

1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

A metodologia conhecida como projeto de experimentos foi introduzida por Fischer em 1935 e inicialmente aplicada a experimentos de agricultura.

Posteriormente, essa metodologia difundiu-se rapidamente em campos como Agronomia, Biologia, Engenharia Química, Engenharia Industrial e Engenharia da Qualidade.

Atualmente, Projeto de Experimentos tem sido aplicado virtualmente em todas as áreas de conhecimentos.

1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Trata-se de uma metodologia apoiada fortemente em conceitos estatísticos, destinada a otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento.

O uso de Projeto de Experimentos permite que se estruture a seqüência de ensaios de forma a traduzir os objetivos preestabelecidos pelo pesquisador.

A eficiência de experimentos projetos é superior em termos de informação a qualquer outra seqüência não estruturada de ensaios.

1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Na verdade, devido às decisões importantes que derivam dos resultados experimentais, e ao custo dos experimentos, não é recomendável buscar a solução de um determinado problema confiando apenas na intuição.

A metodologia de Projeto de Experimentos é utilizada na Otimização de um sistema. Entende-se por sistema, qualquer produto, processo ou serviço.

Um sistema é avaliado por indicadores de desempenho, ou seja, características de qualidade resultantes da operação do mesmo.

1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Por exemplo, as características de qualidade avaliadas em um sistema podem ser produtividade, custos, características dimensionais, entre outras.

Em um sistema, existem parâmetros do sistema (do produto, do processo ou do serviço) que podem ser alterados durante sua execução.

Por exemplo, em um produto pode-se alterar o tipo de material e suas características dimensionais, em um processo pode-se alterar a temperatura e a pressão e em um serviço pode-se alterar o número de funcionários e o layout.

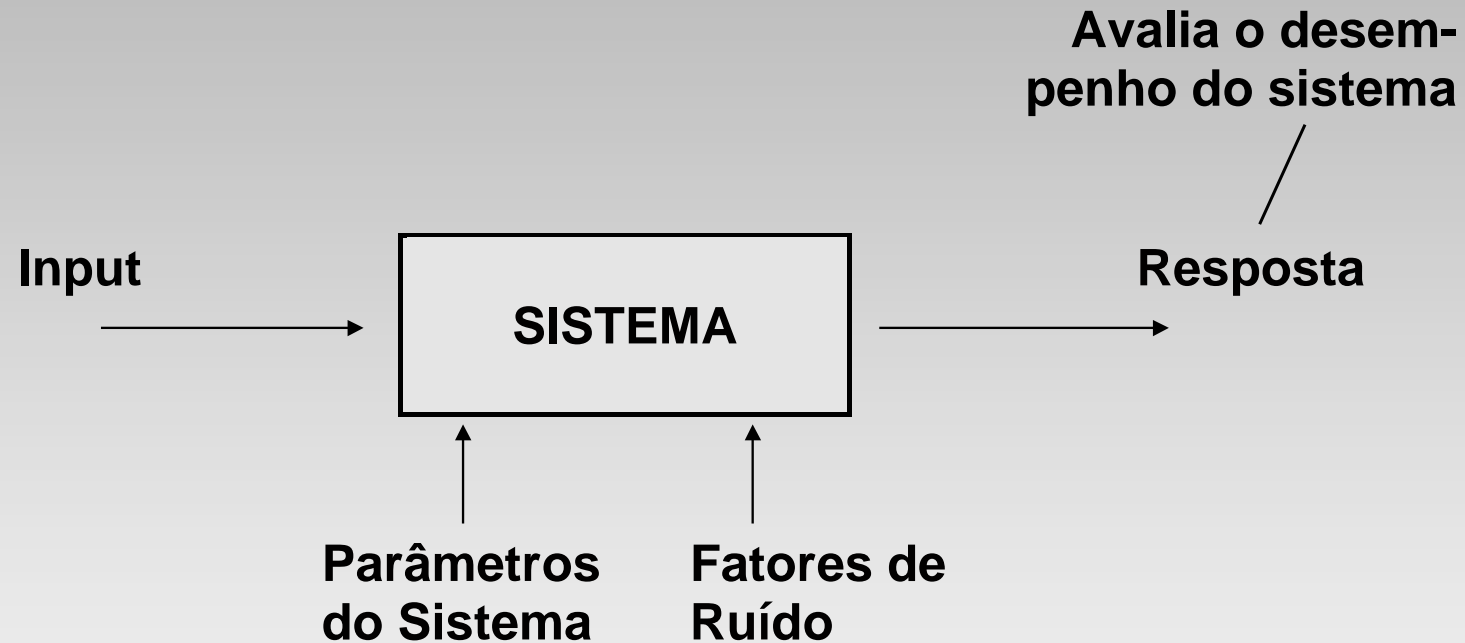
1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

A alteração desses parâmetros pode afetar as características de qualidade resultantes do sistema.

Existem ainda os fatores de ruído, ou seja, fatores que podem influenciar o desempenho do sistema, no entanto não consegue-se controlá-los.

Os fatores de ruído são, por exemplo, a temperatura e umidade do dia, o desgaste das ferramentas e a habilidade e cansaço do operador.

1. INTRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS



Projeto de Experimentos

- Projeto de Experimentos é uma atividade que em geral envolve o estudo sistêmico de diversos fatores que podem afetar uma ou mais características de qualidade.
- Apesar do título Projeto de Experimentos, essa é uma atividade que envolve:
 - O planejamento do experimento.
 - A sua execução.
 - A análise dos resultados.
 - A otimização do produto/processo em estudo.

Objetivo central do projeto de experimentos:

Achar o ajuste ótimo dos parâmetros do sistema de forma a:

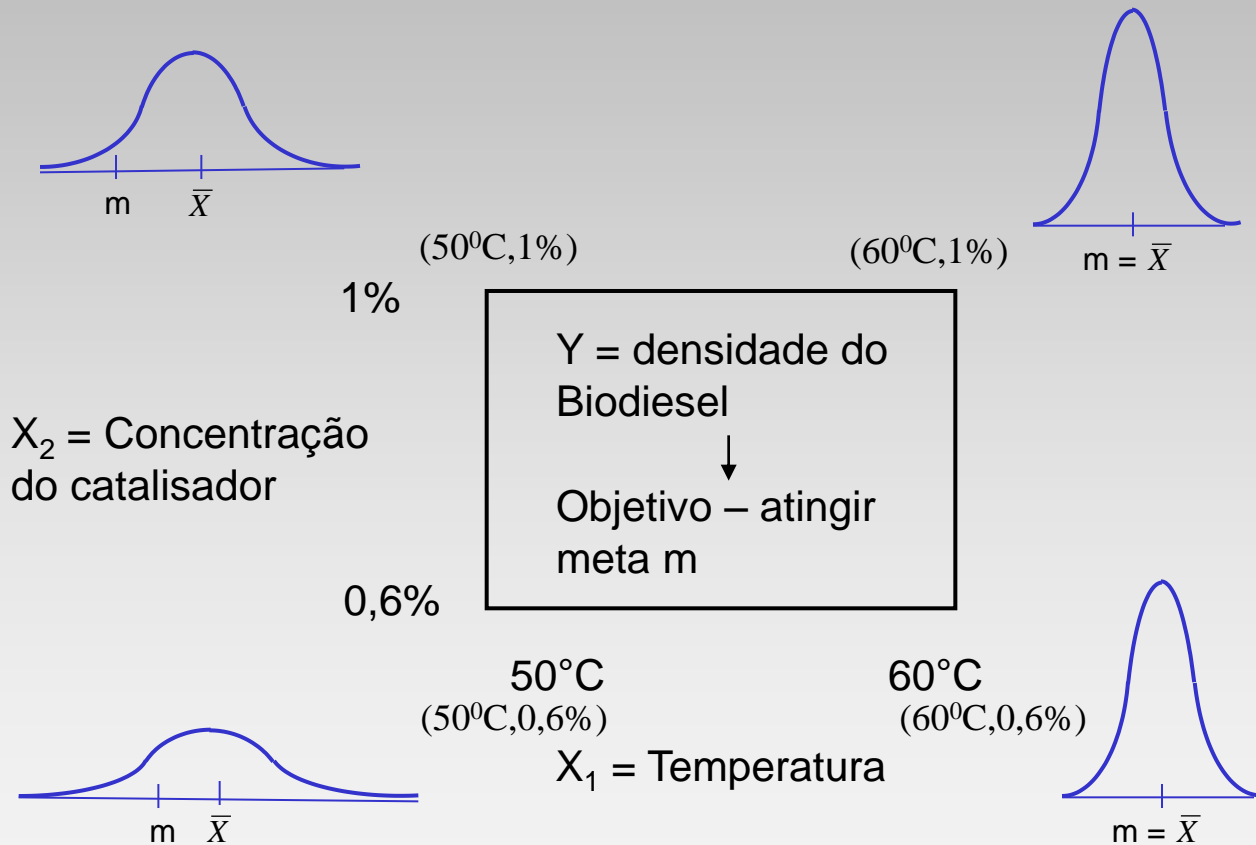
- Maximizar o desempenho do sistema
- Minimizar custos
- Tornar o desempenho do sistema pouco sensível ao efeito dos fatores de ruído

Fazer isso, ...

- Definindo uma seqüência de ensaios econômica e eficiente
- Procedendo uma avaliação estatística dos resultados
 - = Assegurar respaldo científico
 - = Maximizar as informações obtidas

Combinações de todos os níveis dos fatores

$$N = a \times b = 2 \times 2 = 4$$



Fases do projeto de experimentos

OUVIR A VOZ DO CLIENTE



OUVIR A VOZ DO ESPECIALISTA



PLANEJAMENTO FINAL E EXECUÇÃO



ANÁLISE



OTIMIZAÇÃO

Trabalho em equipe

O trabalho em equipe exige:

- Conhecimentos Mercadológicos,**
- Conhecimentos Técnicos,**
- Conhecimentos Estatísticos.**

O que será visto:

- **Introdução ao Projeto de Experimentos**
- **Comparação de vários grupos**
- **Projetos fatoriais com dois fatores**
- **Generalização dos projetos fatoriais**
- **Blocos Aleatorizados e Quadrado Latino**
- **Projetos fatoriais do tipo 2^k**
- **Experimentos fatoriais confundidos em bloco**
- **Experimentos fatoriais fracionados**
- **Metodologia de Superfície Resposta**

TERMINOLOGIA

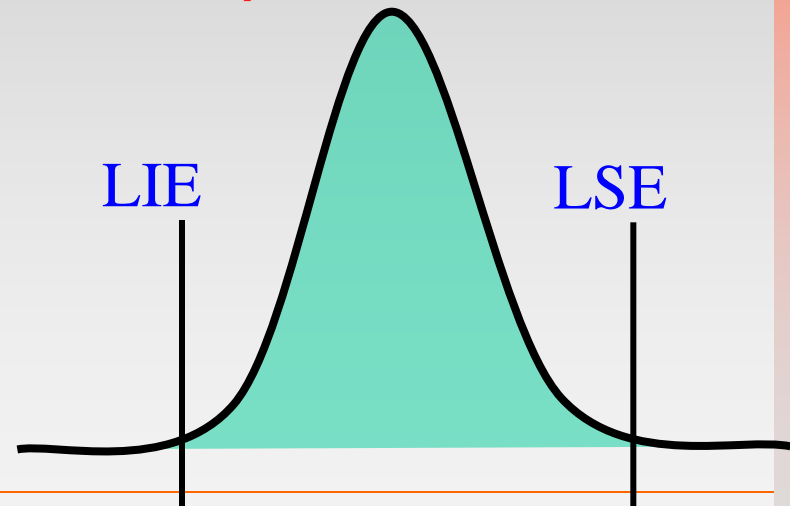
Características de Qualidade

Todas as características do produto que o cliente percebe como importantes.

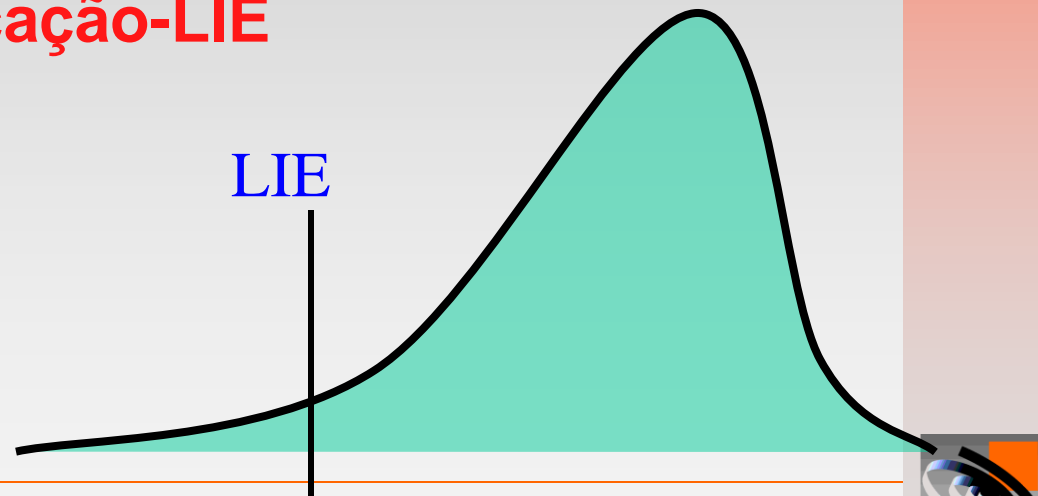
Variáveis de resposta

Aspectos do produto que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de qualidade.

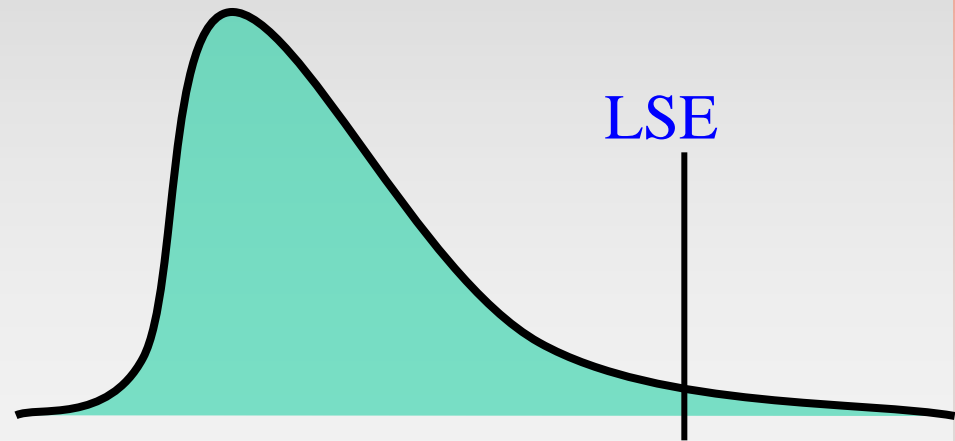
- ✓ Características de qualidade do tipo **nominal-é-melhor** (por exemplo, características dimensionais) tendem a apresentar uma distribuição de probabilidade aproximadamente simétrica, pois as causas de variabilidade geram valores que podem se afastar tanto para cima como para baixo do alvo. **Elas apresentam tolerâncias bilaterais (LIE e LSE)**



- ✓ Características de qualidade do tipo **maior-é-melhor** (por exemplo, resistência mecânica) tendem a apresentar uma distribuição de probabilidade assimétrica à esquerda, pois muitas vezes existem limitações tecnológicas que dificultam a obtenção de valores altos, enquanto que muitas causas de variabilidade podem gerar valores baixos. Elas apresentam apenas **Limite inferior de especificação-LIE**



- Características de qualidade do tipo **menor-é-melhor** (por exemplo, nível de ruído) tendem a apresentar uma distribuição de probabilidade assimétrica à direita, pois muitas vezes existem limitações tecnológicas dificultando a obtenção de valores baixos, enquanto que muitas causas de variabilidade podem gerar valores altos. Elas apresentam apenas **Limite superior de especificação-LSE**



Parâmetros do processo

Todas as variáveis da linha de produção que podem ser alteradas e que talvez tenham um efeito sobre as variáveis de resposta.

Fatores controlável

São um subconjunto dos parâmetros do processo; são aqueles parâmetros do processo que foram elegidos para serem estudados a vários níveis no experimento.

Fatores constantes

São os parâmetros do processo que não entram no experimento e que são mantidos constantes durante o experimento.

Fatores não controláveis (Ruído)

São as variáveis que não podem ser controladas pela equipe técnica. São responsáveis pelo erro experimental ou variabilidade residual ou variância do erro.

Importante

Se um fator (variável importante) não for considerado como um fator controlável (investigado a vários níveis) ou como um fator constante (fixo em um nível), ele irá se tornar um fator de ruído e inflacionar a variabilidade do erro tornando o experimento pouco sensível para a identificação de fatores significativos

Relação entre a demanda de qualidade (cliente) e as variáveis de resposta (ensaios)

Voz do Cliente

Características de Qualidade

Aspectos que podem ser vagos

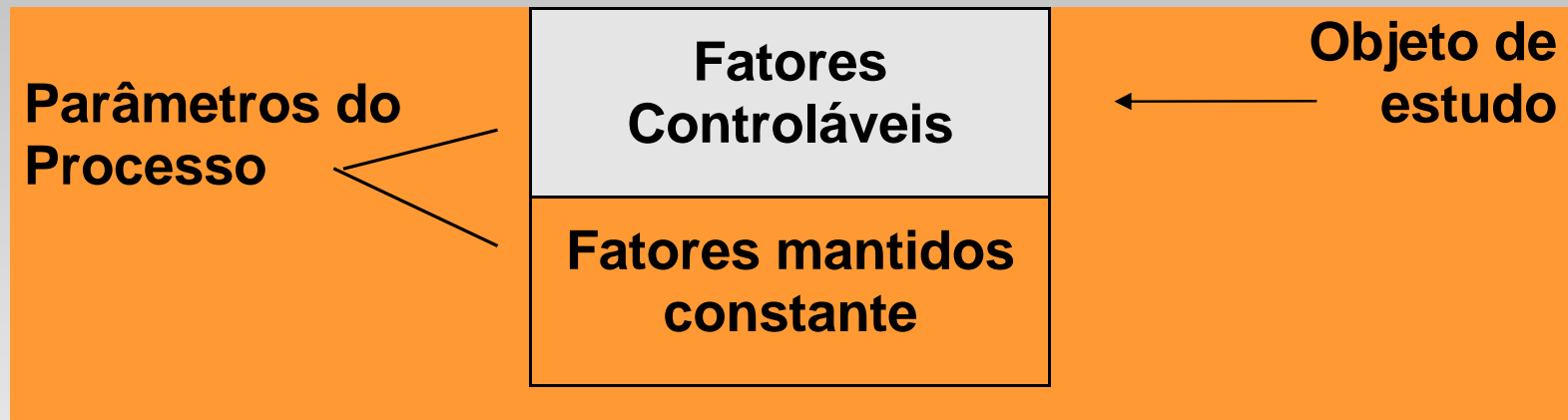


Voz do Especialista

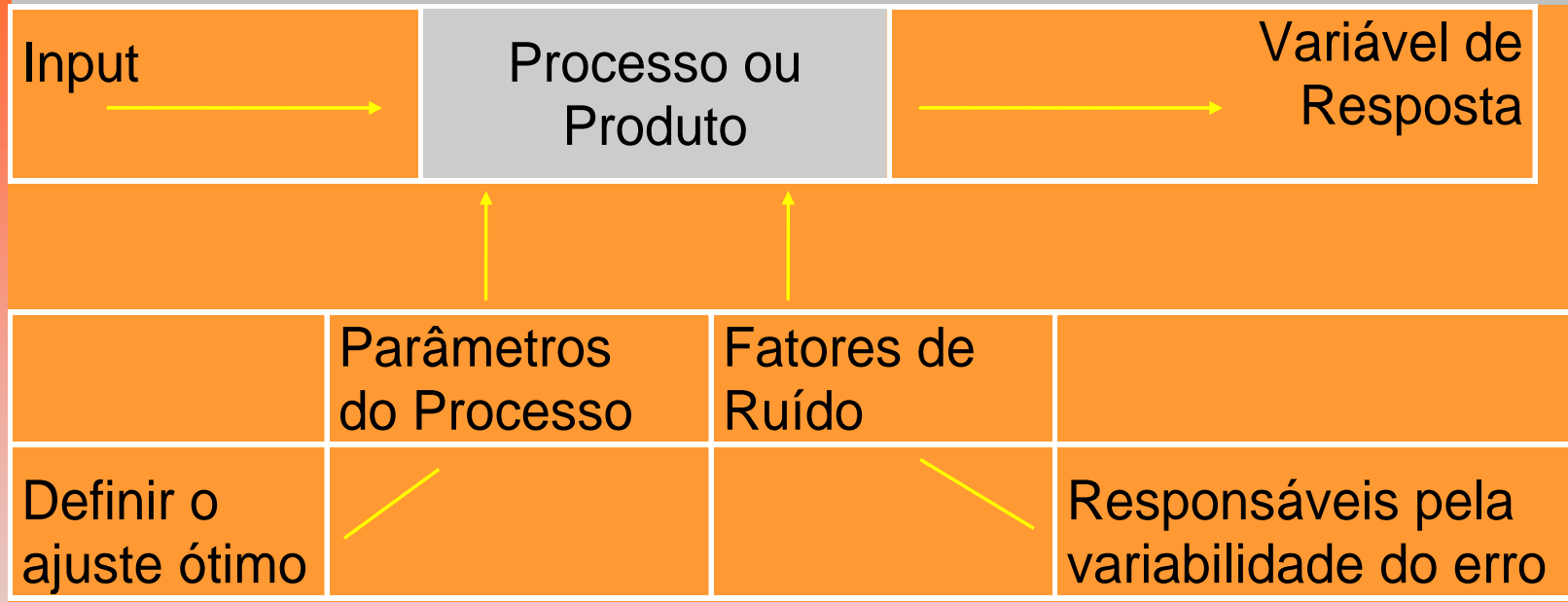
Variáveis de Resposta

Mensuráveis, quantitativas

Status dos parâmetros do processo dentro de um programa experimental:



Relação entre os fatores controláveis e a resposta



AS ETAPAS DE UM EXPERIMENTO

1. OUVIR A VOZ DO CLIENTE (O QUÊ)

- Pesquisa de Mercado
- Identificar as C.Q. de interesse
- Identificar a importância relativa dessas C.Q.

2. OUVIR A VOZ DO ENGENHEIRO (COMO)

- Definir variáveis de resposta associadas às C.Q.
- Identificar outras variáveis de resposta de interesse (em geral associadas a custos/produto)
- Identificar os parâmetros do processo, e
- Identificar o intervalo de variação dos P.P.

2. OUVIR A VOZ DO ENGENHEIRO-

- Identificar os fatores controláveis (F.C. = P.P. que podem afetar as V.R.)
- Definir o número de níveis para cada F.C. (geralmente de 2 a 5 níveis)
- Definir possíveis interações entre os FC
- Identificar as restrições experimentais
 - Número máximo de ensaios
 - Equipamento e RH disponíveis
 - Tempo disponível, etc.
- Escolher o modelo estatístico do experimento

3. PLANEJAMENTO FINAL E EXECUÇÃO

- **Escrever a matriz experimental**
- **Definir a ordem dos ensaios (aleatorização)**
- **Definir os procedimentos de ensaio (uniformização)**
- **Desenhar planilhas de coleta de dados**
- **Executar o experimento e anotar resultados**

4. ANÁLISE

- **Fazer a análise de variância**
- **Escrever uma tabela de médias**
- **Fazer gráficos dos efeitos dos fatores principais**
- **Fazer gráficos das interações significativas**

5. OTIMIZAÇÃO

- Modelar individualmente cada Variável de Resposta

$$\text{V.R.} = f(\text{F.C.})$$

- Definir uma função objetivo:

$$L = f_1(\text{V.R.}) \rightarrow L = f_2(\text{F.C.})$$

- Otimizar, isto é, achar o ajuste dos F.C. que minimiza ou maximiza L.
- Verificar a consistência da solução

Exemplo: Estudo experimental em solados de borracha.

1. Ouvir a voz do cliente

Pesquisa de Mercado

O solado deve ser macio e durável.

Características de Qualidade:

Designação	Tipo	Importância Relativa
Flexibilidade	Maior-é-melhor	1
Durabilidade	Maior-é-melhor	1

2. Ouvir a voz do Engenheiro

Variáveis de Resposta:

Designação	Tipo	Importância Relativa	Alvo
Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	Menor-é-melhor	1	200
Dureza superficial (kgf)	Maior-é-melhor	1	25
Resistência à tração (Kgf/cm ²)	Maior-é-melhor	0.5	100

Parâmetros do processo:

Designação	Intervalo de Variação	Unidade
Quantidade de Talco	2 a 5	g
Quantidade de óleo	0.5 a 1	ml
Quantidade de Asfalto	0.5 a 1	g
Quantidade de Breu	2 a 4	u.v.
Quantidade de Fluxtec	10 a 20	u.v.
Tempo de mistura	30 a 60	min
Temperatura de mistura	60 a 80	°C
Tempo de resfriamento	30 a 120	min

Fatores Controláveis:

- Quantidade de Breu
- Quantidade de Fluxtec
- Tempo de mistura
- Temperatura de mistura

Definição dos níveis dos fatores controláveis:

Fator	No. níveis	Níveis	Unidade
Quantidade de Breu	2	2 4	u.v.
Quantidade de Fluxtec	4	10 13 16 19	u.v.
Tempo de mistura	3	30 45 60	min
Temperatura de mistura	3	60 70 80	°C

Listar possíveis interações entre os fatores controláveis

- Temperatura de mistura x Tempo de mistura
- Temperatura de mistura x Quantidade de Fluxtec

Listar restrições experimentais

- Máximo 100 ensaios em função de tempo e \$
- Máximo 20 ensaios por dia

Definir o modelo estatístico

-Um Projeto Fatorial Cruzado completo:

$$N = 2 \times 4 \times 3 \times 3 = 72 \text{ ensaios}$$

3. Planejamento final e execução

Matriz experimental e ordem dos ensaios

Rodada	Ordem	Fator A	Fator B	Fator C	Fator D	Fator E	Fator F
1	54	1	1	1	1		
2	23	1	1	1	2		
3	18	1	1	1	3		
4	9	1	1	2	1		
:	:	:	:	:	:		
:	:	:	:	:	:		
72	17	2	4	3	3		

Procedimentos de ensaio

- Aleatorizar a ordem dos ensaios
- Fixar parâmetros do processo não incorporados no experimento
- Observar sempre a mesma sistemática de ensaios, mesmas máquinas, operadores, etc

Planilha de coleta de dados:

Ensaio: _____

Data : _____

Operador: _____

Ensaio	Fatores Controláveis				Variáveis de Resposta		
	Breu	Fluxtec	Tempo Mistura	Temperatura	Módulo de Elast.	Dureza Superf.	Resist. à Tração
1	2	10	45	60			
2	4	10	60	60			
3	4	16	60	80			
4	2	13	30	70			
:	:	:	:	:			
:	:	:	:	:			
:	:	:	:	:			
72	4	13	45	70			

3. Execução do experimento

4. Análise

Será o objetivo principal do curso

5. Otimização

Esse assunto será abordado freqüentemente