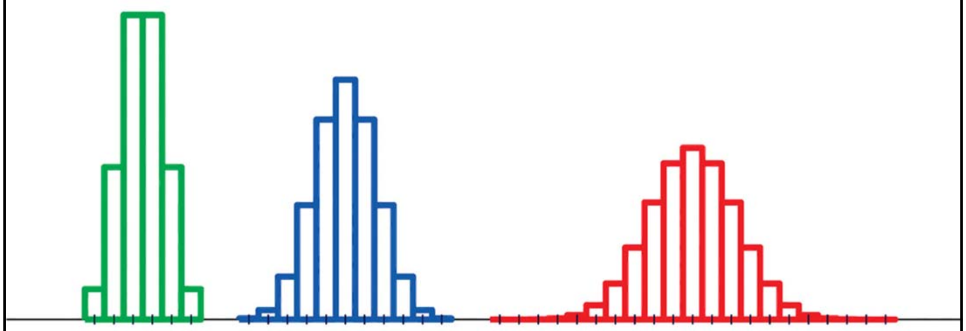
# Representatividade da amostragem ambiental

25 de Outubro de 2019



**Ricardo Bettencourt da Silva**
[rjsilva@fc.ul.pt]

1

## Índice



2

## 1. Análise de variâncias

A análise de variâncias é uma ferramenta muito útil para comparar conjuntos de médias.

Exemplos: 1) Comparação de condições de conservação de amostras;
2) Distinguir a variabilidade de um sistema da precisão da repetibilidade da análise de amostras do sistema.

Nestes estudos, existem sempre dois tipos de fontes de variação, os erros aleatórios e o designado factor controlado (exemplo 1: condições de conservação).

A análise de variâncias (ANOVA) é uma ferramenta estatística usada para separar e estimar as diferentes causas de variação:

Variação causada pela alteração do factor controlado
Vs.
Variação causada pelos erros aleatórios

A ANOVA testa se a alteração do factor controlado produz diferenças significativas nas médias obtidas.

3

## 1. Análise de variâncias

A ANOVA pode ser usada para distinguir fatores aleatórios (ex.: repetibilidade das determinações + heterogeneidade da amostra).

Quando é estudado um factor controlado utiliza-se uma “ANOVA de um factor (one-way ANOVA)”.

Podem ser estudados múltiplos factores controlados recorrendo a outras ferramentas estatísticas.

4

## 1. Análise de variâncias

### 1.1 ANOVA de um factor

Habitualmente os dados estudados através de uma ANOVA de um factor são apresentados em forma de tabela:

| | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Amostra 1** | $x_{11}$ | $x_{12}$ | ....... | $x_{1j}$ | ....... | $x_{1n}$ | $\bar{x}_1$ |
| **Amostra 2** | $x_{21}$ | $x_{22}$ | ....... | $x_{2j}$ | ....... | $x_{2n}$ | $\bar{x}_2$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| **Amostra *i*** | $x_{i1}$ | $x_{i2}$ | ....... | $x_{ij}$ | ....... | $x_{in}$ | $\bar{x}_i$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| **Amostra *h*** | $x_{h1}$ | $x_{h2}$ | ....... | $x_{hj}$ | ....... | $x_{hn}$ | $\bar{x}_h$ |
| | | | | | | **Média global** | $\bar{x}$ |

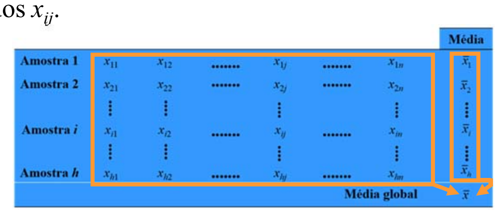
A ANOVA testa se a diferença entre as médias das amostras é demasiado grande para ser explicada pelos erros aleatórios.

5

## 1. Análise de variâncias

### 1.1 ANOVA de um factor

A média, $\bar{x}$, das médias das diversas amostras ( $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n$) é igual à média de todos os resultados $x_{ij}$.




$H_0$: Todas as amostras têm como origem a mesma população com média $\mu$ e variância $\sigma^2$.

Considerando $H_0$, $\sigma^2$ pode ser estimado de duas maneiras: através da variação intra-amostra ou da variação inter-amostra (entre amostras).

6

## 1. Análise de variâncias

1.1 ANOVA de um factor

**Variação intra-amostra:**

| | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amostra 1 | $x_{11}$ | $x_{12}$ | ....... | $x_{1j}$ | ....... | $x_{1n}$ | $\bar{x}_1$ |
| Amostra 2 | $x_{21}$ | $x_{22}$ | ....... | $x_{2j}$ | ....... | $x_{2n}$ | $\bar{x}_2$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| Amostra *i* | $x_{i1}$ | $x_{i2}$ | ....... | $x_{ij}$ | ....... | $x_{in}$ | $\bar{x}_i$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| Amostra *h* | $x_{h1}$ | $x_{h2}$ | ....... | $x_{hj}$ | ....... | $x_{hn}$ | $\bar{x}_h$ |
| | | | | | | Média global | $\bar{x}$ |

$$s_1^2 = \sum_j \left(x_{1j} - \bar{x}_1\right)^2 \Big/ n-1$$

$$\vdots$$

A média das variâncias $s_i^2$ é uma estimativa de σ²: $s^2 = \sum_i s_i^2 \Big/ h$

Esta estimativa tem $[h \times (n-1)]$ graus de liberdade.

**Importante:** Esta estimativa não é função das médias das amostras!

A formula geral usada para estimar a variância intra-amostra é:

$$\sigma^2 = \sum_i \sum_j \left(x_{ij} - \bar{x}_i\right)^2 \Big/ h(n-1) \longleftarrow \boxed{\text{Média dos quadrados}}$$

7

## 1. Análise de variâncias

1.1 ANOVA de um factor

**Variação inter-amostra:**

Se as amostras forem originárias da mesma população ($\mu$, $\sigma^2$), as suas médias $\bar{x}_i$ são originárias de uma população com variância $\sigma^2/n$. Assim, se $H_0$ for verdadeira, a variância da média das amostras é uma estimativa de $\sigma^2/n$.

| | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amostra 1 | $x_{11}$ | $x_{12}$ | ....... | $x_{1j}$ | ....... | $x_{1n}$ | $\bar{x}_1$ |
| Amostra 2 | $x_{21}$ | $x_{22}$ | ....... | $x_{2j}$ | ....... | $x_{2n}$ | $\bar{x}_2$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| Amostra *i* | $x_{i1}$ | $x_{i2}$ | ....... | $x_{ij}$ | ....... | $x_{in}$ | $\bar{x}_i$ |
| | $\vdots$ | $\vdots$ | | $\vdots$ | | $\vdots$ | $\vdots$ |
| Amostra *h* | $x_{h1}$ | $x_{h2}$ | ....... | $x_{hj}$ | ....... | $x_{hn}$ | $\bar{x}_h$ |
| | | | | | | Média global | $\bar{x}$ |

Variância das médias

$$\sum_i \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \Big/ (h-1)$$

Logo o estimativa "inter-amostra" de $\sigma^2$ é calculada pela equação (desvio padrão das médias × $n$):

$$\sigma^2 = n \sum_i \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \Big/ (h-1)$$

Esta estimativa está associada a $(h-1)$ graus de liberdade.

8

## 1. Análise de variâncias

1.1 ANOVA de um factor

**Variação inter-amostra:**

**Importante:** A estimativa de $\sigma$ obtida com base na variação "inter-amostras":

$$\sigma^2 = n\sum_i \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \Big/ (h-1)$$

…não é função da variabilidade "intra-amostras" visto que se baseia nas médias das amostras.

9

## 1. Análise de variâncias

1.1 ANOVA de um factor

**Comparação das duas estimativas de $\sigma$:**

Se $H_0$ for verdadeira, as estimativas de $\sigma$ baseadas na variabilidade "intra" e "inter-amostras" não são significativamente diferentes. Se $H_0$ não for correcta a estimativa de $\sigma$ baseada na variação "inter-amostras" é superior à estimativa de $\sigma$ baseada na variação "intra-amostras".

Desta forma, as duas estimativas de $\sigma$ são comparados através de um teste-F unilateral:

$$F_{cal.} = \frac{n\sum_i \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \Big/ (h-1)}{\sum_i\sum_j \left(x_{ij} - \bar{x}_i\right)^2 \Big/ \left[h(n-1)\right]}$$

Este $F$ calculado é comparado com o $F$ tabelado:

$$F_{tab.}(h-1; h(n-1); P; unilateral)$$

Se $F_{cal.} > F_{tab.}$, $H_0$ é rejeitada.

10

# 1. Análise de variâncias

## 1.1 ANOVA de um factor

| Valores críticos de F (P = 0,05 para testes unilaterais; P = 0,1 para testes bilaterais) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\nu_2 \backslash \nu_1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 |
| 1 | 161,44 | 199,49 | 215,70 | 224,58 | 230,16 | 233,98 | 236,76 | 238,88 | 240,54 | 241,88 | 243,90 | 245,94 | 248,01 |
| 2 | 18,513 | 19,000 | 19,164 | 19,247 | 19,296 | 19,329 | 19,353 | 19,371 | 19,385 | 19,396 | 19,412 | 19,429 | 19,446 |
| 3 | 10,128 | 9,552 | 9,277 | 9,117 | 9,013 | 8,941 | 8,887 | 8,845 | 8,812 | 8,785 | 8,745 | 8,703 | 8,660 |
| 4 | 7,709 | 6,944 | 6,591 | 6,388 | 6,256 | 6,163 | 6,094 | 6,041 | 5,999 | 5,964 | 5,912 | 5,858 | 5,803 |
| 5 | 6,608 | 5,786 | 5,409 | 5,192 | 5,050 | 4,950 | 4,876 | 4,818 | 4,772 | 4,735 | 4,678 | 4,619 | 4,558 |
| 6 | 5,987 | 5,143 | 4,757 | 4,534 | 4,387 | 4,284 | 4,207 | 4,147 | 4,099 | 4,060 | 4,000 | 3,938 | 3,874 |
| 7 | 5,591 | 4,737 | 4,347 | 4,120 | 3,972 | 3,866 | 3,787 | 3,726 | 3,677 | 3,637 | 3,575 | 3,511 | 3,445 |
| 8 | 5,318 | 4,459 | 4,066 | 3,838 | 3,688 | 3,581 | 3,500 | 3,438 | 3,388 | 3,347 | 3,284 | 3,218 | 3,150 |
| 9 | 5,117 | 4,256 | 3,863 | 3,633 | 3,482 | 3,374 | 3,293 | 3,230 | 3,179 | 3,137 | 3,073 | 3,006 | 2,936 |
| 10 | 4,965 | 4,103 | 3,708 | 3,478 | 3,326 | 3,217 | 3,135 | 3,072 | 3,020 | 2,978 | 2,913 | 2,845 | 2,774 |
| 11 | 4,844 | 3,982 | 3,587 | 3,357 | 3,204 | 3,095 | 3,012 | 2,948 | 2,896 | 2,854 | 2,788 | 2,719 | 2,646 |
| 12 | 4,747 | 3,885 | 3,490 | 3,259 | 3,106 | 2,996 | 2,913 | 2,849 | 2,796 | 2,753 | 2,687 | 2,617 | 2,544 |
| 13 | 4,667 | 3,806 | 3,411 | 3,179 | 3,025 | 2,915 | 2,832 | 2,767 | 2,714 | 2,671 | 2,604 | 2,533 | 2,459 |
| 14 | 4,600 | 3,739 | 3,344 | 3,112 | 2,958 | 2,848 | 2,764 | 2,699 | 2,646 | 2,602 | 2,534 | 2,463 | 2,388 |
| 15 | 4,543 | 3,682 | 3,287 | 3,056 | 2,901 | 2,790 | 2,707 | 2,641 | 2,588 | 2,544 | 2,475 | 2,403 | 2,328 |
| 16 | 4,494 | 3,634 | 3,239 | 3,007 | 2,852 | 2,741 | 2,657 | 2,591 | 2,538 | 2,494 | 2,425 | 2,352 | 2,276 |
| 17 | 4,451 | 3,592 | 3,197 | 2,965 | 2,810 | 2,699 | 2,614 | 2,548 | 2,494 | 2,450 | 2,381 | 2,308 | 2,230 |
| 18 | 4,414 | 3,555 | 3,160 | 2,928 | 2,773 | 2,661 | 2,577 | 2,510 | 2,456 | 2,412 | 2,342 | 2,269 | 2,191 |
| 19 | 4,381 | 3,522 | 3,127 | 2,895 | 2,740 | 2,628 | 2,544 | 2,477 | 2,423 | 2,378 | 2,308 | 2,234 | 2,155 |
| 20 | 4,351 | 3,493 | 3,098 | 2,866 | 2,711 | 2,599 | 2,514 | 2,447 | 2,393 | 2,348 | 2,278 | 2,203 | 2,124 |

11

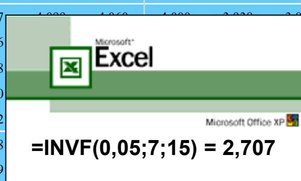
# 1. Análise de variâncias

## 1.1 ANOVA de um factor

| Valores críticos de F (P = 0,05 para testes unilaterais; P = 0,1 para testes bilaterais) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\nu_2 \backslash \nu_1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 |
| 1 | 161,44 | 199,49 | 215,70 | 224,58 | 230,16 | 233,98 | 236,76 | 238,88 | 240,54 | 241,88 | 243,90 | 245,94 | 248,01 |
| 2 | 18,513 | 19,000 | 19,164 | 19,247 | 19,296 | 19,329 | 19,353 | 19,371 | 19,385 | 19,396 | 19,412 | 19,429 | 19,446 |
| 3 | 10,128 | 9,552 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 8,941 | 8,887 | 8,845 | 8,812 | 8,785 | 8,745 | 8,703 | 8,660 |
| 4 | 7,709 | 6,944 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 6,163 | 6,094 | 6,041 | 5,999 | 5,964 | 5,912 | 5,858 | 5,803 |
| 5 | 6,608 | 5,786 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 4,950 | 4,876 | 4,818 | 4,772 | 4,735 | 4,678 | 4,619 | 4,558 |
| 6 | 5,987 | 5,143 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 4,284 | 4,207 | 4,147 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 7 | 5,591 | 4,737 | 4,347 | 4,120 | 3,972 | 3,866 | 3,787 | 3,726 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 8 | 5,318 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 3,688 | 3,581 | 3,500 | 3,438 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 9 | 5,117 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 3,482 | 3,374 | 3,293 | 3,230 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 10 | 4,965 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 3,326 | 3,217 | 3,135 | 3,072 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 11 | 4,844 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 3,204 | 3,095 | 3,012 | 2,948 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 12 | 4,747 | 3,885 | 3,490 | 3,259 | 3,106 | 2,996 | 2,913 | 2,849 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 13 | 4,667 | 3,806 | 3,411 | 3,179 | 3,025 | 2,915 | 2,832 | 2,767 | 2,714 | 2,671 | 2,604 | 2,533 | 2,459 |
| 14 | 4,600 | 3,739 | 3,344 | 3,112 | 2,958 | 2,848 | 2,764 | 2,699 | 2,646 | 2,602 | 2,534 | 2,463 | 2,388 |
| 15 | 4,543 | 3,682 | 3,287 | 3,056 | 2,901 | 2,790 | $\boxed{2,707}$ | 2,641 | 2,588 | 2,544 | 2,475 | 2,403 | 2,328 |
| 16 | 4,494 | 3,634 | 3,239 | 3,007 | 2,852 | 2,741 | 2,657 | 2,591 | 2,538 | 2,494 | 2,425 | 2,352 | 2,276 |
| 17 | 4,451 | 3,592 | 3,197 | 2,965 | 2,810 | 2,699 | 2,614 | 2,548 | 2,494 | 2,450 | 2,381 | 2,308 | 2,230 |
| 18 | 4,414 | 3,555 | 3,160 | 2,928 | 2,773 | 2,661 | 2,577 | 2,510 | 2,456 | 2,412 | 2,342 | 2,269 | 2,191 |
| 19 | 4,381 | 3,522 | 3,127 | 2,895 | 2,740 | 2,628 | 2,544 | 2,477 | 2,423 | 2,378 | 2,308 | 2,234 | 2,155 |
| 20 | 4,351 | 3,493 | 3,098 | 2,866 | 2,711 | 2,599 | 2,514 | 2,447 | 2,393 | 2,348 | 2,278 | 2,203 | 2,124 |

Número de graus de liberdade do numerador.

Número de graus de liberdade do denominador.




12

## 1. Análise de variâncias

1.1 ANOVA de um factor

Avaliação da origem da diferença observadas na ANOVA (1/1):

A diferença entre as duas estimativas de $\sigma$ pode ter diversas origens: por exemplo, uma média pode diferir das outras, todas as médias podem ser diferentes entre si, podem existir grupos de médias equivalentes, etc.

Uma forma simples de avaliar a razão desta diferença é através da ordenação das médias por ordem crescente e comparação das diferenças entre valores adjacentes com uma grandeza designada como "menor diferença significativa", mds:

- $mds = s_{intra-a}\sqrt{(2/n)} \times t_{[h(n-1);0{,}05;bilateral]}$

Em que $s_{\text{intra-a}}$ é a estimativa de σ baseada na variação "intra-amostra":

- $s_{intra-a} = \sqrt{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / h(n-1)}$

**Importante:** Este teste é aproximado!

13

## 1. Análise de variâncias

1.2 A aritmética da ANOVA

**Se $H_0$ for verdadeira pode estimar-se $\sigma$ de outra forma:**

Se $H_0$ for verdadeira, pode estimar-se $\sigma^2$ tratando os dados como uma grande amostra. Este cálculo envolve o cálculo do somatório dos desvios em relação à média global $\bar{x}$:

$$\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$$

…e a divisão deste somatório pelo número de graus de liberdade ($hn$-1).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2}{nh - 1}$$

**Importante:** Este termo não é usado nos cálculos da ANOVA porque é função de ambas as variabilidades "intra" e "inter-amostra".

14

## 1. Análise de variâncias

1.2 A aritmética da ANOVA

Existe uma relação algébrica exacta entre esta variação total e as fontes de variação que contribuem para si (ver Tabela):

| Fontes de variação | Somas dos quadrados | Graus de liberdade |
|---|---|---|
| **Intre-amostras** | $n\sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$ | $h-1$ |
| **Intra-amostras** | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$ | $h(n-1)$ |
| **Total** | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$ | $hn-1$ |

Os valores da última linha da tabela resultam da soma dos valores da duas primeiras linhas, tanto para a soma dos quadrados como para o número de graus de liberdade.

15

## 1. Análise de variâncias

1.2 A aritmética da ANOVA

Existe uma relação algébrica exacta entre esta variação total e as fontes de variação que contribuem para si (ver Tabela):

| Fontes de variação | Somas dos quadrados | Graus de liberdade |
|---|---|---|
| **Intre-amostras** | $n\sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$ | $h-1$ |
| **Intra-amostras** | $+ \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$ | $+ h(n-1)$ |
| **Total** | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$ | $hn-1$ |

Os valores da última linha da tabela resultam da soma dos valores da duas primeiras linhas, tanto para a soma dos quadrados como para o número de graus de liberdade.

16

# 1. Análise de variâncias

1.3. Avaliação da incerteza da amostragem

A incerteza padrão associada à amostragem, $u_S$, dum sistema heterogéneo pode ser avaliada através de uma ANOVA de um factor: "heterogeneidade do sistema" vs. "repetibilidade da medição":

Incerteza de uma amostragem única, $u_S$:

$$u_S = s_{inter-am} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{h-1}}$$

Incerteza de uma amostragem composta de $m$ amostras, $u_{S;m}$ :

$$u_{S;m} = \frac{u_S}{\sqrt{m}}$$

Incerteza global expandida, $U$ (n.c. aprox. 95 %):

$$U = 2\sqrt{u_{S;m}^2 + u_{AA}^2}$$

Análise da amostra

17

# 1. Análise de variâncias

1.4. Avaliação de tendências

Avaliação da relevância de variações da contaminação ambiental observada em condições equivalentes (tipicamente condições atmosféricas).

**Se os resultados em dois dias, 1 e 2, forem:**

**Dia 1**: $(C_1 \pm 2u_1)$ unidades

**Dia 2**: $(C_2 \pm 2u_2)$ unidades

**em que $u_1$ e $u_2$ representam as incerteza padrão das medições de $C_1$ e $C_2$.**

**A variação da concentração é relevante se:**

$$|C_1 - C_2| > 2\sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

**A avaliação é realizada para um nível de confiança de aproximadamente 95%.**

18

## 1. Análise de variâncias

1.4. Exercício

**Exercício:**
Estudo da incerteza da amostragem: Considere as seguintes estimativas de NOx (em µmol $L^{-1}$) em quatro pontos, equidistantes, que definem uma linha que atravessa toda a largura de um rio que flui de Este para Oeste.

| | Pontos de amostragem | Medições Replicadas | Média |
|---|---|---|---|
| A | Ponto mais a norte | 102; 100; 101 | 101 |
| B | Segundo ponto mais a norte | 101; 101; 104 | 102 |
| C | Segundo ponto mais a sul | 97; 95; 99 | 97 |
| D | Ponto mais a sul | 90; 92; 94 | 92 |
| | | | 98 |

Avalie a incerteza da amostragem e da análise de uma amostras composta de duas amostras em que a análise de amostras tem uma incerteza padrão relativa de 2.2 %.

19

## 1. Análise de variâncias

Quando se utiliza uma ANOVA de dois factores? (1/3)

Quando se estuda o efeito de dois factores num determinado resultado?

Os resultados são apresentados numa tabela equivalente à usada na ANOVA de um factor, o entanto, os dados estão ordenados considerando as linhas e as colunas (i.e., são classificado de acordo com dois factores).

**Exemplo:** Comparação do rendimento da extracção de iões metálicos de uma solução aquosa considerando diferentes agentes quelantes.

| | Agente Quelante | | | |
|---|---|---|---|---|
| Dia | A | B | C | D |
| 1 | 84 | 80 | 83 | 79 |
| 2 | 79 | 77 | 80 | 79 |
| 3 | 83 | 78 | 80 | 78 |

20

## 1. Análise de variâncias

Quando se utiliza uma ANOVA de dois factores? (2/3)

**Exemplo:** Comparação do rendimento da extracção de iões metálicos de uma solução aquosa considerando diferentes agentes quelantes.

| | Agente Quelante | | | |
|---|---|---|---|---|
| Dia | A | B | C | D |
| 1 | 84 | 80 | 83 | 79 |
| 2 | | | 80 | 79 |
| 3 | | | 80 | 78 |

Mesmo dia =
Mesma Solução &
Condições Ambientais

Em cada dia, foi preparada uma solução fresca de metal (com uma determinada concentração) e procedeu-se a extracção do metal considerando cada um dos agentes quelantes, em que as extracções foram realizadas por ordem aleatória.



## 1. Análise de variâncias

Quando se utiliza uma ANOVA de dois factores? (3/3)

**Exemplo:** Comparação do rendimento da extracção de iões metálicos de uma solução aquosa considerando diferentes agentes quelantes.

| | Agente Quelante | | | |
|---|---|---|---|---|
| Dia | A | B | C | D |
| 1 | 84 | 80 | 83 | 79 |
| 2 | 79 | 77 | 80 | 79 |
| 3 | 83 | 78 | 80 | 78 |

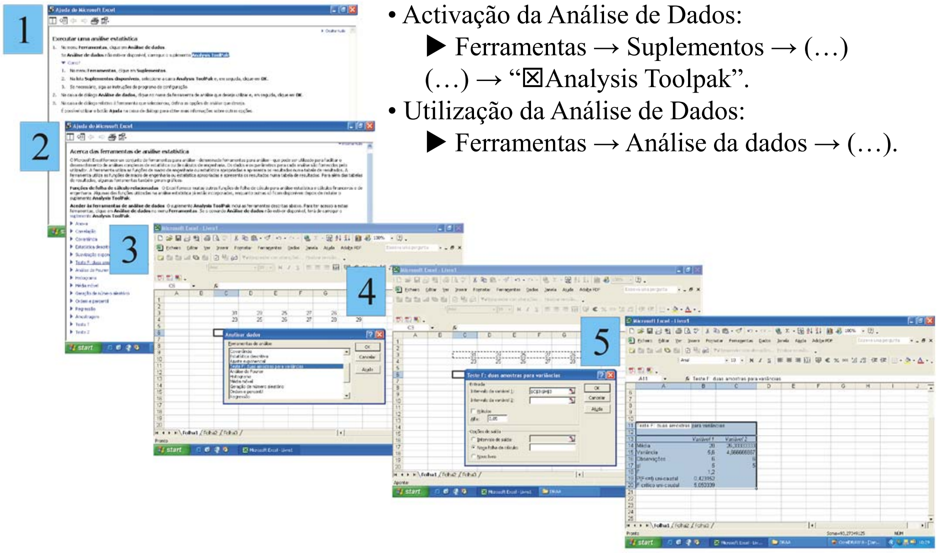
A ANOVA permite avaliar se:

1) as eficiência de reacção associadas aos diferentes agentes quelantes são significativamente diferentes;

OU

2) a variação de dia para dia é significativamente superior à variação devida aos erros aleatórios da medição.

## Realização de testes em Excel



- Activação da Análise de Dados:
  - ▶ Ferramentas → Suplementos → (…)
    (…) → "☒Analysis Toolpak".
- Utilização da Análise de Dados:
  - ▶ Ferramentas → Análise da dados → (…).

23