  - Aprofundamento

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Livro texto - Parte III - Introduction to p values

*"I've put it off for nine chapters, but I can't delay any longer.  
**It's time to confront P values.** (...)*

*If you've had any exposure to statistics before, you've probably already  
heard about P values and statistical significance.  
It's time to learn what these phrases really mean. (...)*

*These chapters explain P values generally, without explaining any  
particular statistical tests in any detail"*

Motulsky, 1995

(grifos e quebras meus)

## Abertura de “A Divina Comédia”

*“A meio do caminho, ou seja, da duração expectável de sua vida, Dante, consciente de se haver desviado do reto procedimento, encontra-se perdido numa alegórica ‘Selva Perdida’.*

*Encontra aí a figura de Virgílio, o poeta latino que (...) vem se lhe oferecer como guia para o Inferno e o Purgatório onde, pelo exemplo dos pecadores e de suas penas, Dante poderá encontrar o caminho da sua salvação.”*

Dante Alighieri, 1320

## Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento



*Laaaaadies aaaaand gentlemen...*



- Podemos tomar decisões baseado nos dados de um experimento (amostra).
- Para isto, precisamos de um critério sistemático e rigoroso que possa aferir o quanto os dados suportam esta decisão.
- Usando os conceitos de probabilidades, poderemos ainda calcular a probabilidade de que esta decisão esteja errada.

**Hipóteses devem ser falseáveis, portanto formuladas como afirmações.**

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 1



## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico. Para isto, ele injeta uma dose da droga em 100 ratos, cria os estímulos neurológicos e observa o tempo de resposta em cada animal.

O neurologista sabe que o tempo de resposta médio de ratos que não receberam a droga é de 1.2 segundos.

O tempo de resposta médio dos ratos injetados foi de 1.05 segundos, com desvio padrão amostral de 0.5 segundos.

Você acha que a droga tem efeito no tempo de resposta do estímulo?

Fonte: Khan Academy

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 1



## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico. Para isto, ele injeta uma dose da droga em 100 ratos, cria os estímulos neurológicos e observa o tempo de resposta em cada animal.

O neurologista sabe que o tempo de resposta médio de ratos que não receberam a droga é de 1.2 segundos.

O tempo de resposta médio dos ratos injetados foi de 1.05 segundos, com desvio padrão amostral de 0.5 segundos.

**Você acha que a droga tem efeito no tempo de resposta do estímulo?**

Fonte: Khan Academy

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 1



## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico. Para isto, ele injeta uma dose da droga em 100 ratos, cria os estímulos neurológicos e observa o tempo de resposta em cada animal.

O neurologista sabe que o tempo de resposta médio de ratos que não receberam a droga é de 1.2 segundos.

O tempo de resposta médio dos ratos injetados foi de 1.05 segundos, com desvio padrão amostral de 0.5 segundos.

Você tem informações suficientes para construir um IC em torno de  $\bar{x}$ ?

Fonte: Khan Academy

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

## IC da média

IC = 0.9508 até 1.1492

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

## IC da média

IC = 0.9508 até 1.1492

## IC da diferença entre $\bar{x}$ e 1.2

$\bar{d} = -0.1500$ , IC = -0.2492 até -0.0508

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

## Teste de significância entre $\bar{x}$ e 1.2

$$p = 0.0034$$

É hoje!

<u>P-VALUE</u>	<u>INTERPRETATION</u>
0.001	HIGHLY SIGNIFICANT
0.01	
0.02	
0.03	
0.04	SIGNIFICANT
0.049	
0.050	OH CRAP. REDO CALCULATIONS.
0.051	ON THE EDGE OF SIGNIFICANCE
0.06	
0.07	HIGHLY SUGGESTIVE, SIGNIFICANT AT THE $P < 0.10$ LEVEL
0.08	
0.09	
0.099	HEY, LOOK AT THIS INTERESTING SUBGROUP ANALYSIS
$\geq 0.1$	

Fonte: <https://xkcd.com/1478/>

## Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento



## Definição

Em Estatística, uma **hipótese** é uma afirmação sobre uma característica de uma população, tipicamente o valor de um parâmetro.

## Definição

Um **teste de hipóteses** (ou teste de significância) é um procedimento sistemático para testar uma afirmação sobre uma característica de uma população.

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

## Pense...

Que possíveis conclusões você pode chegar com esse experimento?

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

Pense...

Como você formularia a hipótese do exemplo anterior?

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Identificando hipóteses



Uma hipótese estatística deve ser testável frente a dados obtidos de um experimento.

## Exemplo 1

O tempo de resposta dos ratos que receberam a droga é menor que 1.2s.

## Exemplo

Um jornalista alega que a maior parte dos motoristas atravessa o sinal vermelho.

## Exemplo

Pesquisadores afirmam que a temperatura corporal média de adultos sadios não ultrapassa 37°C.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## 1 teste = 2 hipóteses

Um teste de hipóteses envolve a formulação de uma *hipótese nula* e uma *hipótese alternativa*.

- A hipótese nula ( $H_0$ ) é a hipótese que não há efeito real.
- A hipótese alternativa ( $H_1$  ou  $H_a$ ) é a de que há efeito real **que pode ser detectado** com o experimento.
  - Obs: (em geral) hipótese de interesse científico

## *Danger Will Robinson...*

A lógica do teste de hipóteses é o **inverso** do que se esperaria intuitivamente.

Isto é, ao invés de testar a hipótese de interesse, vamos *testar a hipótese nula* – e tentar rejeitá-la.

**Mantenha isso em mente daqui a para a frente.**

## Roteiro

- 1 Identificar a afirmação a ser testada e expressá-la em forma simbólica
- 2 Expressar em forma simbólica a afirmação que deve ser verdadeira, caso a afirmação de interesse seja falsa

# Quais são as variáveis?

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento



# Quais são as variáveis?

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$n = 100$

$\bar{x} = 1.05$  s

$s = 0.5$  s

## Modelo

variável dependente  $\sim$  variável independente

tempo de resposta  $\sim$  ratos injetados com a droga

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Quais são as hipóteses estatísticas?

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$$n = 100$$

$$\bar{x} = 1.05 \text{ s}$$

$$s = 0.5 \text{ s}$$

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Quais são as hipóteses estatísticas?

## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico.

Tempo de resposta típico = 1.2 s.

$n = 100$

$\bar{x} = 1.05$  s

$s = 0.5$  s

## Hipóteses

$$H_0 : \mu = 1.2$$

$$H_1 : \mu \neq 1.2$$

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Exemplo

Formulação verbal:

A proporção de motoristas que admitem atravessar o sinal vermelho é maior que 50%.

Formulação matemática:

$$H_0 : p = 0.5$$

$$H_1 : p > 0.5$$

## Exemplo

Formulação verbal:

A altura média de jogadores profissionais de basquete é de no máximo 2.20m.

Formulação matemática:

$$H_0 : \mu = 2.20$$

$$H_1 : \mu < 2.20$$

# Identificando hipóteses



## Exemplo

Formulação verbal:

A dose média contida em um comprimido de paracetamol é de 750mg.

Formulação matemática:

$$H_0 : \mu = 750$$

$$H_1 : \mu \neq 750$$

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Identificando hipóteses

## Exemplo

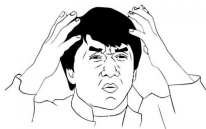
Formulação verbal:

A dose média contida em um comprimido de paracetamol é de 750mg.

Formulação matemática:

$$H_0 : \mu = 750$$

$$H_1 : \mu \neq 750$$



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Identificando a região crítica



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

Em geral...

- Se  $H_1$  é do tipo  $\neq$ , o teste é bicaudal (ou bilateral).
- Se  $H_1$  é do tipo  $<$ , o teste é unicaudal (ou unilateral) à esquerda.
- Se  $H_1$  é do tipo  $>$ , o teste é unicaudal à direita.



## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- **Significância**
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

**Significância**

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

- A **significância** do estudo deve ser arbitrada antes do experimento (planejamento)
- Está associada aos erros induzidos pela variabilidade experimental
- Ou seja, mesmo fazendo tudo certo, você pode ser induzido a chegar numa conclusão errada ao acaso!
- Isso pode ocorrer de duas maneiras diferentes...

## Cada tipo de erro pode ter um “custo” diferente

- Dizer que um paciente não está infectado, quando ele está.
- Dizer que um paciente está infectado, quando ele não está.

O custo de cada tipo de possível erro só pode ser avaliado caso a caso.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Tipos de erros em testes de hipóteses



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Definição

Um **erro do tipo I** ocorre se a hipótese nula for rejeitada quando é verdadeira.

## Definição

Um **erro do tipo II** ocorre se a hipótese não for rejeitada quando for falsa.

A questão importante aqui é:

MESMO SE a hipótese nula **for verdadeira**, ainda assim você pode observar (ao acaso) uma diferença como resultado do experimento.

(ex., muita variabilidade, amostras pequenas, etc.).

**Isso** é o erro tipo I. Trabalhamos para que isso seja raro (não mais que 5% das vezes).

# Tipos de erros em testes de hipóteses



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

Decisão / Verdade	$H_0$ é verdadeira	$H_0$ é falsa
Não rejeitar $H_0$	Decisão correta	Erro do tipo II
Rejeitar $H_0$	Erro do tipo I	Decisão correta

- Erro do tipo I = falso positivo
- Erro do tipo II = falso negativo

## Definição

O **nível de significância** de um teste de hipótese é sua probabilidade máxima admissível para cometer um erro do tipo I. Ele é denotado por  $\alpha$ .

Está associado com o nível de confiança.

## Definição

A probabilidade de se cometer um erro do tipo II é denotada por  $\beta$ .

Está associado com a capacidade do método estatístico em detectar uma diferença significativa (poder do teste).

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Componentes de um teste de hipóteses



São necessários para um teste de hipóteses:

- As hipóteses nula e alternativa
- O nível de significância
- A região crítica (tipo de teste)
- A estatística de teste (softwares especializados)

## Observação

O teste unicaudal **divide** a probabilidade de erro à esquerda (valores menores) e à direita (valores maiores).

Assim, 5% de significância num teste unicaudal corresponde à 2.5% (metade) da significância bicaudal.

Mais detalhes no cap 10.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento



# Rejeitar hipóteses



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Importante

Observe que o teste de hipótese nunca deve **aceitar** uma hipótese nula, apenas rejeitá-la ou deixar de rejeitá-la.

## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

## Definição

Assumindo que a hipótese nula seja verdadeira, o **p-valor** de um teste de hipóteses é a probabilidade de se obter uma estatística amostral com valores **tão extremos, ou mais extremos** que aquele observado.

O p-valor **é**:

- A probabilidade (condicional) de se observar o resultado ao acaso **dado que** a  $H_0$  é verdadeira.
- Uma medida da força da evidência **contra** a  $H_0$ .

## Como utilizar

- Quanto menor o p-valor, mais evidências para rejeitar a hipótese nula.
- O ponto de corte mais utilizado é a significância de 5%
- Assim, qualquer  $p \leq 0.05$  é estatisticamente significativo.

# Exemplo 1



## Exemplo 1

Um neurologista está testando o efeito de uma droga no tempo de resposta de um certo estímulo neurológico. Para isto, ele injeta uma dose da droga em **100** ratos, cria os estímulos neurológicos e observa o tempo de resposta em cada animal.

O neurologista sabe que o tempo de resposta médio de ratos que não receberam a droga é de **1.2 segundos**.

O tempo de resposta médio dos ratos injetados foi de **1.05 segundos**, com desvio padrão amostral de **0.5 segundos**.

**Você acha que a droga tem efeito no tempo de resposta do estímulo?**

Fonte: Khan Academy

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 1

## Pense...

- A hipótese científica é que a droga afeta o tempo de resposta.
- Como você formularia a hipótese estatística ( $H_1$ )?
  - 1  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu \geq 1.2$  (teste unicaudal à direita)
  - 2  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu < 1.2$  (teste unicaudal à esquerda)
  - 3  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - 4  $H_0 : \mu \geq 1.2, H_1 : \mu = 1.2$  (teste unicaudal à esquerda)

Resposta:

# Exemplo 1

## Pense...

- A hipótese científica é que a droga afeta o tempo de resposta.
- Como você formularia a hipótese estatística ( $H_1$ )?
  - 1  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu \geq 1.2$  (teste unicaudal à direita)
  - 2  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu < 1.2$  (teste unicaudal à esquerda)
  - 3  $H_0 : \mu = 1.2, H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - 4  $H_0 : \mu \geq 1.2, H_1 : \mu = 1.2$  (teste unicaudal à esquerda)

Resposta: **Opção 3**

# Exemplo 1



- Dados:  $\mu = 1.2$ ,  $\bar{x} = 1.05$ ,  $s = 0.5$ ,  $n = 100$
- $H_0 : \mu = 1.2$ ,  $H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - ~~O teste Z retorna  $p = 0.0027$ <sup>1</sup>~~
  - O teste t retorna  $p = 0.0034$ <sup>2</sup>

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

---

<sup>1</sup>Premissas fortes: Normal, N grande,  $\sigma$  conhecido, etc.

<sup>2</sup>Usado em geral, menos premissas



# Exemplo 1



- Dados:  $\mu = 1.2$ ,  $\bar{x} = 1.05$ ,  $s = 0.5$ ,  $n = 100$
- $H_0 : \mu = 1.2$ ,  $H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - ~~O teste Z retorna  $p = 0.0027$ <sup>1</sup>~~
  - O teste t retorna  $p = 0.0034$ <sup>2</sup>
- Como  $p < 0.05$ , há evidências para rejeitar  $H_0$ .

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

---

<sup>1</sup>Premissas fortes: Normal, N grande,  $\sigma$  conhecido, etc.

<sup>2</sup>Usado em geral, menos premissas

# Exemplo 1

- Dados:  $\mu = 1.2$ ,  $\bar{x} = 1.05$ ,  $s = 0.5$ ,  $n = 100$
- $H_0 : \mu = 1.2$ ,  $H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - ~~O teste Z retorna  $p = 0.0027$ <sup>1</sup>~~
  - O teste t retorna  $p = 0.0034$ <sup>2</sup>
- Como  $p < 0.05$ , há evidências para rejeitar  $H_0$ .

## Resultado

O tempo de resposta médio é **significativamente** diferente de 1.2 s ( $p = 0.0034$ ).

<sup>1</sup>Premissas fortes: Normal, N grande,  $\sigma$  conhecido, etc.

<sup>2</sup>Usado em geral, menos premissas

# Exemplo 1



- Dados:  $\mu = 1.2$ ,  $\bar{x} = 1.05$ ,  $s = 0.5$ ,  $n = 100$
- $H_0 : \mu = 1.2$ ,  $H_1 : \mu \neq 1.2$  (teste bicaudal)
  - O teste Z retorna  $p = 0.0027$ <sup>1</sup>
  - O teste t retorna  $p = 0.0034$ <sup>2</sup>
- Como  $p < 0.05$ , há evidências para rejeitar  $H_0$ .

## Resultado

O tempo de resposta médio é **significativamente** diferente de 1.2 s ( $p = 0.0034$ ).

## Conclusão

(...) há evidências que a droga altera o tempo (...) de resposta (...).

<sup>1</sup>Premissas fortes: Normal, N grande,  $\sigma$  conhecido, etc.

<sup>2</sup>Usado em geral, menos premissas

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

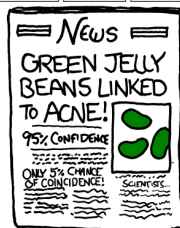
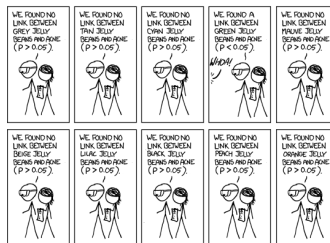
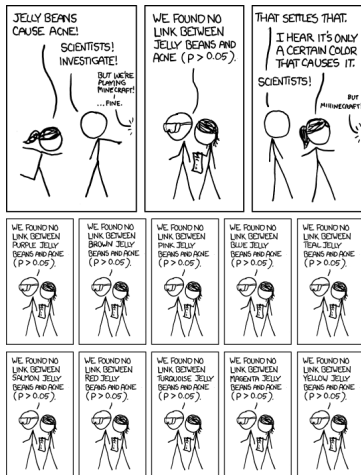
O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Como a Ciência Médica é vista na mídia



Fonte: <https://xkcd.com/882/>

## Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância  
O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento

# O problema não é a mídia

[Browse](#)[Publish](#)[About](#)

OPEN ACCESS

ESSAY

## Why Most Published Research Findings Are False

John P. A. Ioannidis

Published: August 30, 2005 • <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed.0020124>

Article

Authors

Metrics

Comments

Related Content

Abstract

Modeling the Framework  
for False Positive  
Findings

Bias

Testing by Several  
Independent Teams

### Abstract

#### Summary

There is increasing concern that most current published research findings are false. The probability that a research claim is true may depend on study power and bias, the number of

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância

O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento

# Cuidados com o p-valor



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

DOREY, F. 2010 Clin Orthop Relat Res.

*“The concept of a  $p$  value is not simple and any statements associated with it must be considered cautiously.”*

# Estes são erros comuns de interpretação



## Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

## Testes de Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

## Aprofundamento

### O p-valor assume que...

- 1 a hipótese nula é **verdadeira**
- 2 a **única** causa da diferença observada é devida ao acaso



## Estes são erros comuns de interpretação

### O p-valor assume que...

- 1 a hipótese nula é verdadeira
- 2 a única causa da diferença observada é devida ao acaso

### Portanto o p-valor **não é**

- a probabilidade de que a hipótese nula seja verdadeira
- a probabilidade de que a diferença observada seja devido ao acaso

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Estes são erros comuns de interpretação

### O p-valor assume que...

- 1 a hipótese nula é verdadeira
- 2 a única causa da diferença observada é devida ao acaso

### Portanto o p-valor **não é**

- a probabilidade de que a hipótese nula seja verdadeira
- a probabilidade de que a diferença observada seja devido ao acaso

O p-valor não pode ser usado para concluir suas próprias premissas.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

A questão importante aqui é:

MESMO SE a hipótese nula **for verdadeira**, ainda assim você pode observar (ao acaso) uma diferença como resultado do experimento.

(ex., muita variabilidade, amostras pequenas, etc.).

**Isso** é o erro tipo I. Trabalhamos para que isso seja raro (não mais que 5% das vezes).

## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

## Exemplo 2

Uma indústria farmacêutica especifica que em certo analgésico a quantidade média de ácido acetil salicílico deve ser 5.5 gramas por comprimido. A indústria suspeita que houve problemas na produção de um determinado lote e que, nesse lote, a quantidade média dessa substância está diferente da especificada. Para verificar essa suspeita, a indústria selecionou uma amostra aleatória de 40 comprimidos desse lote, observando uma quantidade média de ácido acetil salicílico igual a 5.2 gramas e um desvio padrão de 0.7 gramas.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância  
O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento

## Exemplo 2

Uma indústria farmacêutica especifica que em certo analgésico a quantidade média de ácido acetil salicílico deve ser 5.5 gramas por comprimido. A indústria suspeita que houve problemas na produção de um determinado lote e que, nesse lote, a quantidade média dessa substância está diferente da especificada. Para verificar essa suspeita, a indústria selecionou uma amostra aleatória de 40 comprimidos desse lote, observando uma quantidade média de ácido acetil salicílico igual a 5.2 gramas e um desvio padrão de 0.7 gramas.

## Pergunta

Você tem informações suficientes para executar um teste formal de hipóteses?

Em caso afirmativo, formule a  $H_0$  e a  $H_1$ .

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância  
O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2

## Resposta

- Temos as informações necessárias para o teste
- Hipóteses

$$H_0 : \mu = 5.5$$

$$H_1 : \mu \neq 5.5$$

- Dados

$$n = 40, \bar{x} = 5.2, s = 0.7$$

# Exemplo 2

## Resposta

- Temos as informações necessárias para o teste
- Hipóteses

$$H_0 : \mu = 5.5$$

$$H_1 : \mu \neq 5.5$$

- Dados

$$n = 40, \bar{x} = 5.2, s = 0.7$$

## Resultado (bruto)

$$p = 0.0099$$



# Exemplo 2



## Interpretação

A probabilidade de observarmos **ao acaso** um valor **tão ou mais discrepante como 5.2 g** é 0.0099.

Como esta prob. é menor que o nível de significância estabelecido  $\alpha = 0.05$ , rejeitamos a hipótese de que a quantidade média é igual a 5.5 g ao nível de significância de 5%.

## Resultado

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2



## Interpretação

A probabilidade de observarmos **ao acaso** um valor **tão ou mais discrepante como 5.2 g** é 0.0099.

Como esta prob. é menor que o nível de significância estabelecido  $\alpha = 0.05$ , rejeitamos a hipótese de que a quantidade média é igual a 5.5 g ao nível de significância de 5%.

## Resultado

(...) a dose média de ácido acetil salicílico (...) por comprimido é 5.2 g e é significativamente diferente de 5.5 g ( $p = 0.0099$ ).

## Conclusão

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2



## Interpretação

A probabilidade de observarmos **ao acaso** um valor **tão ou mais discrepante como 5.2 g** é 0.0099.

Como esta prob. é menor que o nível de significância estabelecido  $\alpha = 0.05$ , rejeitamos a hipótese de que a quantidade média é igual a 5.5 g ao nível de significância de 5%.

## Resultado

(...) a dose média de ácido acetil salicílico (...) por comprimido é 5.2 g e é significativamente diferente de 5.5 g ( $p = 0.0099$ ).

## Conclusão

O lote (...) está fora da especificação de 5.5 g (...) por comprimido, portanto o lote está reprovado.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância  
O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento

Outra hipótese, outra análise, outro resultado...



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

Aprofundamento

Observe que...

Se tivéssemos formulado as hipóteses que a média da amostra é diferente de 5.5 g, qual você acha que seria o resultado?

Qual seria a conclusão neste caso?

# Bônus: Intervalo de Confiança



Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

- Nessa situação, podemos usar o intervalo de confiança para realizar o teste de hipóteses.
- Como queremos um teste a 5% de significância, calcularemos um intervalo de 95% de confiança.

Lembre-se

$$\text{significância} + \text{confiança} = 1$$

# Exemplo 2 (a revanche)

## IC da média

- Dados:  $n = 40$ ,  $\bar{x} = 5.2$ ,  $s = 0.7$
- IC:  $[4.976, 5.424] \approx [5.0, 5.4]$

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2 (a revanche)

## IC da média

- Dados:  $n = 40$ ,  $\bar{x} = 5.2$ ,  $s = 0.7$
- IC:  $[4.976, 5.424] \approx [5.0, 5.4]$

## Resultado

A quantidade média neste lote (...) está entre 5.0 e 5.4 gramas, com 95% de confiança.

## Interpretação

A “meta” 5.5 g não está contida no IC.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2 (a revanche)

## IC da média

- Dados:  $n = 40$ ,  $\bar{x} = 5.2$ ,  $s = 0.7$
- IC:  $[4.976, 5.424] \approx [5.0, 5.4]$

## Resultado

A quantidade média neste lote (...) está entre 5.0 e 5.4 gramas, com 95% de confiança.

## Interpretação

A “meta” 5.5 g não está contida no IC.

## Conclusão

(...), portanto o lote está reprovado.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses  
Significância  
O p-valor é...  
O p-valor não é...  
Exercício

Aprofundamento



# Exemplo 2 (a revanche)

## IC da diferença

- Dados:  $n = 40$ ,  $\bar{x} = 5.2$ ,  $s = 0.7$ ,  $\mu = 5.5$
- $\bar{d} = -0.300$ , IC:  $[-0.524, -0.076] \approx [-0.5, -0.1]$

## Resultado

A diferença média neste lote (...) está entre -0.5 e -0.1 gramas, com 95% de confiança.

## Interpretação

A “meta de igualdade”  $d = 0$  g não está contida no IC.

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Hipóteses

Significância

O p-valor é...

O p-valor não é...

Exercício

Aprofundamento

# Exemplo 2 (a revanche)

## IC da diferença

- Dados:  $n = 40$ ,  $\bar{x} = 5.2$ ,  $s = 0.7$ ,  $\mu = 5.5$
- $\bar{d} = -0.300$ , IC:  $[-0.524, -0.076] \approx [-0.5, -0.1]$

## Resultado

A diferença média neste lote (...) está entre -0.5 e -0.1 gramas, com 95% de confiança.

## Interpretação

A “meta de igualdade”  $d = 0$  g não está contida no IC.

## Conclusão

(...), portanto o lote está reprovado.

## 1 Discussão da aula passada

- Discussão da aula passada

## 2 Testes de Hipóteses

- Hipóteses
- Significância
- O p-valor é...
- O p-valor não é...
- Exercício

## 3 Aprofundamento

- Aprofundamento

Significância

Felipe  
Figueiredo

Discussão da  
aula passada

Testes de  
Hipóteses

Aprofundamento  
Aprofundamento

## Leitura obrigatória

- Capítulo 10.
- Capítulo 11.
- Motulsky, (2018) chap 19, **Interpreting a Result That Is Not Statistically Significant** (disponível gratuitamente online)

## Exercícios selecionados

- Cap 10: todos.
- Cap 11: todos.

## Leitura recomendada (links na página da disciplina)

- Dorey, F (2010) In Brief: The P Value: What Is It and What Does It Tell You?
- Gardner, MJ; Altman, DG (1986) Confidence intervals rather than P values: estimation rather than hypothesis testing.