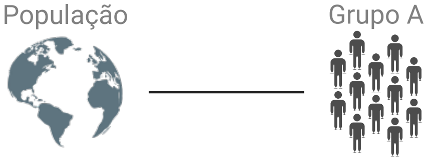
Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Estatística

TESTES DE HIPÓTESES

Estatística Inferencial
Professora: Laís Helen Loose

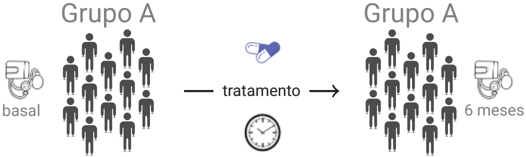
Testes de hipóteses para duas populações

O objetivo é testar se há diferença estatística entre a média do grupo e um valor de referência (parâmetro populacional).



O objetivo é testar se há diferença estatística entre as médias de dois grupos independentes.

O objetivo é testar se há diferença estatística entre as médias de dois grupos dependentes (observações pareadas).



Amostras dependentes e independentes

Amostras independentes

Em uma amostra **independente** os valores amostrados vêm de dois grupos diferentes. Ou seja, a amostra selecionada da primeira população não tem relação com a amostra selecionada da segunda população.

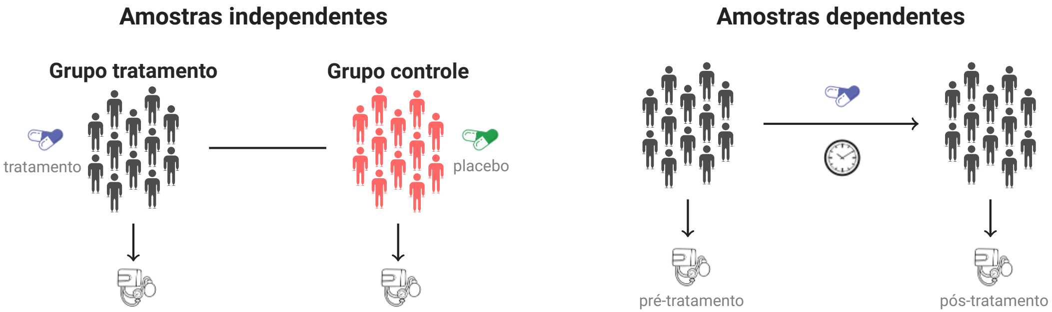
- **Exemplo:** testar a pressão sanguínea de dois grupos: **grupo controle** versus **grupo tratamento**.

Amostras dependentes

Em uma amostra **dependente** (**emparelhada**) os valores amostrados são conectados. Ou seja, cada medição na primeira amostra é conecta (emparelhada) com uma medição específica na segunda amostra (geralmente o mesmo sujeito experimental é analisado antes e depois de um tratamento).

- **Exemplo:** teste para a diferença da pressão sanguínea de uma mesma pessoa **antes** e **depois** de uma tratamento.

Amostras dependentes e independentes



- Ao testar uma hipótese para duas populações é importante identificar se as amostras são dependentes (emparelhadas) ou independentes.
- E por que é importante saber a diferença? Para escolhermos qual estatística de teste vamos utilizar precisamos saber se as amostras são dependentes ou independentes.

Comparando duas populações

As hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) de um teste de hipótese para médias de duas populações podem ser expressas de duas maneiras diferentes, mas equivalentes. Por exemplo, para o caso de um teste bilateral temos:

Alternativa 1

$$\begin{aligned} H_0 &: \mu_1 = \mu_2 \quad \text{(as duas médias populacionais são iguais)} \\ H_1 &: \mu_1 \neq \mu_2 \quad \text{(as duas médias populacionais não são iguais)} \end{aligned}$$

Alternativa 2

$$\begin{aligned} H_0 &: \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad \text{(a diferença entre as duas médias populacionais é igual a 0)} \\ H_1 &: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad \text{(a diferença entre as duas médias populacionais não é igual a 0)} \end{aligned}$$

Hipóteses

Hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) para média de uma população

$H_0 : \mu = \mu_0$		$H_1 : \mu \neq \mu_0$	(bilateral)
$H_0 : \mu \geq \mu_0$	vs	$H_1 : \mu < \mu_0$	(unilateral à esquerda)
$H_0 : \mu \leq \mu_0$		$H_1 : \mu > \mu_0$	(unilateral à direita)

Hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) para médias de duas populações

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$		$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq 0$	vs	$H_1 : \mu_1 < \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 < 0$
$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq 0$		$H_1 : \mu_1 > \mu_2$	$\Rightarrow$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$

Teste de hipótese para a diferença de duas médias populacionais: σ conhecido (amostras independentes)

Variância σ^2 conhecida

- Considere duas populações representadas pelas variáveis aleatórias independentes

$$X_1 \sim \text{N}(\mu_1, \sigma_1^2) \quad \text{e} \quad X_2 \sim \text{N}(\mu_2, \sigma_2^2)$$

- Considere que são **selecionadas de forma independente duas amostras:** uma amostra de tamanho n_1 da população 1 e outra de tamanho n_2 da população 2.
- Considere uma nova variável aleatória definida como $\overline{X} = \overline{X}_1 - \overline{X}_2$
- É possível mostrar que a variável $\overline{X}$ tem **distribuição normal** com média e variância dadas por

$$\mathbb{E}(\overline{X}) = \mu_1 - \mu_2 \quad \text{e} \quad \text{Var}(\overline{X}) = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

Distribuição amostral da diferença das médias

$$\overline{X} = \overline{X}_1 - \overline{X}_2 \sim \text{N}\left(\mu_1 - \mu_2, \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)$$

Variância σ^2 conhecida

Pressupostos para utilização do teste

1. As amostras são **aleatoriamente selecionadas.**
2. As duas amostras são **independentes.**
3. Ambas as amostras provêm de populações com **distribuição normal.**

Estatística de teste

$$Z = \frac{(\overline{X}_1 - \overline{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Observação: sob H$_0$ $\mu_1 = \mu_2$ e $Z \sim$ N$(0, 1)$

Variância σ^2 conhecida

Exemplo 1

Um aplicativo de entrega de mercadorias tem duas possibilidades de trajeto para realizar entregas. O gerente de logística desconfia não haver diferença significativa entre o tempo médio de cada trajeto.

Foram selecionadas aleatoriamente 45 entregas realizadas no **primeiro trajeto**, resultando em uma **média amostral de 57 minutos**. No **segundo trajeto** foram selecionadas, aleatoriamente, 30 entregas, em que foi obtido um **tempo médio de 54 minutos.**

O desvio-padrão populacional do **primeiro trajeto é de $\sigma = 8$ minutos e do segundo trajeto $\sigma_2 = 6$ minutos** . Teste a hipótese de que não existe diferença significativa entre o tempo médio dos dois trajetos, ao nível de 5% de significância.

Solução

1. **Formulação da hipótese:**

$$\text{H}_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{vs} \quad \text{H}_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

2. **Estatística de teste observada**

$$z_{obs} = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{57 - 54}{\sqrt{\frac{8^2}{45} + \frac{6^2}{30}}} = 1,853$$

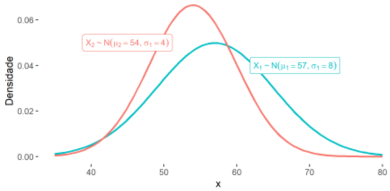
3. **Região crítica (rejeição) e valor-p**

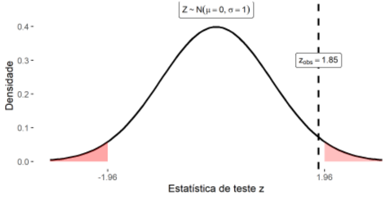
$$\alpha = 0,05 \rightarrow \text{RC} = \{z < -1,96 \text{ ou } z > 1,96\}$$

$$\textbf{valor-p} = 2 \cdot P(Z > 1,853) = 0,064$$

4. **Decisão:** não rejeitamos H_0
   - $z_{obs} \notin \text{RC}$
   - valor-p $> \alpha$

5. **Interpretação**
   Ao nível de significância de 5% não rejeitamos a hipótese nula, portanto não há evidências estatísticas de que há diferença nos tempos médios de entrega entre os dois trajetos.





Variância σ^2 desconhecidas

- A **estatística de teste** apresentada anteriormente considera que as **variâncias são conhecidas**. E quando não conhecemos a variância, o que devemos fazer?

- Assim como no caso do teste de hipóteses para uma população, usamos as variâncias amostrais (s_1^2 e s_2^2) como estimativas para as variâncias populacionais (σ_1^2 e σ_1^2).

- Como temos duas amostras, podemos ter dois casos distintos:
  - **Caso 1 - Variâncias iguais $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$:** as variâncias populacionais são desconhecidos, mas é razoável supor que são iguais.
  - **Caso 2 - Variâncias diferentes $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$:** quando não se pode fazer nenhuma suposição sobre a igualdade das variâncias populacionais.

- A estatística de teste vai depender se as variâncias são consideradas iguais ou diferentes. Mas como podemos verificar se é razoável supor que as variâncias são iguais? **Podemos fazer um teste de hipóteses para comparar as duas variâncias.**

Testando a hipótese de igualdade entre as variâncias (amostras independentes)

Testando a igualdade entre as variâncias

- Considere duas populações representadas pelas variáveis aleatórias independentes

$$X_1 \sim \mathsf{N}(\mu_1, \sigma_1^2) \quad \text{e} \quad X_2 \sim \mathsf{N}(\mu_2, \sigma_2^2)$$

- Suponha que duas amostras de tamanho n_1 e n_2 são selecionadas aleatoriamente de X_1 e X_2, respectivamente. Se $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$, é possível provar que a variável aleatória definida por

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \sim F_{n_1-1, n_2-1}$$

  tem distribuição F de Snedecor com $n_1 - 1$ graus de liberdade no numerador e $n_2 - 1$ graus de liberdade no denominador.

- A estatística F é usada para testar as hipóteses relativas à igualdade das duas variâncias.

> **Ideia do teste**
> Se a razão entre as variâncias das duas populações for próxima de 1, então é razoável supor que as variâncias populacionais são aproximadamente iguais.

Testando a igualdade entre as variâncias

Teste de hipóteses para a razão de variâncias de duas populações

$$\mathrm{H}_0 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1 \quad \text{(as variâncias populacionais são iguais)}$$

$$\mathrm{H}_1 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \neq 1 \quad \text{(as variâncias populacionais são diferentes)}$$

Pressupostos para utilização do teste

1. As amostras são aleatoriamente selecionadas.
2. As duas amostras são **independentes.**
3. Ambas as amostras provêm de populações com **distribuição normal.**

Testando a igualdade entre as variâncias

Estatística de teste

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \sim F_{n_1-1,n_2-1}$$

Observação: s_1^2 deve ser sempre a maior das duas variâncias amostrais.

Exemplo 2

Um pesquisador está interessado em estudar as variâncias do tempo que os clientes esperam antes de terem seus pedidos atendidos em duas empresas distintas, A e B. Uma **amostra aleatória de 10 clientes da empresa A**, resultou em uma **variância de 400 min.** Na **empresa B**, uma **amostra aleatória de 21** clientes resultou em uma **variância de 256 min.** Use o nível de significância de 5% para testar a afirmativa de que as duas variâncias populacionais são iguais. Suponha que ambas as populações sejam normalmente distribuídas.

Solução

1. **Formulação da hipótese:**

$$\text{H}_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad \text{vs} \quad \text{H}_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

2. **Estatística de teste observada**

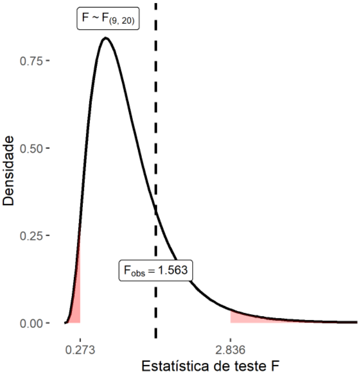
$$F_{obs} = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{400}{256} = 1,563$$

3. **Região crítica (rejeição) e valor-p**

$$\alpha = 0,05 \rightarrow \text{RC} = \{F < 0,273 \text{ ou } F > 2,836\}$$

4. **Decisão:** não rejeitamos H_0
   - $F_{obs} \notin \text{RC}$

5. **Interpretação**
   Ao nível de significância de 5% não rejeitamos a hipótese nula, portanto podemos concluir que não há evidências estatísticas de que as variâncias das duas populações sejam diferentes.



Teste de hipótese para a diferença de duas médias populacionais: σ desconhecido (amostras independentes)

Variâncias iguais: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

Pressupostos para utilização do teste

1. As amostras são aleatoriamente selecionadas.
2. As duas amostras são **independentes.**
3. Ambas as amostras provêm de populações com **distribuição normal.**
4. **Homogeneidade das variâncias** (as variâncias das duas populações são aproximadamente iguais).

Variâncias iguais: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

Estatística de teste

$$t = \frac{(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} \sim t_\nu$$

em que $\nu = n_1 + n_2 - 2$ são os graus de liberdade da distribuição t.

- A variância amostral agrupado s_p^2 é calculada como sendo a média ponderada das duas variâncias amostrais.

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

  - n_1 = tamanho da amostra da primeira amostra.
  - n_2 = tamanho da amostra da segunda amostra
  - s_1 = desvio padrão da primeira amostra
  - s_2 = desvio padrão da segunda amostra

Variâncias iguais: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

Exemplo 3

Um experimento foi realizado como o objetivo de testar a hipótese de que existe diferença entre as resistências mecânicas de dois preparos de concreto, A e B, medida em Mega Pascal (MPa). Para isso foram obtidas e testadas amostras de ambos os preparos. Foram retiradas 15 **amostras do preparo A**, resultando em uma **média de 28 Mpa** com **desvio-padrão $4,1$ MPa**. Do **preparo B** foram retiradas **10 amostras**, resultando em uma **média de 26** Mpa com **desvio-padrão $3,8$** MPa. Assumindo que as resistências possuem distribuição normal e que $\sigma_A^2 = \sigma_B^2$, teste a hipótese de que existe diferença entre as resistências dos dois preparos, com um nível de significância de 5%.

Solução

1. **Formulação da hipótese:**

$$\mathrm{H}_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{vs} \quad \mathrm{H}_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

2. **Variância agrupada**

$$s_p = \frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{(15-1) \cdot 4,1^2 + (10-1) \cdot 3,8^2}{15 + 10 - 2} = 15,883$$

3. **Estatística de teste observada**

$$t_{obs} = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\dfrac{s_p^2}{n_1} + \dfrac{s_p^2}{n_2}}} = \frac{28 - 26}{\sqrt{15,883\left(\dfrac{1}{15} + \dfrac{1}{10}\right)}} = 1,23$$

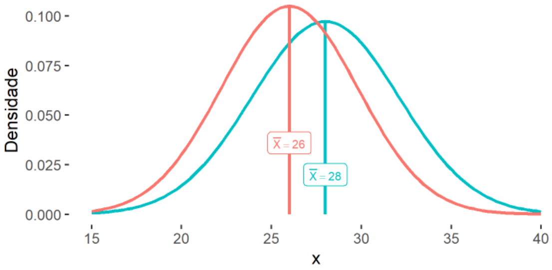
4. **Região crítica (rejeição) e valor-p**

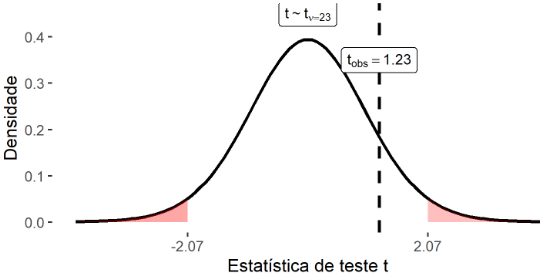
$$\nu = 23 \text{ e } \alpha = 0,05 \rightarrow \text{ RC } = \{t < -2,07 \text{ ou } t > 2,07\}$$

Solução

5. **Decisão:** não rejeitamos H_0
   - $t_{obs} \notin$ RC

6. **Interpretação**
   Ao nível de significância de 5% não rejeitamos a hipótese nula, portanto podemos concluir que não há evidências estatísticas de que as resistências mecânicas dos dois preparos sejam diferentes.





Variâncias diferentes: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Pressupostos para utilização do teste

1. As amostras são aleatoriamente selecionadas.
2. As duas amostras são **independentes.**
3. Ambas as amostras provêm de populações com **distribuição normal.**

Variâncias diferentes: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Estatística de teste

$$t = \frac{(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\dfrac{s_1^2}{n_1} + \dfrac{s_2^2}{n_2}}} = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\dfrac{s_1^2}{n_1} + \dfrac{s_2^2}{n_2}}} \sim t_\nu$$

- Quando as variâncias são diferentes, os graus de liberdade devem ser ajustados.

$$\nu = \frac{\left(\dfrac{s_1^2}{n_1} + \dfrac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\dfrac{1}{n_1 - 1}\left(\dfrac{s_1^2}{n_1}\right)^2 + \dfrac{1}{n_2 - 1}\left(\dfrac{s_2^2}{n_2}\right)^2}$$

Variâncias diferentes: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Exemplo 4

Uma pesquisadora está interessado em avaliar o comportamento de condução dos estudantes universitários do sexo masculino e feminino. Há uma série de maneiras que pode quantificar comportamentos de condução. Optou-se por avaliar a velocidade mais rápida já dirigida por um indivíduo. Foi realizado um levantamento de uma **amostra aleatória com $n_M = 34$ estudantes universitários do sexo masculino e $n_F = 29$ estudantes universitários do sexo feminino.** Os dados da pesquisa estão no quadro abaixo. Considere que as duas populações têm **distribuição normal** e que podemos assumir que $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$. Teste a hipótese de que a maior velocidade média conduzida por estudantes universitários do sexo masculino **é maior que** maior velocidade média conduzida por estudantes universitários do sexo feminino, com um nível de significância de 1%.

Grupo	Média ($\overline{x}$)	Desvio Padrão (s)	Amostra (n)
Masculino	$105,5$	$20,1$	34
Feminino	$90,9$	$12,2$	29

Solução

1. **Formulação da hipótese:**

$$\text{H}_0 : \mu_M \leq \mu_F \quad \text{vs} \quad \text{H}_1 : \mu_M > \mu_F$$

2. **Estatística de teste observada**

$$t_{obs} = \frac{\overline{x}_M - \overline{x}_F}{\sqrt{\dfrac{s_M^2}{n_M} + \dfrac{s_F^2}{n_F}}} = \frac{105,5 - 90.9}{\sqrt{\dfrac{20,1^2}{34} + \dfrac{12,2^2}{29}}} = 3,54$$

3. **Graus de liberdade:**

$$\nu = \frac{\left(\dfrac{s_M^2}{n_M} + \dfrac{s_F^2}{n_F}\right)^2}{\dfrac{1}{n_M - 1}\left(\dfrac{s_M^2}{n_M}\right)^2 + \dfrac{1}{n_F - 1}\left(\dfrac{s_F^2}{n_F}\right)^2} = \frac{\left(\dfrac{20,1^2}{34} + \dfrac{12,2^2}{29}\right)^2}{\dfrac{1}{34-1}\left(\dfrac{20,1^2}{34}\right)^2 + \dfrac{1}{29-1}\left(\dfrac{12,2^2}{29}\right)^2} = 55,5 \approx 55$$

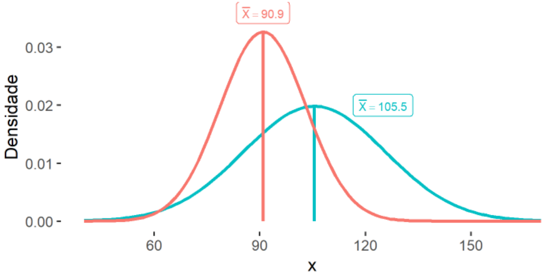
4. **Região crítica (rejeição) e valor-p**

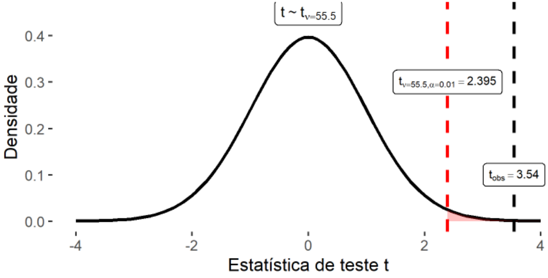
$$\nu = 55 \text{ e } \alpha = 0,01 \rightarrow \text{ RC } = \{t > 2,395\}$$

Solução

5. **Decisão:** rejeitamos H_0
   - $t_{obs} \in$ RC

6. **Interpretação**
   Ao nível de significância de 1% rejeitamos a hipótese nula, portanto podemos concluir que a maior velocidade média conduzida por estudantes universitários do sexo masculino **é maior** que a maior velocidade média conduzida por estudantes universitários do sexo feminino.





Teste de hipótese para a diferença de duas médias populacionais: σ desconhecido e amostras dependentes (emparelhadas)

Amostras dependentes

O que são amostras dependentes ou emparelhadas?

- Em uma amostra dependente (emparelhada) os **valores medidos são conectados.**

- Por exemplo, ao testar a influência de uma nova dieta, podemos **analisar os pesos dos mesmos indivíduos antes e depois da dieta.** Nesse caso, o valor da primeira amostra está relacionado ao valor da segunda amostra.

- O par de observações não precisa ser da mesmo pessoa. Por exemplo, se o interesse é analisar quem gasta mais tempo realizando atividades domésticas em relacionamento entre mulheres e homens, teremos uma amostra dependente. **Cada casal seria um par.**

Distribuição amostral da diferença

- Considere cada par (X_{1i}, X_{2i}). No teste para amostras dependentes, em vez de analisarmos cada grupo separadamente, observamos somente a diferença D_i entre as duas medidas em cada par

$$D_i = X_{1i} - X_{2i}$$

- A estatística de teste é baseada na média dessas diferenças

$$\overline{D} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D_i$$

que terá **distribuição normal**

$$\overline{D} \sim \mathrm{N}(\mu_D, \sigma_D^2)$$

Distribuição amostral da diferença

- O parâmetro μ_D é estimado pela média amostral das diferenças

$$\bar{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i$$

- Como a variância é desconhecida, o seu valor é estimado por

$$s_d^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(d - d_i)^2$$

Teste de hipótese para a diferença de médias para amostras emparelhadas

$$\mathrm{H}_0 : \mu_d = 0 \qquad \qquad \mathrm{H}_1 : \mu_d \neq 0$$

$$\mathrm{H}_0 : \mu_d \geq 0 \qquad \text{vs} \qquad \mathrm{H}_1 : \mu_d < 0$$

$$\mathrm{H}_0 : \mu_d \geq 0 \qquad \qquad \mathrm{H}_1 : \mu_d > 0$$

Distribuição amostral da diferença

Pressupostos para utilização do teste

1. As amostras são aleatoriamente selecionadas.
2. As amostras devem ser **dependentes (emparelhadas).**
3. A **diferença** entre os valores emparelhados deve ser **normalmente distribuído.**

Estatística de teste

$$t = \frac{\overline{d} - \mu_d}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{\overline{d}}{s_d/\sqrt{n}} \sim t_{n-1}$$

em que n é o número de pares observados.

Amostras dependentes

Qual é a vantagem de um teste t dependente sobre um teste t independente?

- A principal vantagem de realizar um experimento com medidas repetidas (e, portanto, executar um teste t dependente) é que conseguimos eliminar as diferenças individuais que ocorrem entre os sujeitos experimentais.

- Isso significa que a probabilidade de detectar uma diferença estatisticamente significativa, se houver, é maior com o teste t dependente do que com o teste t independente.

Observação importante

É importante salientar que não podemos escolher um teste em vez do outro, a menos que o desenho experimental de estudo permita isso.

Amostras dependentes

Exemplo 5

Sete trabalhadores foram selecionados a fim de determinar o **efeito de certo treinamento** para a realização de uma tarefa. O quadro a seguir apresenta os resultados observados quanto ao tempo de execução da tarefa, em minutos, **antes** de os trabalhadores serem submetidos ao treinamento e **depois** do treinamento. Para que o treinamento seja considerado eficaz, é necessário que o tempo de realização da tarefa depois do treinamento seja significativamente menor do que o tempo de realização da tarefa antes do treinamento. Ao nível de 5% de significância, podemos concluir que o tempo da realização da tarefa é menor depois do treinamento?

i	**Antes**	**Depois**	d_i
1	13	10	3
2	08	08	0
3	10	07	3
4	11	06	5
5	07	09	-2
6	14	09	5
7	12	11	1

Observação para H_0

- $\mu_d < 0$ significa que houve aumento “depois”.
- $\mu_d > 0$ significa que houve diminuição “depois”.

Solução

1. **Formulação da hipótese:**

$$\text{H}_0 : \mu_d \leq 0 \quad \text{vs} \quad \text{H}_1 : \mu_d > 0$$

2. **Estatística de teste observada**

$$t_{obs} = \frac{\overline{d} - \mu_d}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{2,1428 - 0}{2,6096/\sqrt{7}} = 2,173$$

3. **Região crítica (rejeição) e valor-p**

$$\nu = 6 \text{ e } \alpha = 0,05 \rightarrow \text{RC } = \{t > 1,943\}$$

Solução

4. **Decisão:** rejeitamos H_0
   - $t_{obs} \in$ RC

5. **Interpretação**
   Ao nível de significância de 5% rejeitamos a hipótese nula, então podemos concluir que existem evidências de que o tempo de execução da tarefa é menor depois do treinamento, portanto o treinamento foi eficaz.