

SME0816 - Planejamento de Experimentos I

Introdução e Motivação - Parte 1

Profa. Cibele Russo

(Referências: Montgomery (2012), Notas de aula de Roseli Leandro;
Clarice Demétrio; Marinho Andrade)

Principais objetivos do curso

Apresentar técnicas específicas de planejamento de experimentos com aplicações em indústria, finanças, medicina e outros.

Materiais do curso e cronograma

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=116862>

Critério de avaliação

A avaliação será composta por **questionários no e-disciplinas** e **duas avaliações escritas**.

O critério de avaliação será:

$$MF = 0,3MQ + 0,3P_1 + 0,4P_2$$

em que

- MQ : Média dos questionários
- P_1 : Avaliação 1
- P_2 : Avaliação 2

Datas das provas

- P1: 22/04/2024
- P2: 24/06/2024
- Sub: 01/07/2024 (recuperação de aprendizado)

Critério de Recuperação (REC)

O aluno poderá fazer a prova REC se, e somente se,

$$3 \leq \{ MF \} < 5$$

Nota da REC: NR

Nova média após a REC: MFinal

$$M_{\text{Final}} = \begin{cases} 5, & \text{se } 5 \leq NR \leq (10 - MF); \text{ ou} \\ (MF + NR)/2 & \text{se } NR > (10 - MF); \text{ ou} \\ MF & \text{se } NR < 5 \end{cases}$$

Motivação

Deseja-se avaliar o **efeito de diferentes tipos de irrigação** para a produção de um determinado vegetal. Alguns métodos: irrigação por superfície, aspersão, localizada.

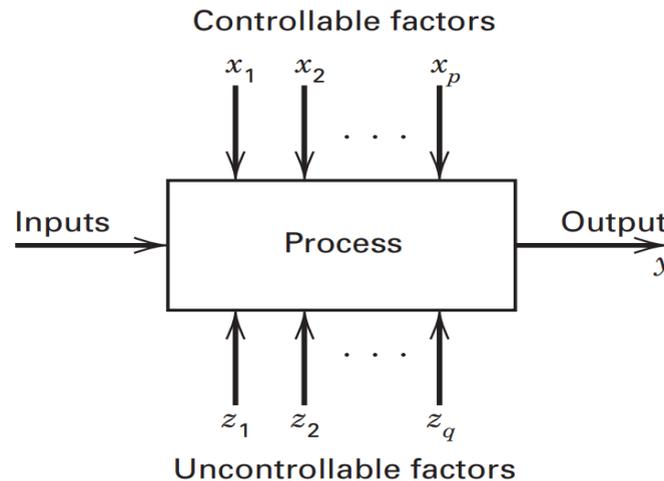


Irrigação por aspersão: estação de bombeamento, uma ou mais linhas principais, linhas laterais ou ramais, aspersores e acessórios da rede hidráulica. Fonte: <https://agronline.com.br/porta1/wp-content/uploads/2021/10/Irrigacao-por-Aspersao-min.jpg>

Perguntas que queremos responder

- Como planejar um experimento para avaliar diferentes tipos de irrigação na produção de um determinado vegetal?
 - Como dividir um terreno para avaliar os diferentes métodos de irrigação?
 - Qual a variável resposta deste experimento? Qual a sua distribuição? Quais as possíveis preditoras? Como coletar os resultados de forma que sejam comparáveis?
 - Que técnicas estatísticas podemos ou devemos utilizar para avaliar os resultados deste experimento?
- Planejamento e Análise de Experimentos

Processo



Fonte: Montgomery (2012).

Sejam

- y : variável resposta ou variável dependente
- x_1, \dots, x_p variáveis explicativas, covariáveis, variáveis independentes, preditoras, fatores **controláveis**
- z_1, \dots, z_q variáveis explicativas, covariáveis, variáveis independentes, preditoras, fatores **não-controláveis**

De forma mais geral, queremos

- Determinar quais variáveis são as mais influentes em uma variável resposta y
- Determinar como configurar as covariáveis x de forma que a y fique mais próxima do valor nominal desejado
- Determinar como configurar as variáveis explicativas x para minimizar a variabilidade da resposta y
- Determinar como configurar as variáveis explicativas x de tal forma que o efeito das variáveis não controláveis z seja minimizado

Exemplo: Extrusora

No processo de extrusão de mangueira na indústria automobilística, a medida do diâmetro do tubo (característica da qualidade) é medida, juntamente com covariáveis:

- Temperatura da máquina
- Pressão da extrusora
- Temperatura ambiente, outras..

Deseja-se compreender quais covariáveis influenciam na variabilidade do diâmetro do tubo.

Essas características possuem interação?



Exemplo: Extrusora



Fonte: <https://www.bonfanti.com.br/borracha/borracha-maquinas/extrusora-de-borracha/>.

- É possível planejar um experimento para avaliar as questões levantadas?
- E se os dados já tiverem sido coletados? É possível se beneficiar de modelos de planejamento de experimentos para responder aos questionamentos feitos? Quais os prejuízos potenciais para essa condução das análises?

Programa da disciplina

- Comparações simples.
- Análise de Variância (um e dois fatores).
- Métodos de comparações múltiplas.
- Componentes de Variância.
- Planejamentos fatoriais.
- Planejamentos fatoriais em blocos.
- Planejamentos fatoriais fracionários.

Condução do curso

Frequência

- Registrada, em geral, na lista de presença em papel

Comunicação

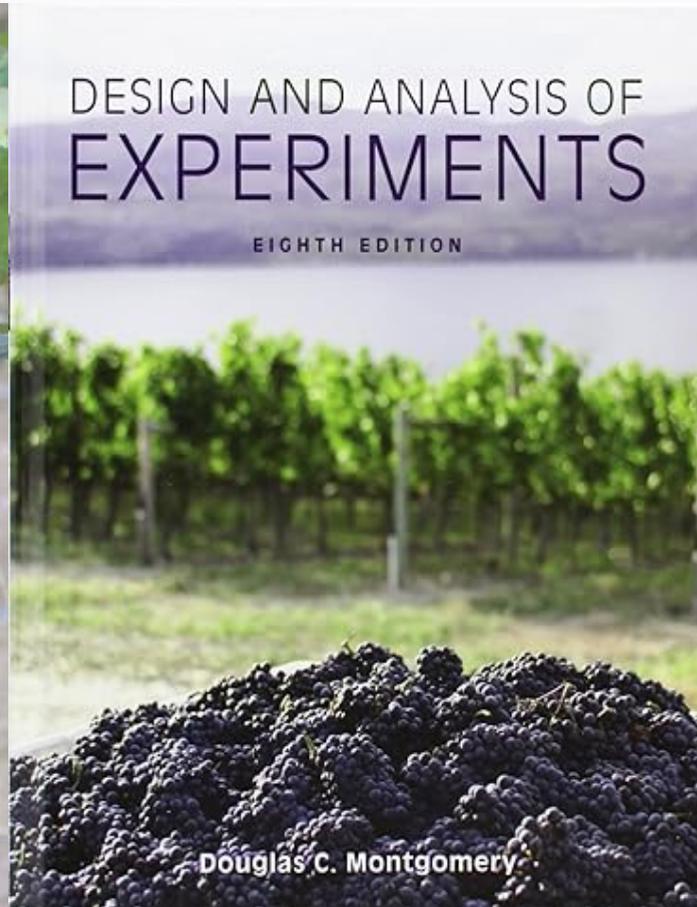
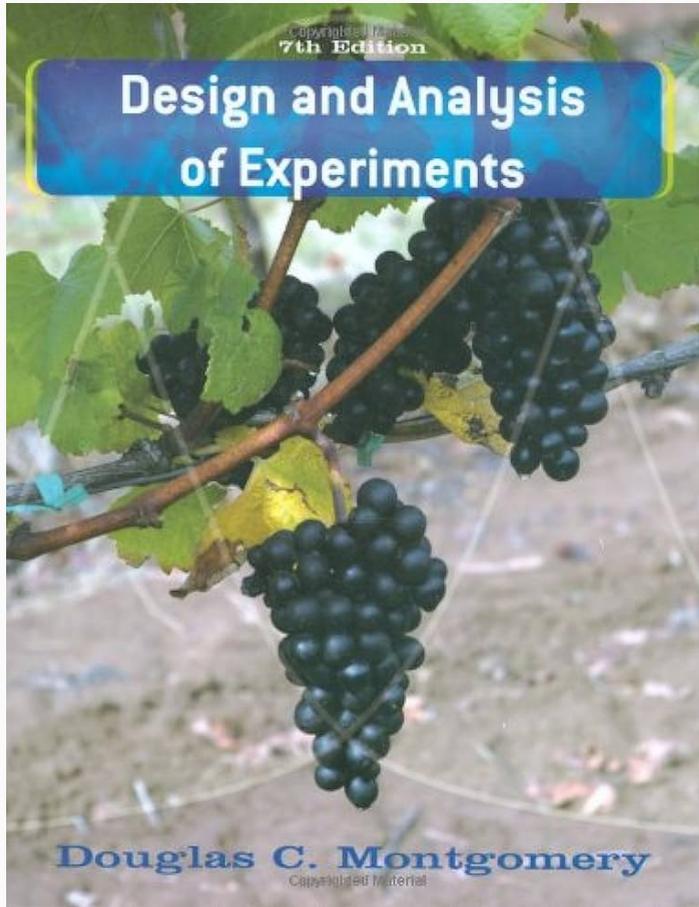
- Comunicação oficial via e-disciplinas ou e-mail cibele@icmc.usp.br. Sempre que enviar e-mail, use o código SME0816 no assunto da mensagem.

Horários

- Aulas:
 - segundas-feiras às 19h na sala 3-009
 - terças-feiras às 21h na sala 5-101
- Atendimento docente:
 - Mediante agendamento por e-mail

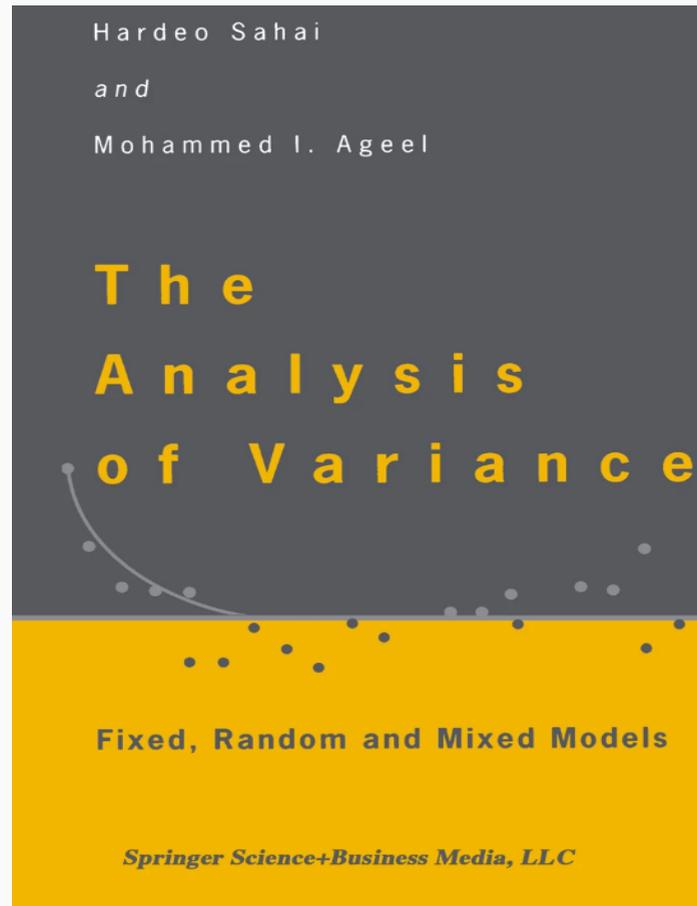
Bibliografia principal

- MONTGOMERY, D.C. Design and Analysis of Experiments, John Wiley (2012).



Bibliografia principal

- SAHAI, Hardeo; AGEEL, Mohammed I. The analysis of variance: fixed, random and mixed models. Springer Science & Business Media (2012).



Introdução

Planejamento de Experimentos

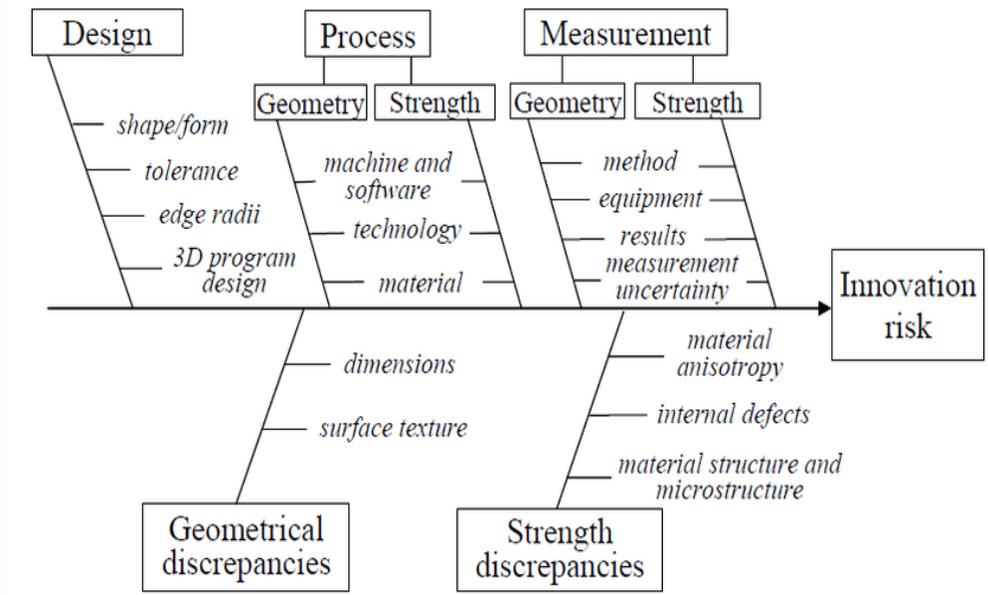
- Planejamento de Experimentos designa toda uma área de estudos que desenvolve técnicas de planejamento e análise dos dados obtidos.
- É uma técnica utilizada para se **planejar experimentos**, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado teste, buscando:
- maior precisão estatística possível na resposta e com o menor custo.
- aperfeiçoar a produção, **eleva o nível de qualidade** e **reduzir perdas**.
- Há atualmente todo um arsenal de técnicas, com vários níveis de sofisticação e literatura sobre o assunto.

Utilização

Na indústria

- Dentro da indústria, em especial no **desenvolvimento de produto**, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente.
- Experimentos são empregados para **resolver problemas de fabricação**, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc.
- Além disso esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida que se intensifica a **base tecnológica dos produtos** e as exigências governamentais e de clientes, aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto.
- É, portanto, uma **técnica de extrema importância para a indústria**, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis economizando **dinheiro e tempo**, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada.

Utilização: na indústria



The Ishikawa diagram-the causes and effects. Fonte: An Analysis Of Tensile Test Results to Assess the Innovation Risk for an Additive Manufacturing Technology - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/The-Ishikawa-diagram-the-causes-and-effects_fig3_274296605 [accessed 24 Feb, 2024]

Utilização

Na agricultura

- importante para o melhoramento animal e vegetal;
- controle de pragas, etc

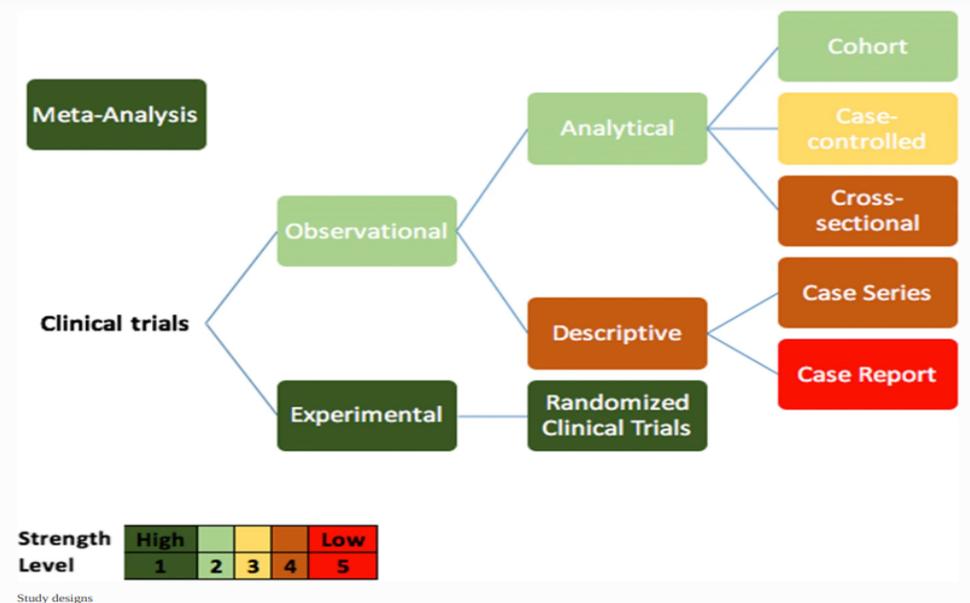


Fonte: <https://www.sare.org/publications/how-to-conduct-research-on-your-farm-or-ranch/basics-of-experimental-design/>

Utilização

Na medicina

- importante para determinação de tratamentos
- doses de medicamentos mais eficientes, etc.



Fonte: Zamzam, S.M., Abdel-Aziz, M., Atef, A. et al. Study designs and research methodology in the field of otolaryngology. Egypt J Otolaryngol 38, 69 (2022). [https://doi.org/10.1186/s43163-](https://doi.org/10.1186/s43163-022-00264-4)

Utilização

Na academia

- Importante no campo da ciência e engenharia de forma geral.
- É, portanto, uma técnica de extrema importância pois seu emprego permite **resultados mais confiáveis economizando dinheiro e tempo**, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada.
- A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, onde uma **maior qualidade** dos resultados dos testes pode levar a um **projeto com desempenho superior**, seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez (melhor desempenho com o menor custo).
- deve ficar claro que **esta ferramenta não substitui o conhecimento técnico do especialista** da área sobre o assunto
- e nem mesmo trata-se de uma **receita de bolo** de como realizar um planejamento.
- O **domínio do problema** é de fundamental importância.

Utilização: na academia

- O **conhecimento do especialista** sobre o problema conjugado com a técnica (o auxílio de especialistas em planejamentos de experimentos) é que irá permitir bons planejamentos de experimentos.
- **planejamentos mais rápidos** (menos pontos), de menor custo e que possibilitem aos seus idealizadores responderem, baseado em inferência estatística, **a resposta a seus problemas**.
- as principais técnicas de planejamento de experimentos já existem e poderiam estar sendo sistematicamente aplicadas na indústria há muitos anos.
- É fundamental o emprego dos **recursos computacionais**.
- Ferramentas computacionais de análise estatística e soluções corporativas que cada vez mais facilitam a realização das análises e manutenção e gerenciamento de dados.
- A tendência é que técnicas tornem-se cada vez mais próximas de aplicações práticas e, portanto, cada vez mais utilizadas.

Algumas empresas

- Klabin *S/A* é uma empresa brasileira, maior produtora e exportadora de papéis do país, com foco na produção de celulose, papéis e cartões para embalagens, embalagens de papelão ondulado e sacos industriais, além de comercializar madeira em toras.
- Votorantim *S. A.* possui um portfólio com operações em setores estratégicos da economia -- cimento, metais e mineração, siderurgia, energia, suco de laranja e financeiro
- AGroceres (melhoramento de sementes e aves)
- EMBRAPA é responsável por planejar, supervisionar, coordenar e controlar as atividades relacionadas à execução de pesquisa agropecuária e à formulação de políticas agrícolas. Possui, hoje, 42 Centros de Pesquisa e 7 Unidades Administrativas, que estão distribuídos em todas as regiões do Brasil e também em outros países. { <https://www.embrapa.br/embrapa-no-brasil> }
- Indústrias farmacêuticas: { <https://guiadafarmacia.com.br/industrias/> }
- dentre outras

Etapas para o DAE

DAE: Design and Analysis of Experiments

Coleman & Montgomery (1993) propõem as seguintes etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos na Indústria:

- Caracterização do problema
- Seleção das variáveis resposta
- Escolha dos fatores de influência e níveis
- Escolha do delineamento experimental
- Condução do experimento
- Análise dos dados
- Conclusões e recomendações

Software

R

- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Python:

- pyDOE: The experimental design package for python <https://pythonhosted.org/pyDOE/>

Importante!

É importante neste ponto considerar a **maneira como os dados experimentais foram coletados**, pois isso influencia muito a escolha da técnica adequada para análise de dados.

Se um experimento tiver sido adequadamente desenhado ou planejado, **os dados terão sido coletados da maneira mais eficiente** para o problema que está sendo considerado.

O **desenho experimental** é a sequência de passos inicialmente dados para garantir que os dados serão obtidos de tal forma que a análise conduza imediatamente a inferências estatísticas válidas.

O objetivo de projetar estatisticamente um experimento é coletar a quantidade máxima de informações úteis com um gasto mínimo de tempo e recursos.

É importante lembrar que o **desenho do experimento** deve ser o mais simples possível e consistente com os objetivos e requisitos do problema.

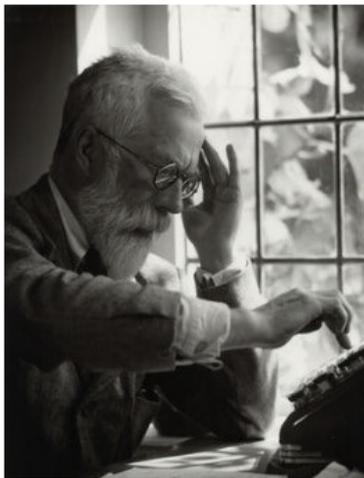
Lembre-se que a aquisição de conhecimento é: complexa, demorada, custosa e sequencial.

- Qualquer problema no planejamento e/ou na condução do experimento podem inviabilizar as conclusões e recomendações.
- É muito importante a interação entre experimentador (pesquisador) e estatístico.
- **Solicitar auxílio de um estatístico somente na etapa da análise de dados pode ser trágico.**
- O experimentador poderá ter consciência nesse momento da causa mortis do experimento, além de ter perdido tempo e dinheiro com o experimento.

Planejamento de Experimentos

Uma das disciplinas mais importantes do curso

Pesquisadores



Fisher

Taguchi

Box

