

SME0816 - Planejamento de Experimentos I

Introdução e Motivação - Parte 2

Profa. Cibele Russo

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

Quatro eras na história do DOE

Fonte: <https://online.stat.psu.edu/stat503/lesson/1/1.1>

- As origens da agricultura, 1918 - 1940s R. A. Fisher & co-autores
 - Impacto profundo na ciência agrícola
 - Factorial designs, ANOVA
- A primeira era industrial, 1951 - 1970s
 - Box & Wilson, superfícies de resposta
 - Aplicações nas indústrias química e de processos de manufatura

Quatro eras na história do DOE

Fonte: <https://online.stat.psu.edu/stat503/lesson/1/1.1>

- A segunda era industrial, fim 1970s - 1990
 - Iniciativas de melhoria da qualidade em muitas empresas - CQI (Continuous Quality Improvement) e TQM (Total Quality Management) - melhoria contínua da qualidade e gestão da qualidade total - foram ideias importantes e se tornaram metas de gestão
 - Taguchi e design robusto de parâmetros, robustez do processo
- A era moderna, começando por volta de 1990, quando a competitividade econômica e a globalização estão a levar todos os sectores da economia a serem mais competitivos.

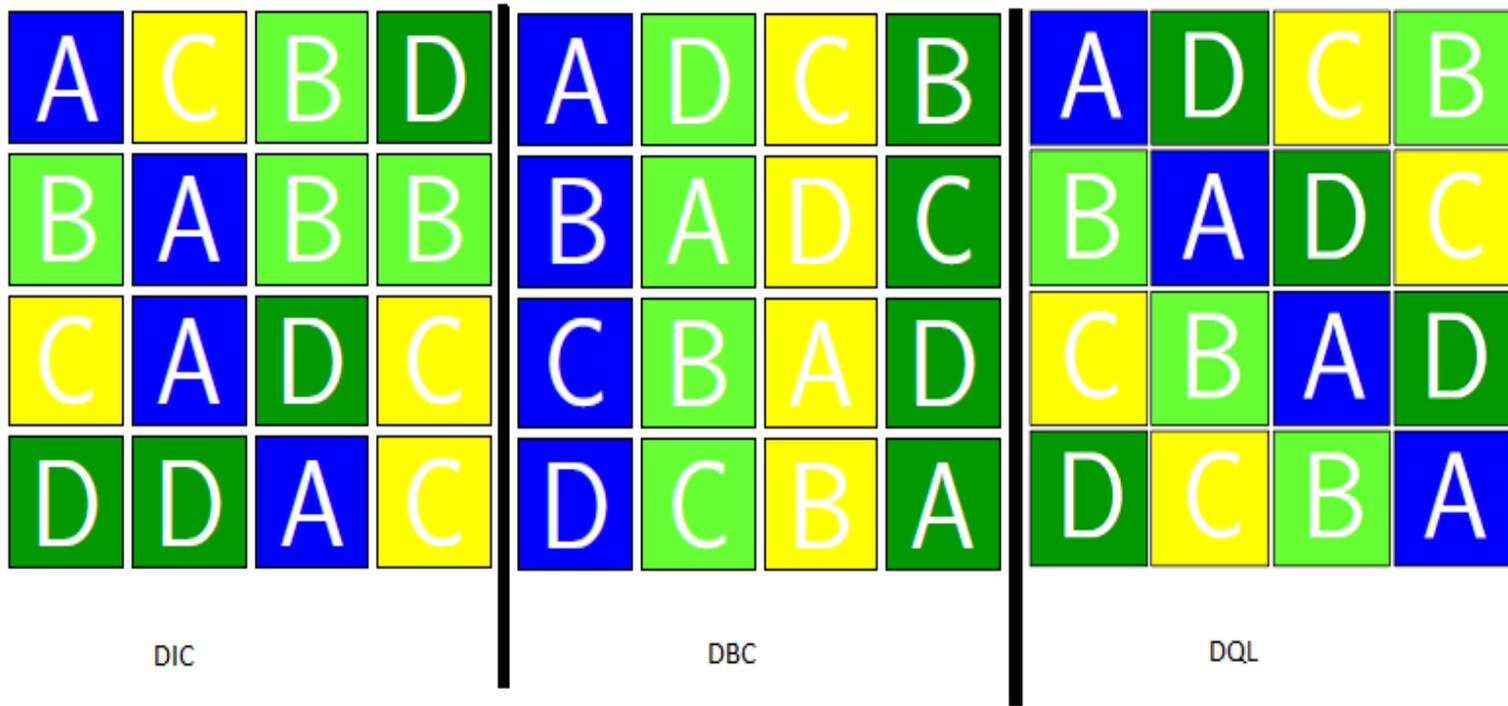
R. A. Fisher



From the left: unknown, W.G. Cochran, unknown, C.R. Rao, Irvin, G. Rasch, S.C. Pearce, R.A. Fisher, visiting the Campinas Agronomic Institute, 1955.

(Fonte: C.G.B. Demétrio)

Delineamentos experimentais



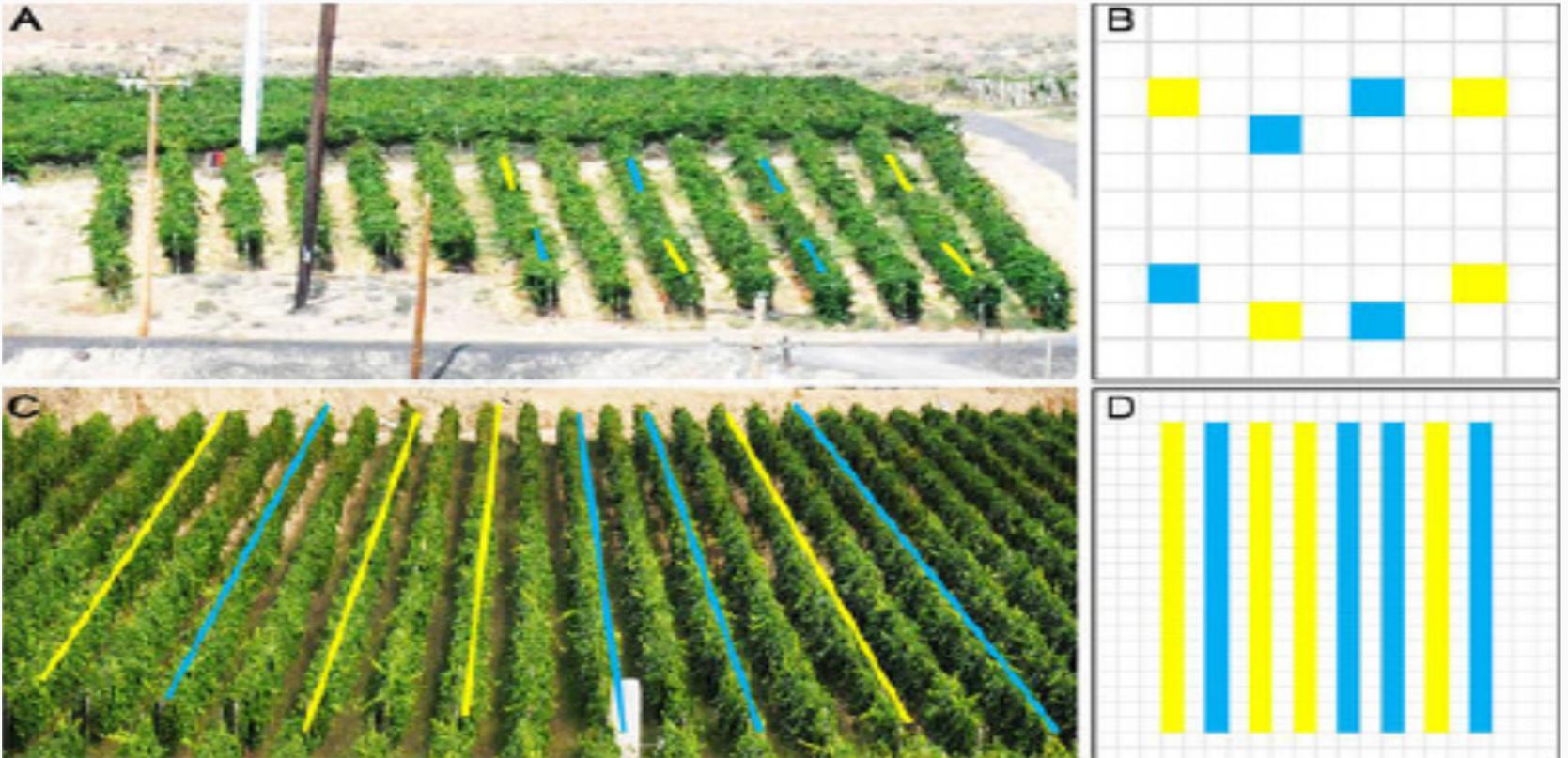
DIC: Delineamento Inteiramente Casualizado

DBC: Delineamento Blocos Casualizados

DQL: Delineamento Quadrado Latino

DIC

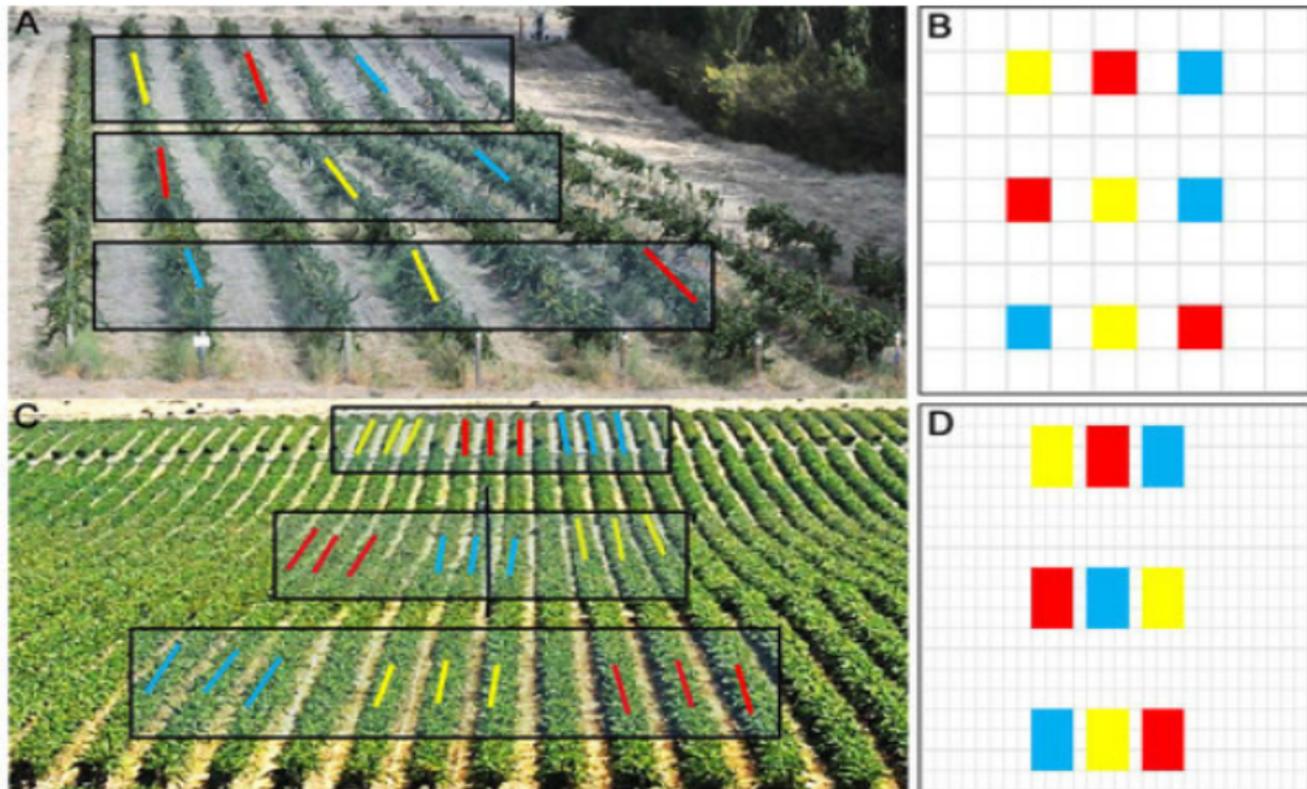
Delimitamentos inteiramente casualizados



(Fonte: C.G.B. Demétrio)

Delimitações em blocos casualizados

RCBD Vineyard experiment (cont.)

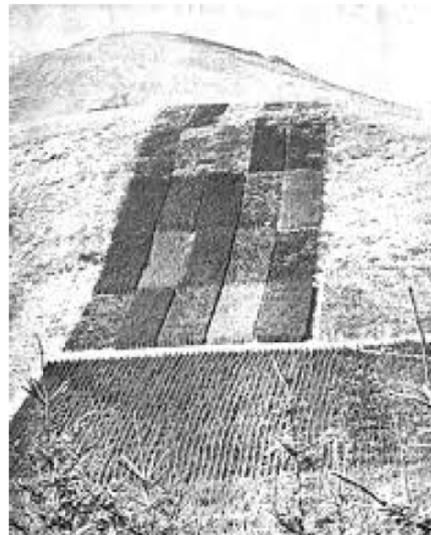


(Fonte: C.G.B. Demétrio)

Delineamentos

LS tree species experiment

The first field experiment in the world to use a randomized experimental design established by the Forestry Commission in March 1929, on a hillside near Beddgelert Forest, designed by Fisher. (© The Forestry Commission)



(Fonte: C.G.B. Demétrio)

DQL (Fonte: C.G.B. Demétrio)

6x6 Latin Square at Rothamsted



(Fonte: C.G.B. Demétrio)

Material Rosemary Bailey

Delineamentos Quadrados Latinos

- <https://webpace.maths.qmul.ac.uk/ra.bailey/gcs2hand.pdf>

Screening experiments

Experimentos de triagem

- Em qualquer procedimento experimental, várias variáveis ou fatores experimentais podem influenciar o resultado.
- Um **experimento de triagem** é realizado para determinar variáveis e interações que influenciam significativamente o resultado, medidos em um ou várias respostas.

Esquema Fatorial Completo 2^k

$k = 2$ fatores com dois níveis cada um

Fatorial 2^2

seqüência	Fator A	Fator B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

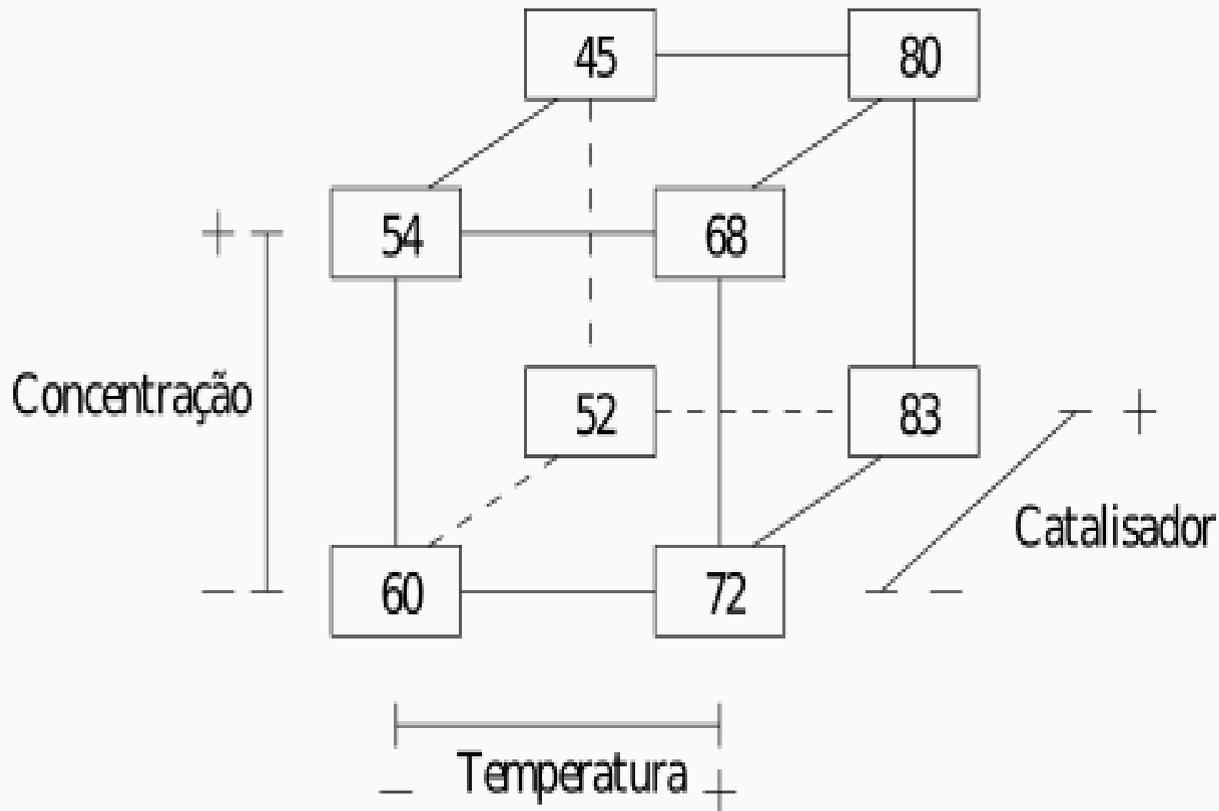
Esquema Fatorial Completo 2^k

$k = 3$ fatores com dois níveis cada um

Fatorial 2^3

seq.	Fator A	Fator B	Fator C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Esquema Fatorial 2^3



Fonte: <https://www.escolaedti.com.br/como-implementar-um-experimento-fatorial>

Esquema Fatorial Completo 2^4

seqüência	Fator A	Fator B	Fator C	Fator D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	+	+	+	+

Fatorial fracionário (fracionado)

- Quanto maior o número de fatores maior o número de sequências.
- k fatores em um fatorial completo implica em 2^k sequências ou tratamentos.
- Para investigar
 - cinco fatores são necessárias **32** sequências;
 - seis, **64**;
 - sete, 128;
 - **10**, 1024;
 - **15**, 32.768.
- para contornar o problema surgem os fatoriais fracionados...

Curvas e superfície de resposta

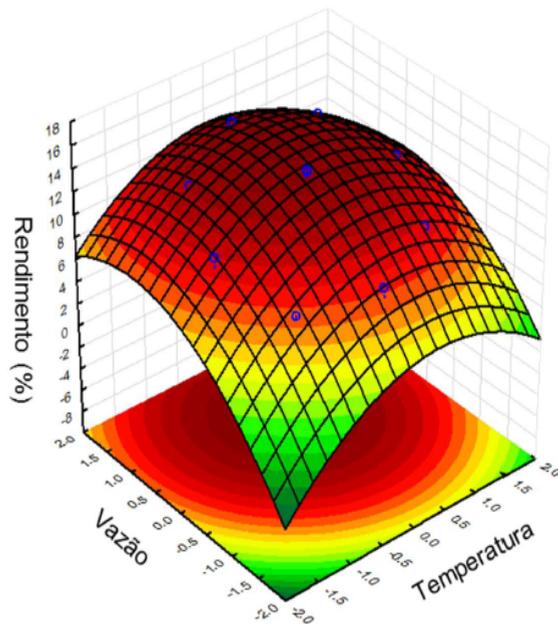


Figura 33: Superfície de resposta do modelo quadrático ajustado.

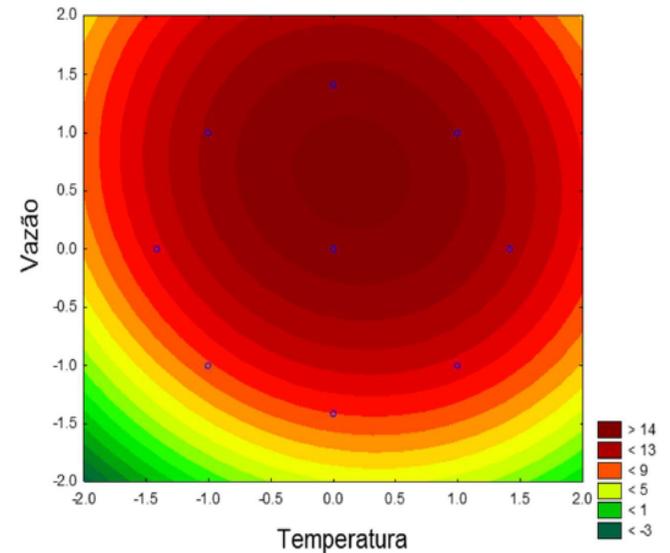


Figura 34: Diagrama de curvas de nível do modelo quadrático ajustado.

■ < -3

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
- Determinação de um modelo de planejamento de experimento
- Condução do experimento
- Análise dos dados
- Conclusões e recomendações

Etapas para o DAE

Caracterização do problema:

- Um relato claro do problema e dos objetivos do experimento costuma contribuir substancialmente para uma melhor compreensão do processo e para uma eventual solução do problema. Pode não ser fácil obter-se um relato do problema claro, preciso e aceito por todos.
- Na prática, geralmente é difícil perceber que existe um problema que exige experimentos planejados formais.
- Usualmente é importante solicitar **contribuições de todas as partes envolvidas** como:
 - Técnicos engenharia, química, biologia, etc. qualidade, marketing, cliente, gerência e operadores, partes que, em geral, têm muito discernimento e que costuma ser ignorado.
- A partir de uma **boa definição do problema** é mais natural a elaboração do **objetivo do experimento**.
- Esse objetivo deve ser **não tendencioso, específico, mensurável e de resultado prático**.

Etapas para o DAE

Escolha das **variáveis-resposta**:

- De onde vem o embasamento para seleção das variáveis respostas e controle, ou seja: de teoria, de especialistas/experiência, experimentos anteriores. Onde estes experimentos se ajustam dentro do estudo do processo ou sistema?
- Na seleção da variável-resposta, o experimentador deve ter certeza de que aquela variável realmente fornece **informação suficientemente útil** sobre o processo em estudo.
- Muitas vezes, a **média** ou o **desvio-padrão** (ou ambos) da característica medida será a **variável-resposta**.
- Respostas múltiplas não são raras.
- A capacidade do medidor é, também, um fator importante. Se a capacidade do medidor é baixa, então apenas efeitos grandes de fatores serão detectados pelo experimento, ou será necessária replicação adicional.

Etapas para o DAE

Escolha dos fatores e níveis

- **A pessoa que conduz o experimento deve escolher os fatores que devem variar;**
- É importante **investigar todos os fatores** que possam ser importantes e evitar ser excessivamente influenciado pela experiência passada.
- Listar para cada variável controle o nível normal em que rodará no processo e a distribuição ou amplitude de operação normal;
- Exige-se **conhecimento do processo** para fazer isso. Esse conhecimento é em geral, uma **combinação de experiência prática e conhecimento teórico.**
- Avaliar a finalidade da colocação da **variável controle.**

Etapas para o DAE

Escolha dos fatores e níveis

- Quando o objetivo é a varredura dos fatores ou caracterização do processo, é melhor **manter baixo o número de níveis de fatores** (em geral, são usados dois níveis).
- Os intervalos sobre os quais os fatores variarão e os níveis específicos nos quais cada rodada será feita.
- A precisão ou amplitude a qual ela pode ser agrupada (para o experimento e não somente em operação na fábrica) e a precisão em que pode ser medida.
- Fazer previsão (no mínimo qualitativa) que cada cenário terá em cada variável resposta.
- Os **objetivos do experimento e escolha da variável-resposta podem ser definidos simultaneamente.**

Etapas para o DAE

Escolha do delineamento experimental

- Depende do **objetivo do estudo, natureza do material experimental**, etc.
- A escolha do planejamento envolve consideração sobre o **tamanho da amostra** (número de replicações);
- Seleção de uma **ordem adequada de rodadas** para as tentativas experimentais.
- Decidir por **formação de blocos** ou outras **restrições de aleatorização**.

Etapas para o DAE

Condução do experimento;

- Na realização do experimento, é de vital importância **monitorar o processo**, para garantir que tudo esteja sendo feito de acordo com o planejamento.
- **Erros no procedimento experimental** nesse estágio destruirão a validade do experimento.

Etapas para o DAE

Análise dos dados:

- **Métodos estatísticos** deve ser usados para analisar os dados, de modo que os resultados e conclusões sejam objetivos e não opinião.

Conclusões e recomendações:

- Métodos gráficos** são usados nesse estágio na apresentação dos resultados para outras pessoas.

Termos Técnicos

- **Unidade experimental:** é a unidade física ou biológica para conduzir o experimento, também denominada de **parcela**. Ex.: uma pessoa, uma peça, uma planta, um animal, etc.
- **Variável:** é a condição ou característica medida ou observada no experimento.
- **Tratamento:** é o elemento que está em teste no experimento.
 - Ex.: um método de ensino, um fertilizante, uma droga terapêutica, um tipo de ração, uma liga metálica, etc.

Tipos de Tratamentos

- **Qualitativo:** são aqueles que possuem naturezas intrinsecamente diferentes.
 - Ex.: comparar dois tipos de drogas terapêuticas para dor de cabeça (Paracetamol versus Dipirona Sódica),
 - Ex.: comparar três tipos de fertilizantes(diferentes marcas), etc.
 - Ex.: comparar quatro tipos de ligas metálicas usada na fabricação de uma peça
- **Quantitativos:** são aqueles que se distinguem pela quantidade(dose) que está sendo utilizada no experimento;
 - percentual de determinado composto em uma substância ou material; etc.

Grupo controle:

- Em um estudo em que se deseja estudar o efeito de um ou mais tratamentos em relação a situação sem nenhum tratamento, o grupo controle é o grupo de unidades experimentais que não recebe tratamento.

Comparações simples

Comparar a média de dois níveis $i = 1, 2$ de um fator μ .

Modelo estatístico:

$$Y_{i,j} = \mu_i + \varepsilon_{i,j}$$

em que

- $Y_{i,j}$, a variável resposta no nível i da unidade j .
- μ_i , média do fator no nível i .
- $\varepsilon_{i,j}$, variável aleatória no nível i da unidade j .

Conjecturas sobre o modelo

- Podemos considerar $\varepsilon_{i,j} \sim N(0, \sigma^2)$?
- Se $\varepsilon_{i,j} \sim N(0, \sigma_i^2)$ então $Y_{i,j} \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$
- As variâncias $\sigma_i^2, i = 1, 2$ são conhecidas ou desconhecidas?
- As variâncias $\sigma_i^2, i = 1, 2$ são iguais ou diferentes?

Exercício 1:

Revisar testes para comparação de médias

Exercício 2:

A resistência à tração da argamassa de cimento Portland é uma característica importante do produto. Um engenheiro está interessado em comparar a resistência de uma fórmula modificada, à qual se acrescentou emulsão de polímero de látex durante a mistura, contra a resistência da argamassa feita com a fórmula não modificada. O experimentador preparou 10 amostras e mediu a resistência da fórmula modificada, e fez o mesmo para outras 10 da fórmula não modificada.

- Modificada: 16.85, 16.40, 17.21, 16.35, 16.52, 17.04, 16.96, 17.15, 16.59, 16.57
- Não modificada: 17.50, 17.63, 18.25, 18.00, 17.86, 17.75, 18.22, 17.02, 17.08, 18.15

Formule um modelo com hipóteses adequadas para avaliar a comparação das médias das resistências nos dois grupos.