

MAE 327

Planejamento e Pesquisa II

Profa. Júlia Maria Pavan Soler

pavan@ime.usp.br

IME/USP

Motivação

Recomendo ler:
Oehlert, 2010: Capítulos 1 e 2
Box, Hunter and Hunter, 1978: Capítulo 1
Hinkelmann and Kempthorne, 1994: Cap. 1

- **Por que coletamos dados?**

Ciência Factual: observar a natureza ↔ criar Teorias

- **Como coletar os dados?**

Estudos Observacionais x Estudos Experimentais

- **Por que Planejar um Experimento?**

Evidenciar Fontes de Variação de Interesse e controlar FV intervenientes

- **O que estamos fazendo com os dados que coletamos?**
- **Os resultados obtidos são válidos e reprodutíveis?**



The Paper Helicopter Experiment

INTRODUCTION THE PROJECT DESIGN & ASSEMBLY PATTERNS ABOUT

This website is devoted to the paper helicopter experiment - a project which became an integral part of every modern course on Design Of Experiments.

FOR THE STUDENTS

The paper helicopter experiment lab provides efficient and fun way of learning material relevant to the course. By completing the project you will become familiar with the fundamental concepts of experimental planning and gain knowledge of the theory behind two-level fractional factorial designs.

The project is designed to imitate industrial needs and requires generating real data. In order to do that you may consider using printable paper helicopter templates provided by this website. At our [paper helicopter factory](#) you may customize the helicopter design to suit your needs by setting values of factor levels and other parameters. Once done, simply fill in the design matrix and print out the PDF with the paper helicopter patterns.



The project task may vary in detail. The following example is an enhanced version of the "classical" paper helicopter experiment suggested by G.E.P. Box in 1991.

THE PROJECT TASK

Customers of CHC (Cellulose Helicopter Company) have been complaining about limited flight time of CHC helicopters. A team of CHC engineers, pilots, managers and field representatives is formed to study how the standard CHC helicopter design might be modified to prolong the flight time without deterioration in stability and flying capacity.

A large number of factors that might affect the flight time are proposed during a brainstorming session, and the list is finally limited to **8 factors** which are to be studied through a factorial experiment. The eight factors and their respected levels suggested by the team are listed in Table 1.

The task is to plan, run, analyse and document one or more factorial experiments with the aim to improve the CHC helicopter construction in order to prolong the flight time. Unfortunately, CHC has a short budget (they have just invested \$10 million in a new [pilot plant](#)) and does not have resources for more than a **total of 25 experimental runs**.

Factors		Levels	
		(-)	(+)
1	Material	X	Y
2	Wing Length	70	120
3	Body Length	70	120
4	Body Width	35	50
5	Paper Clips	1	3
6	Folded Wings	NO	YES
7	Taped Body	NO	YES
8	Taped Wings	NO	YES

Table 1: Factors and levels suggested for the CHC pilot study. Detailed description is given in Design & Assembly section.

Planejando um Experimento: Projeto MAE317 - Turma 2017

3º Congresso de Graduação da Universidade de São Paulo



Boas ideias devem ser compartilhadas!

A Produção de Cerveja Produzindo Conhecimento

Júlia Pavan Soler, Adèle Helena Ribeiro, Max Reinhold Jahnke

IME/USP

MOTIVAÇÃO:

Existência de uma lacuna no currículo de graduação em Estatística: a execução do experimento

OBJETIVOS:

Proporcionar aos alunos de graduação em Estatística uma vivência das 3 fases do ciclo de vida do experimento: Planejamento, execução e análise dos dados



MATERIAIS E MÉTODOS:



1. Desenvolvimento do projeto integrado ao conteúdo da disciplina MAE317 – Planejamento e Pesquisa I

2. Planejamento:
• Identificação do tema de consenso: Produção artesanal de cerveja



• Seminário de Especialista - Delineamento Fatorial 2^3 longitudinal - Temperatura, Lúpulo e Açúcar avaliados em 15 e 30 dias de engarrafamento

• Unidade amostral: garrafa 3 réplicas de cada tratamento no tempo ($n=90$ garrafas)

• Juizes: 18 (alunos e professores) - cada juiz avaliou 4 tratamentos e cada garrafa foi avaliada por 3 juizes - processo de aleatorização (Seminário: Delineamentos Ótimos)

• Instrumento de avaliação: Questionário sensorial

• Controle de variáveis ambientais e dos juizes

• Termo de consentimento

3. Execução:

• Produção
L1:13/05, L2:28/05



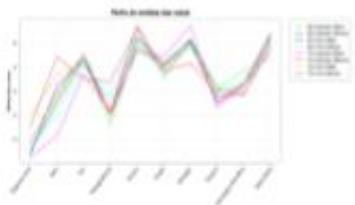
• Engarrafamento
L1:28/05, L2:24/06



• Carbonatação e Avaliação dos Juizes
L1: 10 e 24/06, L2: 24/06 e 08/07



RESULTADO S:



• Os dados resultantes foram utilizados nas provas e no trabalho de conclusão da disciplina
• Serão utilizados em disciplinas do semestre seguinte cursadas pelos mesmos alunos: MAE327 – Planejamento II e MAE330 – Análise Multivariada

LIÇÕES APRENDIDAS:

- Facilitou o ensino e o aprendizado
- Ilustrou empiricamente o conteúdo da disciplina
- Proporcionou a vivência necessária das fases do experimento
- Promoveu maior interação entre professor e alunos
- Complexidades: Atividades extra curriculares, finais de semana, longa duração - exigindo comprometimento adicional e postura profissional dos alunos

CONCLUSÕES:

- Iniciativa que deve ser incentivada e aperfeiçoada:
- Deve constar no Plano de Aulas da disciplina – prever tempo e recursos
- Recurso de aprendizado que deve ser trabalhado por aula invertida



Número de garrafas avaliadas em cada condição experimental

Temperatura	60°C				70°C			
	Quente		Frio		Quente		Frio	
Lúpulo	Mais	Menos	Mais	Menos	Mais	Menos	Mais	Menos
Acucar								
Carbonatação	6	6	6	6	6	6	6	6
15 dias								
Carbonatação	6	6	6	6	6	6	6	6
30 dias								

A Produção de Cerveja Produzindo Conhecimento – Avaliação Sensorial

Data: _____
 Identificação da Garrafa: _____ Espuma da Cerveja: _____
 Identificação do Juiz: _____

Marque um X na nota (escala continua) que você atribui a cada uma das sensações a seguir.

1. Som da abertura (pressão)		Cerveja cheia 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Alta pressão 10
2. Cor		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
3. Transparência		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
4. Aroma Desagradável → Agradável		Chale 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Manjerico 10
5. Corpo		Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Leite 10
5. Amargor		Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Bordo 10
6. Doçura		Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Silva 10
7. Sensação alcoólica		Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Cachaça 10
8. Nota geral		Nejento 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		Póssimo 10

Projeto: Produção de Sorvete (MAE317-2019)

Estrutura do Tratamento

Base	Receita	T1 = 2h de congelamento	T1 = 3h de congelamento
Banana	1. Fruta (Morango)		
	2. Cacau + Chocolate		
Abacate	1. Fruta (Morango)		
	2. Cacau + Chocolate		

A Produção de Sorvete Produzindo Conhecimento – Avaliação Sensorial

Data: _____

Identificação da Produção: Base: Banana () Abacate
 Receita: Fruta () Cacau+Chocolate
 Tempo de Congelamento: 2h () 3h

Identificação do Juiz: _____

⊕ Marque um X na nota (escala contínua) que você atribui a cada uma das sensações a seguir.

1. Cor	Estranha 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sensacional
2. Sabor predominante	Base 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Complemento da Receita
3. Maciez da Massa	Cristalizado 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Homogêneo
4. Aroma	Estranho 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Neutro Agradável
5. Amargor	 Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  Bordo
6. Doçura	 Água 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  Stévia
7. Nota geral	 Nojento  Pessim  Ruim  Bom  Otimo  Sensacional 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

BOAS PRÁTICAS



Para prevenir novas crises

Documento propõe mudanças em práticas de pesquisa a fim de reduzir a publicação de artigos cujos resultados ninguém consegue repetir

A Real Academia de Artes e Ciências da Holanda lançou um documento propondo mudanças em práticas de pesquisa a fim de enfrentar o que se convencionou chamar de “crise da reprodutibilidade” – uma sucessão de casos de artigos científicos que caíram em descrédito por seus resultados não terem sido confirmados em experimentos subsequentes. As recomendações do relatório divulgado em janeiro, intitulado *Estudos de replicação – Melhorando a reprodutibilidade nas ciências empíricas*, buscam aumentar o rigor com que o trabalho científico é realizado e apoiar pesquisadores interessados em verificar resultados obtidos por colegas. Uma das propostas apresentadas consiste em estimular o financiamento de estudos voltados para ratificar outros estudos, seguindo o exemplo da Organização Holandesa para Pesquisa Científica (NWO), que destinou no ano passado € 3 milhões a um programa-piloto para projetos dessa natureza. As sugestões também incluem reforçar o treinamento de cientistas e estudantes em tópicos como desenho de experimentos e análise estatística, e incentivar periódicos científicos a publicar pesquisas que não confirmaram as hipóteses testadas ou então chegaram a resultados nulos.

“O conhecimento só avança se os pesquisadores puderem confiar nos resultados de estudos feitos anteriormente”, escreveu, no prefácio do relatório, a presidente da Real Academia, José van Dijk, pesquisadora de mídia e cultura da Universidade de Utrecht. Na avaliação da entidade, produzir dados fidedignos é essencial para evitar o desperdício de recursos na pesquisa e garantir a confiança do público na ciência. “O relatório conclui que estudos para reproduzir outros estudos devem ser conduzidos de forma mais frequente e sistemática, o que exige um esforço conjunto de agências de fomento, pesquisadores, periódicos e instituições científicas”, afirmou Van Dijk.

O panorama da “crise da reprodutibilidade” apresentado no relatório mostra a relevância do problema. À procura de novos medicamentos contra o câncer, a empresa farmacêutica Amgen tentou confirmar os achados de 53 estudos pré-clínicos publicados que pareciam ter grande potencial. Apenas 11% dos resultados foram corroborados. A Bayer fez um esforço semelhante para tentar validar dados sobre alvos potenciais de novos remédios, obtidos por 67 projetos de pesquisa, e só teve sucesso em 25% dos casos. Uma colaboração internacional para investigar estudos de

psicologia experimental, área que foi palco de escândalos envolvendo manipulações e fraudes, só conseguiu ratificar resultados obtidos em 36 dos 100 artigos avaliados. No final do ano passado, as Academias Nacionais de Ciências, Engenharias e Medicina dos Estados Unidos criaram um comitê de 15 membros para estudar estratégias que previnam a publicação de estudos não confirmáveis – as conclusões devem ser divulgadas em 2019.

Embora a crise se manifeste de modo aberto em medicina, ciências da vida e psicologia, o documento propõe que as demais áreas investiguem a extensão do problema em suas comunidades. “Quando observamos o conhecimento existente sobre causas da irreprodutibilidade, fica claro que muitas delas estão presentes em todas as disciplinas”, disse à revista *Science* Johan Mackenbach, pesquisador da área de saúde pública do Centro Médico Erasmus, em Roterdã, chefe do painel que organizou o relatório. Ele se refere a causas genéricas apontadas pelo documento, como a pressão para que pesquisadores publiquem novidades ou achados de impacto da forma mais rápida possível, caso contrário ficam em desvantagem na competição por financiamento e oportunidades de trabalho.

O relatório enumera 20 diferentes razões para uma pesquisa chegar a resultados não confirmáveis. A maioria está relacionada a questões metodológicas, como falhas no controle de vieses, conclusões baseadas em amostras restritas ou falta de rigor estatístico na interpretação de dados. Na origem do problema, também há vícios na forma de reportar resultados, como selecionar dados favoráveis à hipótese da pesquisa, omitindo os negativos, ou modificar a proposta original de modo a adaptá-la às conclusões obtidas.

Fraudes são o jeito mais extremo de gerar resultados inválidos, mas também existem ameaças à reprodutibilidade que são parte natural da atividade científica, como falhas humanas, erros técnicos inesperados ou mudanças não detectadas nas condições de

20 causas da irreprodutibilidade

Por que resultados de alguns trabalhos científicos não são confirmados por outros estudos

- ◆ Desenho experimental ineficiente associado a controle de vieses falho
- ◆ Amostras de tamanho insuficiente
- ◆ Problemas em testes estatísticos que geram falsos resultados negativos
- ◆ Erro técnico ou humano na execução do estudo, associado a controle de qualidade ineficaz
- ◆ Fraude ou fabricação de dados
- ◆ Falta de rigor na análise estatística
- ◆ Análise estatística equivocada
- ◆ Falta de conhecimento sobre variáveis que influenciam o resultado
- ◆ Falhas do pesquisador em reproduzir os resultados antes da publicação
- ◆ Omissão de resultados nulos ou análise seletiva que faz os nulos parecerem positivos
- ◆ Não compartilhamento de dados ou de detalhes metodológicos
- ◆ Escolha de variáveis que se adequam aos resultados
- ◆ Formulação de hipótese depois que os resultados são conhecidos
- ◆ Discrepância entre os resultados registrados e os publicados
- ◆ Ausência de revisão por pares adequada
- ◆ Ênfase no incentivo a artigos de alto impacto
- ◆ Recompensas exageradas a resultados de pesquisa tidos como disruptivos
- ◆ Sistemas de financiamento à pesquisa demasiadamente competitivos
- ◆ Falta de recompensa para práticas que favoreçam a replicação de estudos
- ◆ Crença de que o rigor no processo de pesquisa dificulta novas descobertas

FONTE REPLICATION STUDIES – IMPROVING REPRODUCIBILITY IN THE EMPIRICAL SCIENCES, 2018

amostras. Nem todos os estudos não ratificados estão equivocados. Há situações em que não é possível alcançar o resultado obtido porque o autor da pesquisa deixou de informar detalhes do experimento essenciais para sua replicação. Para evitar essas situações, diz o relatório, periódicos e agências de fomento devem exigir que pesquisadores disponibilizem em repositórios públicos seus dados brutos de pesquisa e informações sobre as metodologias que adotaram.

Há propostas de caráter prático para prevenir desvios, como determinar que o pesquisador, ao propor seu projeto, registre antecipadamente e de forma transparente sua hipótese, o protocolo de pesquisa e o plano de análise a serem adotados. Esse tipo de precaução já é exigido por agências de fomento, mas vem sendo aprimorado. Em uma iniciativa articulada pela Royal Society, do Reino Unido, vários periódicos já

publicam sistematicamente os chamados relatórios registrados, um tipo de *paper* que apresenta os métodos e planos de análise de uma pesquisa ainda não iniciada, mas que foram avaliados por pares. Mais tarde, as revistas publicam os resultados obtidos, mesmo que sejam nulos.

O relatório é explícito sobre a importância de divulgar estudos com resultados nulos. Propõe que agências de fomento incentivem os pesquisadores a reportar tais conclusões e as revistas a publicá-las. “Instituições de pesquisa, agências de fomento e periódicos devem oferecer aos pesquisadores incentivos para a condução de estudos rigorosos e a produção de resultados de pesquisa reproduzíveis, em vez de recompensá-los principalmente por publicações de ‘alto impacto’, estudos ‘inovadores’ e afirmações infladas”, afirma o documento. ■

20 causas da irreprodutibilidade

Por que resultados de alguns trabalhos científicos não são confirmados por outros estudos

- ➔ ◆ Desenho experimental ineficiente associado a controle de vieses falho
- ➔ ◆ Amostras de tamanho insuficiente
- ◆ Problemas em testes estatísticos que geram falsos resultados negativos
- ◆ Erro técnico ou humano na execução do estudo, associado a controle de qualidade ineficaz
- ◆ Fraude ou fabricação de dados
- ➔ ◆ Falta de rigor na análise estatística
- ➔ ◆ Análise estatística equivocada
- ◆ Falta de conhecimento sobre variáveis que influenciam o resultado
- ◆ Falhas do pesquisador em reproduzir os resultados antes da publicação
- ◆ Omissão de resultados nulos ou análise seletiva que faz os nulos parecerem positivos
- ◆ Não compartilhamento de dados ou de detalhes metodológicos
- ◆ Escolha de variáveis que se adequam aos resultados
- ◆ Formulação de hipótese depois que os resultados são conhecidos
- ◆ Discrepância entre os resultados registrados e os publicados
- ◆ Ausência de revisão por pares adequada
- ◆ Ênfase no incentivo a artigos de alto impacto
- ◆ Recompensas exageradas a resultados de pesquisa tidos como disruptivos
- ◆ Sistemas de financiamento à pesquisa demasiadamente competitivos
- ◆ Falta de recompensa para práticas que favoreçam a replicação de estudos
- ◆ Crença de que o rigor no processo de pesquisa dificulta novas descobertas

**Leia o artigo da BBC-News (Feb/2019):
Machine learning 'causing science crisis'**

**Leia discussões sobre o uso do valor-p:
Wasserstein, RL; Lazar, NA. (2019) Moving to a World Beyond " $p < 0.05$ ", The American Statistician, 73 (1): 1-19**

Planejamento de Experimentos

- Experimentos na Agricultura - Fisher (1920s): Princípios da experimentação (aleatorização, replicação, blocagem)
- Experimentos Industriais - Box e Wilson (1950s), Box (1999): Modelos de superfície de respostas
- Experimentos para o Controle da Qualidade industrial – Taguchi (1980s): processos robustos, resistentes a variações transmitidas de componentes, Modelos fatoriais fracionais, Gráficos de Controle
- Ensaio Clínicos Controlados e Aleatorizados (90's) - ICH-Guidelines on General Considerations for Clinical Trials: agências reguladoras da Indústria Farmacêutica (ANVISA, no Brasil)
- ...
- Planejamento de Experimentos na área da Genômica (2000): Experimentos em Microarrays (Bioconductor-R); Experimentos em Proteômica (Espectrometria de Massas, MSstats-R, MixOmics), etc.

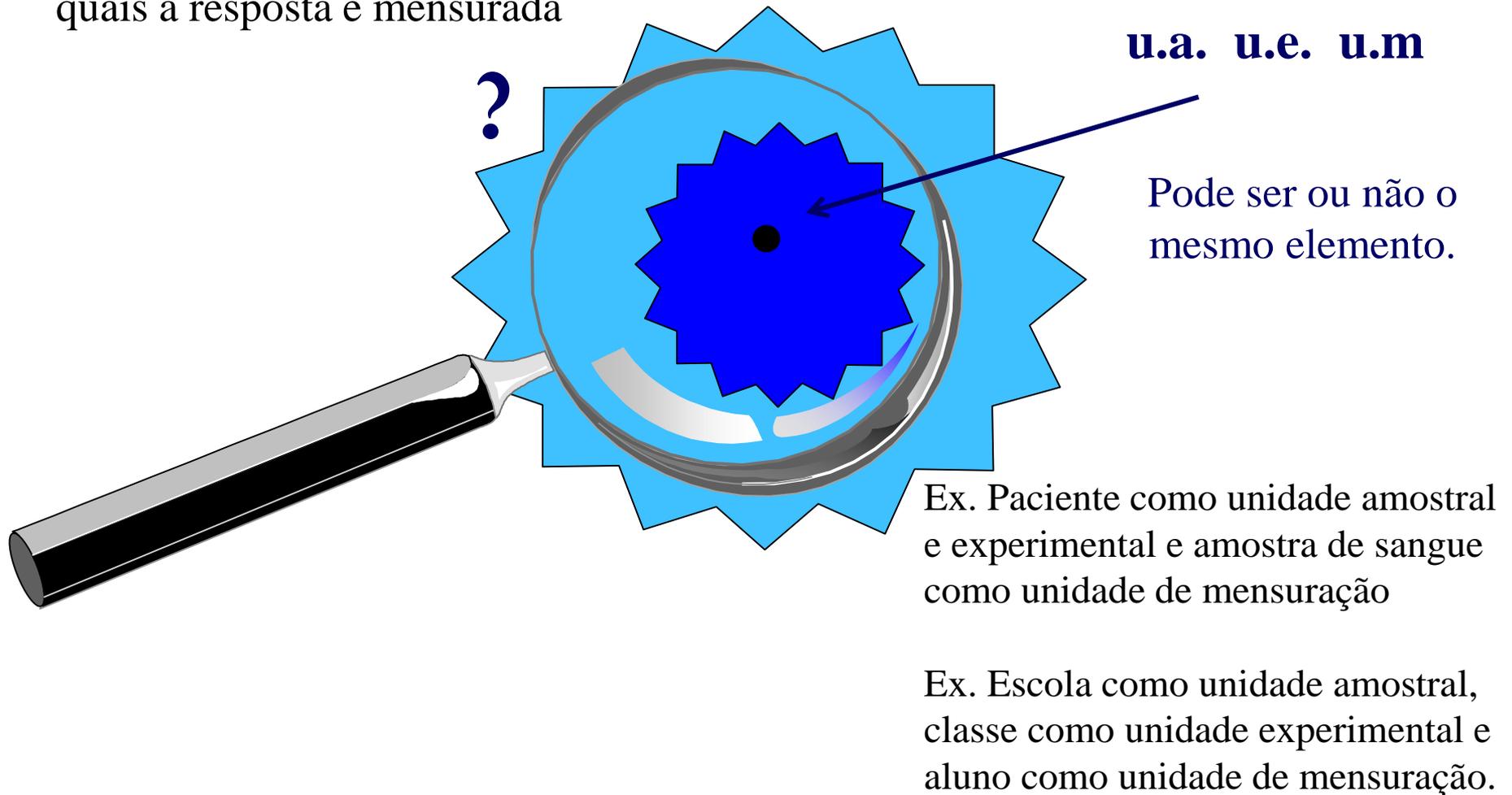
Estruturas do Planejamento de Experimentos

- População Alvo do estudo
 - População de Interesse
 - Plano amostral (unidade amostral)
- Estrutura de Tratamento e Variáveis de Controle
 - Fatores sob estudo e seus níveis
 - Unidade Experimental: aleatorização dos tratamentos às u.e.
 - Blocagem e Covariáveis
- Variável resposta de interesse
 - Unidade de medida (escala da resposta)
 - Réplicas, Replicatas
 - Observações independentes

Unidades Amostrais (u.a.): elementos amostrados aleatoriamente da população de interesse (população alvo ou população disponível para o estudo)

Unidades Experimentais (u.e.): elementos que são aleatorizados para receber um específico tratamento

Unidades de Mensuração ou unidades observacionais (u.m.): elementos nos quais a resposta é mensurada



Aleatorização (ou Randomização)

Por que ALEATORIZAR?

- Gerar grupos comparáveis - com características semelhantes (balanceadas relativamente a fontes de variação desconhecidas)
 - Prevenir viés devido à atribuição subjetiva ou sistemática do tratamento às unidades experimentais
 - Obter inferências (Testes de Hipóteses, Intervalos de Confiança) válidas
- O esquema de aleatorização permite a construção de Distribuições de Referência para as estatísticas de testes (ver, Box, Hunter and Hunter, 1978)

Aleatorização

Unidade Experimental – u.e.: corresponde à menor subdivisão do material experimental de forma que quaisquer duas unidades podem receber tratamentos distintos.

Exemplos: Cada vaso com plantas ou cada planta; Cada pessoa ou cada braço; Cada aquário ou cada peixe; Cada sala de aula ou cada aluno dentro da sala de aula.

Aleatorização: uso de um método físico e objetivo para decidir qual tratamento cada u.e. receberá. Além de eliminar vícios, pode ser a base (a justificativa) da análise estatística (ver, distribuição de Referência e Testes de Aleatorização)

*Aleatorização
Simples*

Há vários métodos de atribuição aleatória (sorteio) de tratamentos às u.e.

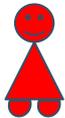
Suponha que $n=2r$ u.e. devem ser particionadas de tal forma a receber os tratamentos A ou B:

1. Sorteie uma unidade experimental dentre as n , atribua A. Sorteie outra unidade experimental, atribua A. Siga assim até a r -ésima unidade. As demais recebem B.
2. Sorteie uma unidade experimental dentre as n , atribua A. Sorteie outra, atribua B. Siga assim, alternadamente até a todas as unidades tenha sido atribuído um tratamento.
3. Permute aleatoriamente a sequência de unidades experimentais. Atribua A para as r primeiras e B para as demais.

Métodos de Aleatorização

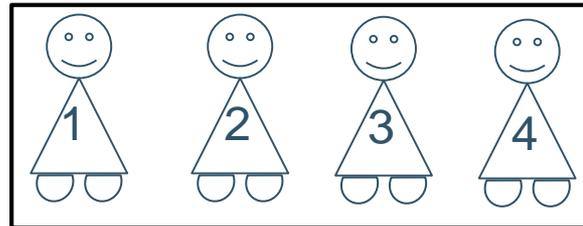
- ✓ Aleatorização simples (aleatorização completa, irrestrita)
- Blocos permutados (aleatorização restrita, realizada dentro de blocos que contêm observações homogêneas)
- Estratificada (aleatorização restrita, realizada dentro de todos os estratos sob estudo)
- Adaptativa

Tratamentos

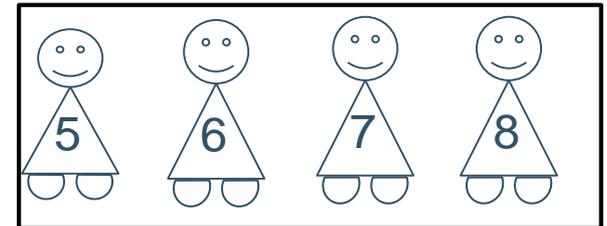


Ativo Controle

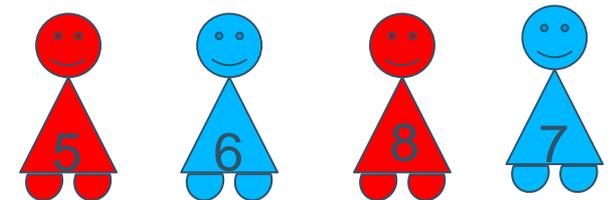
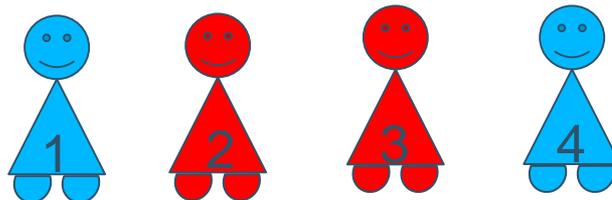
Aleatorização em Blocos de tamanho 4



Randomização no Bloco 1

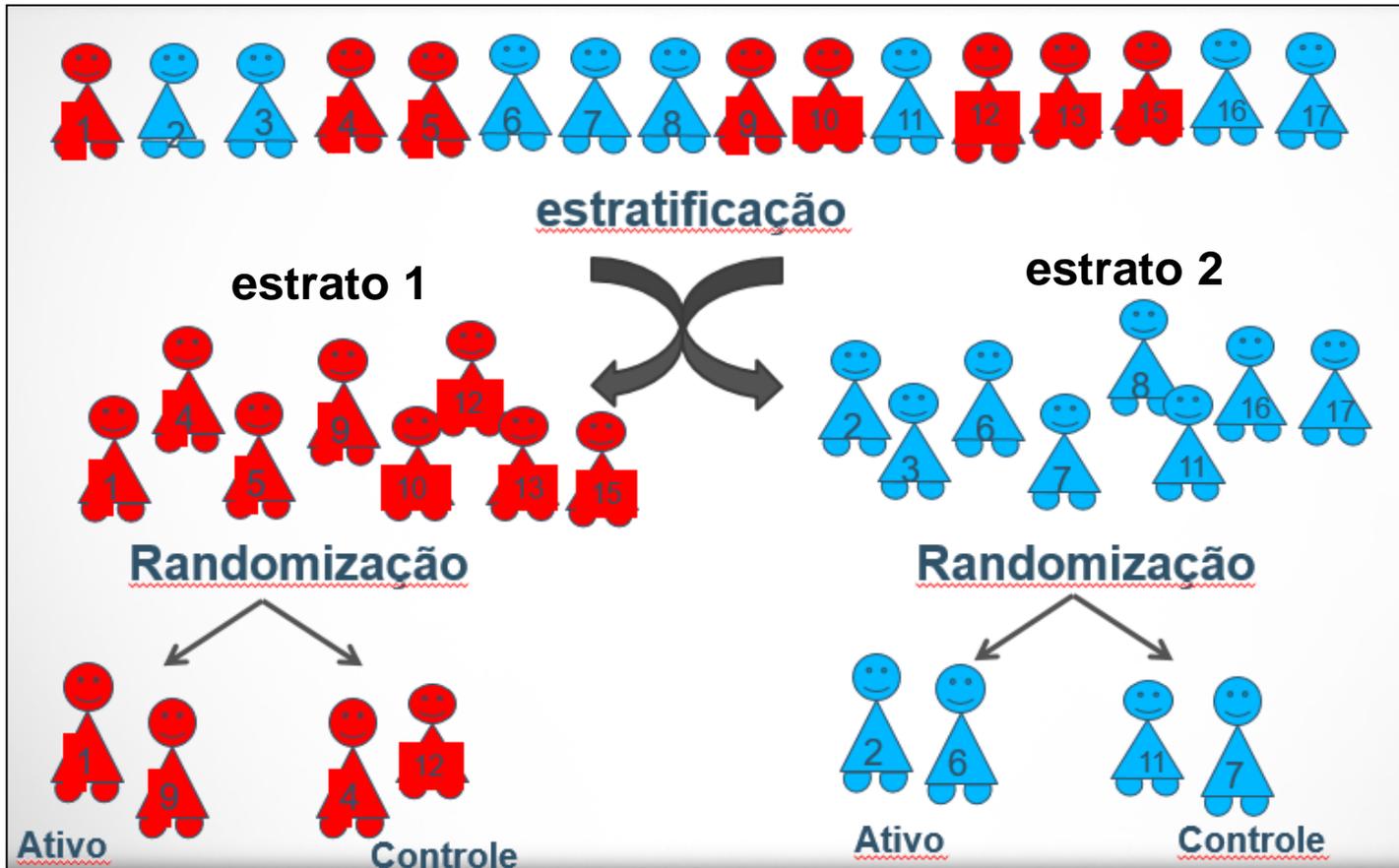


Randomização no Bloco 2



Métodos de Aleatorização

População Estratificada (para uma fonte de variação conhecida)



-A aleatorização deve ser restrita a todos os estratos

Definir as var. de estratificação (que influenciam a resposta Y)

Agrupar as u.e. em estratos

Randomizar os tratamentos dentro dos estratos

Métodos de Aleatorização

- ✓ Aleatorização simples (completa)
- ✓ Aleatorização em Blocos permutados
- ✓ Aleatorização em Estratos

No momento da aleatorização todas as unidades experimentais têm a mesma chance de receber qualquer dos tratamentos

- Aleatorização Adaptativa

Processo no qual a probabilidade de atribuição de tratamento às unidades experimentais NÃO é constante. A probabilidade varia a cada unidade randomizada conforme o balanceamento de covariáveis ou resultado do estudo.

Delineamento Completamente Aleatorizado - DCA

T₁	T₂	...	T_k	← Tratamento: 1 Fator (fixo) em k níveis
Y₁₁	Y₁₂	...	Y_{1k}	“aleatorização (sem restrição) de n unidades amostrais a k tratamentos”
Y₂₁	Y₂₂	...	Y_{2k}	
...	...	Y_{ij}	...	
Y_{n1}	Y_{n2}	...	Y_{nk}	
n₁	n₂	...	n_k	← n _j replicações no tratamento j $n = \sum_j n_j$

Exemplo

Dados: Medidas de clorofila a

T1	T2	T3	T4
6,2	12,7	7,0	8,3
4,8	11,3	4,4	7,1
3,0	9,3	3,8	11,7
5,6	9,5	5,0	10,0
7,1	11,7	5,5	8,5
4,8	15,3	3,2	12,4

Planejamento do experimento:
Aleatorização simples ou completa

Como realizar a atribuição completamente aleatória dos 4 tratamentos às 24 unidades experimentais (amostras de água)?

O delineamento é balanceado?

Quantas réplicas?

Qual é a variável resposta?

Quais são as fontes de variação?

Delimitamento Aleatorizado em Blocos Completos - DABC

<i>Estrato</i>	Tratamentos				
Bloco	T₁	T₂	...	T_k	Tratamento: fator de interesse (1 fator em k níveis)
B₁	Y₁₁	Y₁₂	...	Y_{1k}	<i>Bloco: fator de controle de fontes de variação conhecidas</i>
B₂	Y₂₁	Y₂₂	...	Y_{2k}	Blocos completos: aleatorização restrita de k unidades amostrais a k tratamentos
...	...	Y_{ij}	
B_r	Y_{n1}	Y_{n2}	...	Y_{nk}	(aleatorização é realizada dentro dos blocos)
	r	r	...	r	r replicações em cada tratamento

Delineamento Completamente Aleatorizado

Delineamento Aleatorizado em Blocos Completos

DCA

T1	T2	...	Tk
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n1	n2	...	nk

Aleatorização irrestrita das n unidades experimentais aos k Tratamentos

$$n = \sum_j n_j$$

DABC

	T1	T2	...	Tk
B1
B2
...
Br
	r	r	...	r

Aleatorização restrita de k unidades experimentais dentro de cada bloco

$$n = rk$$

Exemplo

Dados: Medidas de clorofila a de acordo com o ponto de coleta (coluna de água do rio)

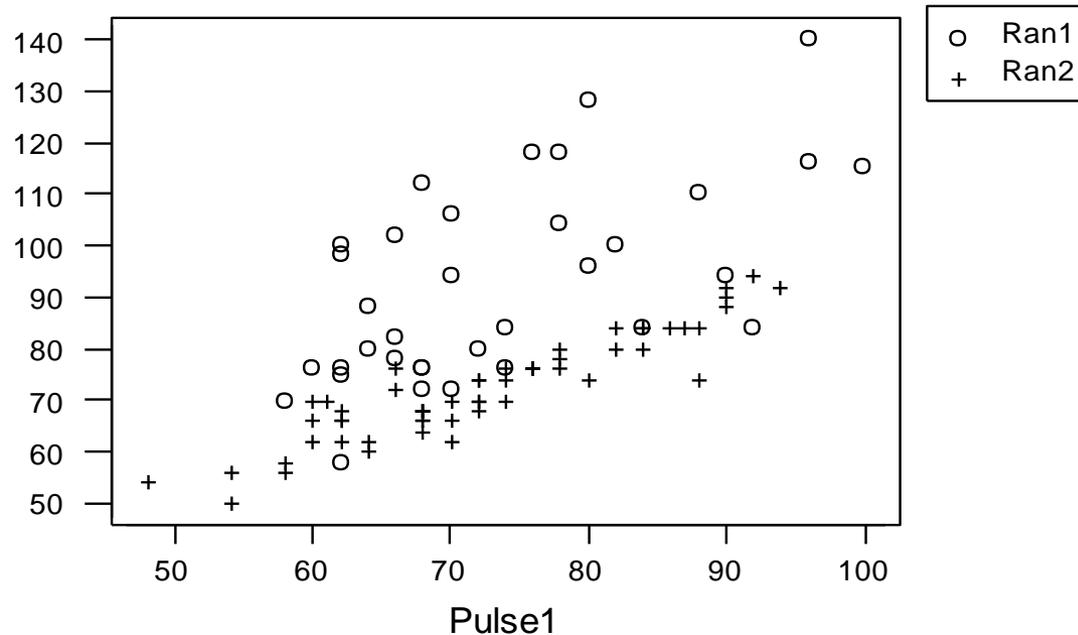
Blocos: amostras de água de cada ponto de coleta particionadas em 4 garrafas

Bloco	T1	T2	T	T4	DABC
B1	6,2	12,7	7,0	8,3	Como realizar o esquema de aleatorização?
B2	4,8	11,3	4,4	7,1	Por que usar bloco?
B3	3,0	9,3	3,8	11,7	Quem são as unidades amostrais, experimentais e de mensuração?
B4	5,6	9,5	5,0	10,0	É balanceado? Quantas réplicas?
B5	7,1	11,7	5,5	8,5	Qual é a variável resposta?
B6	4,8	15,3	3,2	12,4	Quais são as fontes de variação?

Delineamentos com Covariáveis

Efeito de Tratamento Ajustado por Covariáveis

Motivação: Arquivo Pulse - Verificar se há efeito da corrida na Pulsação dos estudantes (Pulse 2). Ajustar os dados de Pulse 2 pela Pulsação Inicial dos estudantes antes de serem submetidos à corrida (Pulse 1).



Delineamentos com Covariáveis: usados para melhorar a precisão de um experimento. A covariável é uma fonte de variação conhecida que não foi bloqueada, mas que foi observada e pode ser controlada na análise (via ajustes por covariância).

Delineamento Fatorial

Na estrutura de
Tratamentos

A ₁				A ₂				...				A _a			
B ₁	B ₂	...	B _b	B ₁	B ₂	...	B _b	...	B ₁	B ₂	...	B _b			
-		-													
-		-		Y _{ijk}											
-		-													

- Estrutura de Tratamento \Rightarrow 2 ou + Fatores Cruzados (Fatorial $a \times b$, 2×3 , $2 \times 3 \times 4$, 2^3)
- Replicações em cada combinação dos níveis dos fatores (balanceados ou não balanceados)
- Nos delineamentos fatoriais a atribuição dos tratamentos às unidades experimentais pode ser feita, por exemplo, de forma COMPLETAMENTE ALEATORIZADA (DCA) ou ALEATORIZADA EM BLOCOS COMPLETOS (DABC)!

Exemplo

Dados: Medidas de clorofila a.
Delineamento Fatorial 2x2 (2²)

T1	T2	T3	T4
30%		100%	
SN	N	SN	N
6,2	12,7	7,0	8,3
4,8	11,3	4,4	7,1
3,0	9,3	3,8	11,7
5,6	9,5	5,0	10,0
7,1	11,7	5,5	8,5
4,8	15,3	3,2	12,4

Estrutura dos tratamentos

← **Fator Luminosidade (dois níveis)**

← **Fator Nutrientes (em dois níveis)**

Estrutura das u.e.

Uso de um esquema de atribuição completamente aleatória dos 4 tratamentos às 24 amostras de água (DCA)

Mas poderíamos planejar um esquema de aleatorização restrita a blocos (DABC) (discutir exemplos)

Arquivo EXH.AOV

<i>u.e.</i>	<i>resposta</i>	<i>Fator 1 em 3 níveis</i>	<i>Fator 2 em 3 níveis</i>
Row	LightOutput	Temperature	GlassType
1	580	100	1
2	1090	125	1
3	1392	150	1
4	568	100	1
5	1087	125	1
...
23	1053	125	3
24	904	150	3
25	599	100	3
26	1066	125	3
27	889	150	3

Fatorial 3x3 (3²)

Dois fatores, cada um em três níveis

3 Réplicas em cada combinação de tratamentos

**Resposta:
Quantidade de luz emitida**

Delimitamento Fatorial Hierárquico

Na estrutura de Tratamentos

Motivação: Há interesse em verificar se o desempenho dos alunos depende do tipo de Escola (A1, A2 e A3) e do Método de Ensino utilizado por elas (B1 a B6).

A1		A2		A3	
B1	B2	B3	B4	B5	B6
20	19	14	12	13	9
18	20	18	12	16	4
14	20	14	9	13	4



Os níveis do fator Método de Ensino são hierárquicos (estão aninhados, embutidos) dentro do fator Escola.

Delineamento Quadrado Latino

Na estrutura de Blocos

Delineamentos com mais do que uma variável Bloco (estrato, variável de controle)

Quadrado Latino 5x5

A	B	C	D	E
C	D	E	A	B
E	A	B	C	D
B	C	D	E	A
D	E	A	B	C

Controle da variação devido a gradientes nas duas direções (horizontal e vertical).

Efeito de fertilizantes (A, B, C, D e E) na produção de batatas. A área de plantação é subdividida em uma matriz 5x5. Cada linha e cada coluna recebe todos os tratamentos exatamente uma vez (balanceado)

Quadrado Latino 4x4

I	A	B	D	C
II	D	C	A	B
III	B	D	C	A
IV	C	A	B	D
	1	2	3	4

carro

Controle da variação entre carros e entre motoristas.

Efeito do tipo de combustível (A, B, C e D) na emissão de poluentes.

Delineamento Split-Plot

A partição (split) é nas Unidades Experimentais

Split-split-plot

Tecido	MP	Técnica 1					Técnica 2				
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
T1	Gel										
	Sol										
	Filt										
	Pip										
T2	Gel										
	Sol										
	Filt										
	Pip										
T3	Gel										
	Sol										
	Filt										
	Pip										
T4	Gel										
	Sol										
	Filt										
	Pip										

Quantificação de proteínas em Tecidos Tumoriais de acordo com o Método de Preparação (MP) das amostras e Técnica de leitura

Estrutura das Unidades Experimentais:

- Cada amostra de tecido é particionada (split) em 4 pedaços que são aleatorizados aos MP
- Cada solução preparada é particionada (split) em 10 alíquotas, metade das quais é aleatorizada às Técnicas 1 ou 2.

Estrutura de Tratamentos:

Dois fatores (Método de Preparação e Técnica) cruzados (Fatorial 2x4) hierárquicos dentro de Tecido.

Quais são as unidades amostrais, experimentais e de mensuração? Há possível dependência entre observações dentro do mesmo tecido? E entre as replicas dentro de tecido e do mesmo MP?

Delineamentos com Efeitos Aleatórios

Concentração de um nutriente em Refrigerantes comercializados no Brasil

Garr.	M1	M2	M3	M4	M5
1	26	23	25	28	30
2	28	20	28	27	32
3	25	24	24	29	28
4	29	22	27	31	31

Resposta (var. dependente): Concentração de um nutriente

Fator sob estudo: Refrigerantes comercializados no Brasil (amostra de 5 marcas dentre todas as existentes).

Réplicas: De cada Marca foram avaliadas 4 garrafas (possível dependência entre as mensurações da mesma marca)



Fator que define a estrutura de tratamento é “Aleatório” (não é fixo) \Rightarrow amostra aleatória de 5 Marcas da população de interesse

Delimitações com Medidas Repetidas

Há interesse em estudar o efeito de três diferentes dietas infantis (Nutrição 1, 2 e 3) no crescimento do recém-nascido (RN). 30 recém-nascidos foram aleatorizados às três dietas. O peso do RN foi avaliado na semana 1, semana 4, aos 2 meses e 6 meses de idade.

RN	Dieta <i>Infantil</i>	Semana 1	Semana 4	2 meses	6 meses
1	Nutrição 1				
...	...				
10	Nutrição 1				
11	Nutrição 2				
...	...				
20	Nutrição 2				
21	Nutrição 3				
...	...				
30	Nutrição 3				

perfil das medidas repetidas (no tempo) em cada RN

Planejamento de Experimentos

Para discussão:

Suponha que um pesquisador vem até você buscar orientação sobre como planejar um experimento.

1. Ele aplicará 5 tratamentos em animais de laboratório para verificar a eficácia dos mesmos na cura de uma infecção. Considere os seguintes protocolos experimentais:

I: 45 animais, vindos do mesmo biotério, serão usados no estudo.

II: 45 animais, vindos de biotérios diferentes, serão usados no estudo.

Em cada caso recomende como o estudo deve ser planejado. Indique o nome do delineamento, a estrutura de tratamento, o tipo de aleatorização, a constituição das réplicas.

Planejamento de Experimentos

Para discussão:

Suponha que um pesquisador vem até você buscar orientação sobre como planejar um experimento.

Ele deseja comparar 5 tratamentos (A, B, C, D e E) cujo efeito será avaliado em amostras de sangue dos indivíduos. Contudo a resposta a ser avaliada nas amostras de sangue será mensurada por um aparelho, o qual dispõe de entradas às amostras de acordo com a seguinte matriz (que posiciona as amostras de sangue no aparelho):

A1	A2	A3	A4	A5
A6	A7	A8	A9	A10
A11	A12	A13	A14	A15
A16	A17	A18	A19	A20
A21	A22	A23	A24	A25

Como o estudo pode ser planejado se, devido a custos, o número máximo de réplicas por tratamento for 5. E se for 10? Como estão definidas as unidades amostrais, experimentais e de mensuração?

Pesquise a Pesquisa

Desconfie e seja crítico com:

*Garantir
reprodutibilidade
na pesquisa!*

- Resultados que não podem ser explicados por fatos
- Resultados que destoam de resultados de outras pesquisas
- Variações muito grandes entre períodos amostrais curtos
- Procure interpretar (factualmente) um efeito significativo de tratamento. Procure entender por que um efeito de tratamento não foi significativo (variabilidade residual muito alta, tamanho amostral insuficiente?)
- Discuta a significância estatística e a significância biológica de resultados
- ...

Pesquise a Pesquisa

Questione, entenda, desconfie e seja crítico com:

- Objetivo do estudo
- Plano amostral usado na coleta dos dados. Qual é a população alvo?
 - Como foi feita a aleatorização das u.e. aos tratamentos?
 - Como estão definidas as estruturas do planejamento?
- Pressupostos do modelo usado para ajustar os dados são válidos?

Independência das observações entre e dentro de grupos é válida?

Efeito do tratamento pode ser definido em termos de diferenças entre medias?

Variância da resposta constante entre os tratamentos?

Para modelar entenda a distribuição dos dados!

...