



Universidade Federal do Ceará
Depto. de estatística e Matemática Aplicada
Centro de Ciências

CC0294 – PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Profa. Dra. Silvia Maria de Freitas

2024.2

Conceitos básicos

História:

Os métodos estatísticos começaram a se desenvolver desde de a antiguidade. A primeira noção de estatística: surgiu como **contagem**, para estudarmos o que havia em determinada região, visando principalmente a cobrança de taxas e impostos. Depois, desenvolveu-se a **teoria das probabilidades** como instrumento para chegarmos nas técnicas estatísticas.

Importância da estatística: possível se fazer generalizações para uma população (conjunto universo de uma pesquisa) à partir de uma amostra (subconjunto da população) - pesquisas extremamente mais rápidas e econômicas.

A **pesquisa experimental**, no entanto, começou lentamente, e se desenvolveu a partir do século XIX.

início : a pesquisa experimental restringiu-se à simples observação de uma experiência e pensava-se que a partir daí seria possível tirar conclusões.

Isto gerava muita confusão, pois um simples caso repetitivo, logo adiante, poderia levar a outra conclusão.

Um exemplo deste tipo de confusão: seria a de um dos mais antigos trabalhos, executado há 4 séculos por *John Baptista van Helmont* em Bruxelas.

A experiência consistiu em plantar uma muda de salgueiro em um vaso com terra seca. Durante 5 anos ele apenas observou e adicionou água.

Obteve uma árvore de 76,7 quilos.

A brilhante conclusão a que este pesquisador chegou era de que os vegetais eram constituídos apenas de água, não se lembrando da terra do vaso que também foi consumida.

Neste exemplo, já podemos pensar em um experimento, ou seja, uma experiência onde pretendeu-se controlar algum fator: quantidade de terra, de planta e a de água.

Podemos definir então um experimento como qualquer experiência em que empregamos: “**causas controladas**” .

Um dos primeiros cientistas que tentou organizar os resultados experimentais foi **Mendel** .

Ele tentou mostrar que as conclusões não podiam ser tiradas de um único dado, mas sim, de repetições da experiência, ou de um conjunto de dados.

Assim, ele estabeleceu um método estatístico para tirar conclusões de suas pesquisas.

No entanto, o planejamento experimental só se desenvolveu realmente em 1919, quando **Ronald A. Fisher** assumiu a direção do Departamento de Estatística da Estação Experimental de Rothampstead em Londres, Inglaterra.

Estudando os muitos dados que o Instituto havia gerado durante longos anos, ele procurou **desenvolver métodos estatísticos** que o levasse a conclusões sobre os vários fenômenos em estudo.

Junto com Fisher, outro matemático, **Yates**, também contribuiu muito com o desenvolvimento da metodologia estatística em pesquisas experimentais.

Assim sendo, os **métodos experimentais** surgiram primeiro nas **ciências biológicas**, e a partir daí foram generalizados para todas as áreas do conhecimento humano.

CONCEITOS BÁSICOS :

Experimento ou ensaio : é qualquer experiência científica, previamente planejada que segue determinados princípios básicos, cujo objetivo é comprovar (ou não) uma hipótese científica a respeito de determinados tratamentos ou fatores de interesse.

Tratamento ou fator: é todo material cujo efeito desejamos estudar, medir, avaliar ou comparar em um experimento; sendo possível distinguir diferentes grupos (é de natureza qualitativa e/ou quantitativa).

Exemplos: Sexo; classe social; grupo etário; variedades de cana de açúcar; tipo de medicamento; métodos de ensino; doses de N, P e K em experimentos de milho, *etc.*

Tratamentos qualitativos : seus níveis apresentam-se na forma de categorias ou classificações.

Exemplo: sexo, classe social, variedades de cana-de-açúcar, tipo de vacina, *etc.*

Tratamentos quantitativos : constituídos por quantidades de certo produto ou valores de alguma dimensão, definidas pelo pesquisador.

Exemplo: doses de adubo, doses de hormônio de crescimento, tempos de prateleira, distâncias entre linhas de irrigação, *etc.*

Fator de efeito fixo (mais comum!) : tem seus níveis fixados ou escolhidos a *priori* pelo pesquisador e o interesse é fazer inferência sobre esses níveis ou para níveis intermediários, quando o fator for quantitativo.

Exemplos:

- Linhagens de frango de corte: Cobb, Ross, Hubbard
- Alturas de corte do capim: 10, 20 e 30 cm
- Densidades de plantio de aveia: 50, 70, 90 kg/ha
- Idades de frangos de corte: 0, 14, 28, 35 e 42 dias
- Espaçamentos entre linhas na cultura de trigo: 15, 17, 19 cm, *etc.*

Fator de efeito aleatório: Os seus níveis compõem uma amostra aleatória da população de todos os possíveis níveis.

Exemplo: Em um experimento para estudar a germinação de sementes de Brachiaria usamos 10 lotes de sementes e 4 repetições por lote. Os lotes estudados foram sorteados de uma grande lista de lotes. Ao realizar o experimento, verifica-se variabilidade entre repetições de um mesmo lote e entre lotes.

Se lote for de efeito fixo teremos de estimar 10 parâmetros, um para cada lote.

Se lote é de efeito aleatório temos que estimar a variância dos efeitos aleatórios.

Delineamento experimental : é o plano (desenho/*design*) utilizado na experimentação, em que se define a forma como os tratamentos serão designados às *unidades experimentais*.

Sua escolha envolve um amplo conhecimento do material experimental utilizado e das prováveis fontes de variação do acaso.

Exemplos:

- Delineamento inteiramente casualizado (DIC)
- Delineamento casualizado em blocos (DCB)
- Delineamento em quadrados latinos (DQL)
- Delineamento em *latice*
- *etc.*

Unidade experimental (u.e.) ou parcela : é a unidade básica de material que vai receber o tratamento e fornecer os dados que deverão refletir seu efeito.

Elas devem ser uniformes e a escolha de sua forma e tamanho deve ser orientada de modo a minimizar o erro experimental.

O tamanho e a forma da unidade experimental dependem:

- do material utilizado e da quantidade de material disponível;
- dos objetivos da pesquisa;
- do custo e do número de tratamentos em estudo;
- do tipo de manejo usado.

Exemplos de unidades experimentais ou parcelas:

- um canteiro ou uma área de plantio.
- um vaso com certo tipo de planta.
- uma placa de Petri com certo meio de cultura.
- um animal fistulado (ensaios de digestibilidade).
- os frangos de um box do galpão experimental.
- cada leitão de uma baia.
- uma baia com os suínos de uma leitegada.
- as poedeiras alojadas em gaiolas coletivas, *etc.*

O erro experimental é uma medida da variação da resposta em observações feitas em unidades experimentais que receberam o mesmo tratamento.

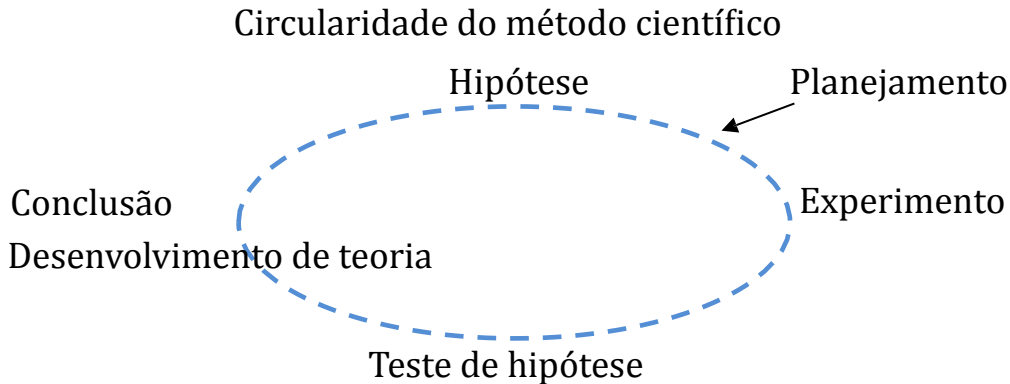
Pode originar de pequenas diferenças na composição das unidades experimentais, na constituição genética das plantas ou dos animais, da imprecisão do equipamento usado na medição, além de outras eventuais e imprevisíveis.

Ideal: evitar erros grosseiros e minimizar o erro experimental.

O erro experimental, casual ou não-controlável é importante em Estatística, porque serve como termo de comparação para julgar as **variações (controladas)**, que estão relacionadas aos **tratamentos** e interessam ao pesquisador.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA EXPERIMENTAÇÃO:

A pesquisa científica tem se utilizado de experimentos para provar suas hipóteses.



Podemos então enumerar alguns passos importantes no planejamento de uma pesquisa experimental:

- a) Definir os objetivos da pesquisa;
- b) Definir as variáveis independentes e fixar a variável dependente e estar certo de que esta variável realmente nos traz informação sobre nosso estudo (Variável resposta);
- c) Escolha de desenho experimental;
- d) Execução do experimento – será o processo de coletar as amostras, observar e anotar os resultados - NÃO FAZ PARTE DO TRABALHO DO ESTATÍSTICO!!;
- e) Análise dos resultados ;
- f) Apresentação das conclusões e recomendações.

A experimentação obedece a alguns **princípios básicos** que são indispensáveis à validação das conclusões alcançadas.

Casualização ou aleatorização : torna os testes estatísticos válidos.

Repetição : torna os testes estatísticos possíveis

Controle local : torna os experimentos mais eficientes

PROBLEMA: Preciso escolher entre duas rações (A e B) aquela que proporciona a maior produção de leite em vacas de certa raça.

Uma solução simples e barata: MUITO RUIM!!!!

Alimentar uma vaca com a ração A e outra com a ração B. Após o período experimental, comparar a produção dessas vacas.

⇒ A melhor ração será aquela que foi designada à vaca que proporcionou maior produção de leite.

Dúvidas:

- Esta solução é boa?
- Você vê problemas em generalizar o resultado da pesquisa?

Solução : Usar os princípios básicos da experimentação!

1) PRINCÍPIO DA REPETIÇÃO

- Consiste na repetição do experimento básico e tem o objetivo de proporcionar uma boa estimativa do erro experimental.

Solução: Devemos submeter o maior número possível de vacas às rações A e B, para garantir a segurança e a qualidade dos resultados.

2) PRINCÍPIO DA CASUALIZAÇÃO OU ALEATORIZAÇÃO

- Consiste em designar os tratamentos de forma aleatória às parcelas, para não prejudicar ou favorecer qualquer um deles.

Solução : Sortear a ração que cada uma das vacas vai receber, de modo a não prejudicar/favorecer nenhuma das rações.

Esses dois princípios (repetição e aleatorização) são imprescindíveis nos planejamentos de todos os experimentos e necessários para garantir os resultados das análises estatísticas.

3) PRINCÍPIO DO CONTROLE LOCAL (bloco):

- Consiste em agrupar o material experimental em subgrupos homogêneos com o objetivo de controlar de forma mais efetiva o erro experimental.

Deve ser usado sempre que o material experimental não for homogêneo e soubermos qual é a causa aparente dessa heterogeneidade.

A variação das respostas dentro dos blocos deve ser pequena e a variação entre diferentes blocos pode variar à vontade.

Solução: Se as vacas formam um grupo heterogêneo, podemos melhorar a qualidade e a precisão da comparação entre as rações se reagruparmos essas vacas em pares.

As vacas que formarem um par (bloco) deverão ser bastante parecidas, quanto à idade, ordem de lactação *etc.* Por sorteio, a ração A será designada a uma vaca e a ração B à outra vaca do mesmo bloco.

O uso dos princípios básicos da experimentação no planejamento de um experimento garante a qualidade dos dados e dos resultados dos testes estatísticos utilizados.

Como já sabemos: O erro experimental é uma medida da variação que existe entre as observações feitas em unidades experimentais submetidas ao mesmo tratamento.

A presença de efeito de fatores não controlados numa pesquisa justifica o uso da análise estatística dos dados experimentais.

Análise de Variância (ANOVA) : é uma técnica de análise desenvolvida por Fisher, que consiste na decomposição dos graus de liberdade e da variabilidade total de um material heterogêneo em partes atribuídas a causas conhecidas e independentes (tratamentos) e a uma porção residual de origem desconhecida e de natureza aleatória.

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Variabilidade} \\ \text{total dos dados} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Variabilidade} \\ \text{devida aos} \\ \text{tratamentos} \\ \text{(Variação entre)} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Variabilidade} \\ \text{devida ao acaso} \\ \text{(Variação dentro)} \\ \hline \end{array}$$

Esperamos que a variabilidade total da resposta dependa *bastante* dos tratamentos a que foram submetidas as parcelas e *pouco* da variação do acaso.

Lembrando : A variação do acaso é avaliada nas respostas das unidades experimentais submetidas ao mesmo tratamento.

Importante : Para analisar estatisticamente os dados de um experimento é preciso que no seu delineamento tenham sido considerados, pelo menos, os princípios da repetição e da casualização, que garantem uma boa estimativa do erro experimental.

EXEMPLO 1: Em um experimento de competição de variedades de cana-de-açúcar, instalado em um delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições por tratamento, obteve-se as seguintes produções (ton/ha):

Variedades de cana de açúcar					
CB5034	CB6245	IAC6258	IAC6529	IAC6814	IAC6538
112,3	125,3	118,4	127,9	130,1	115,2
121,0	119,7	120,5	128,3	122,4	123,2
114,3	120,8	119,7	129,5	126,7	117,8
115,8	120,5	118,3	126,5	127,3	120,8
117,2	122,3	117,8	127,3	128,9	116,4
Média	116,1	121,7	118,9	127,1	118,7

Perguntas:

- As variedades de cana apresentam produções médias iguais?
- Qual é a variedade que apresenta a maior produção média?

Notação: Admitindo que y_{ij} é a produção da j -ésima repetição da i -ésima variedade de cana, para $i = 1, \dots, 6$, $j = 1, \dots, 5$, temos que:

EXPERIMENTO COM UM FATOR :

O modelo estatístico associado a um experimento balanceado com um fator de tratamento com a níveis, instalado usando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), apenas uma fonte de estudo (1 Fator) com n repetições, pode ser escrito como:

Modelo estatístico: $y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$, com $i = 1, 2, \dots, a$ e $j = 1, 2, \dots, n$.

sendo:

y_{ij} : a resposta da j -ésima repetição do tratamento i ,

μ : efeito da média geral ,

τ_i : efeito do i -ésimo tratamento (ou nível do fator)
na resposta,

e_{ij} : um erro aleatório atribuído à observação y_{ij} , não observável, independente e com distribuição normal de média zero e variância σ^2 , ou seja, $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

	Tratamento				
	1	2	...	a	
	y_{11}	y_{21}	...	y_{a1}	
	y_{12}	y_{22}	...	y_{a2}	
	\vdots	\vdots	y_{ij}	\vdots	
	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{an}	
Total	$y_{1\cdot}$	$y_{2\cdot}$...	$y_{a\cdot}$	$y_{\cdot\cdot}$
Média			...		