

# ***Delineamento de Experimentos***

# ***Experimentos Fatoriais Completos***

## Usando o Minitab

- Selecionar:  
Stat > DOE > Fatorial > Criar Experimento Fatorial  
“Número de :” < 2 >
- Selecionar: “Experimentos” e “Fatorial completo”  
OK
- Selecionar: “Opções” e desmarcar “Aleatorizar ensaios”  
OK  
OK

**O Minitab chama os fatores de A e B ao invés de  $X_1$  e  $X_2$**

## Usando o MINITAB

- Abrir o arquivo dex22.wtw
- Selecionar: Stat > DOE > Fatorial > Analisar Experimento Fatorial  
“Respostas”: < tempo >  
OK
- Selecionar: Stat > DOE > Fatorial > Gráficos Fatoriais  
“Respostas”: < tempo >  
“Selecionada”: < A e B >  
OK+ OK

## PRO 3371 – Controle da Qualidade

Regressão Fatorial: tempo versus A; B

**Interação com  $p < 0,05$ , →  
fatores A e B significativos**

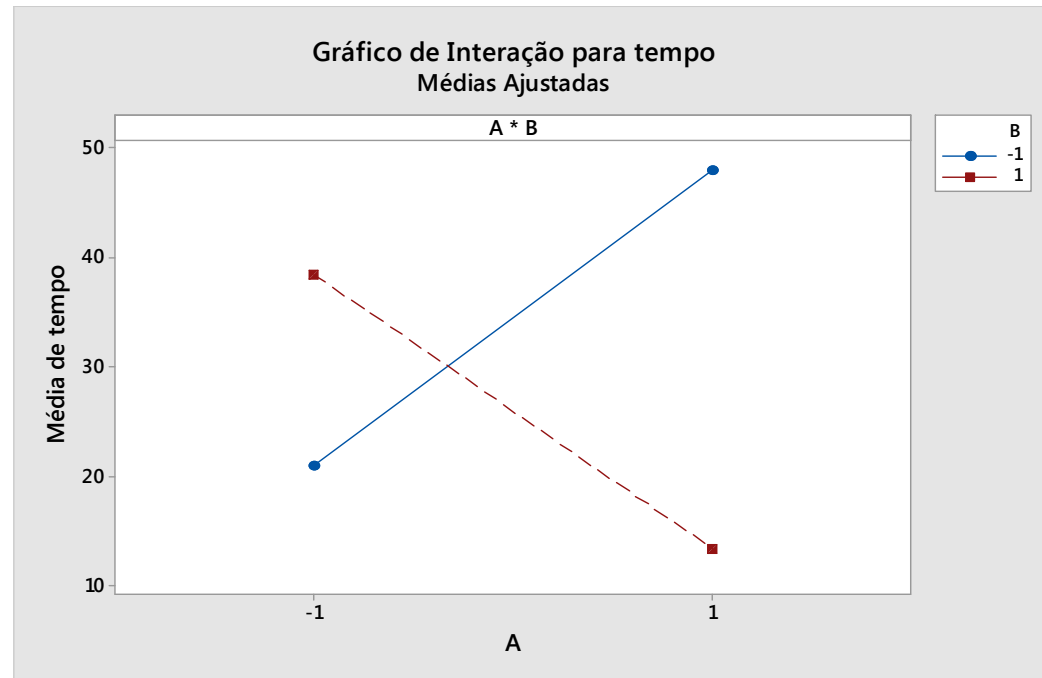
Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	3	1498,50	499,50	105,16	0,000
Linear	2	146,50	73,25	15,42	0,013
A	1	2,00	2,00	0,42	0,552
B	1	144,50	144,50	30,42	0,005
Interações de 2 fatores	1	1352,00	1352,00	284,63	0,000
<b>A*B</b>	<b>1</b>	<b>1352,00</b>	<b>1352,00</b>	<b>284,63</b>	<b>0,000</b>
Erro	4	19,00	4,75		
Total	7	1517,50			

Coeficientes Codificados

**Valor dos efeitos**

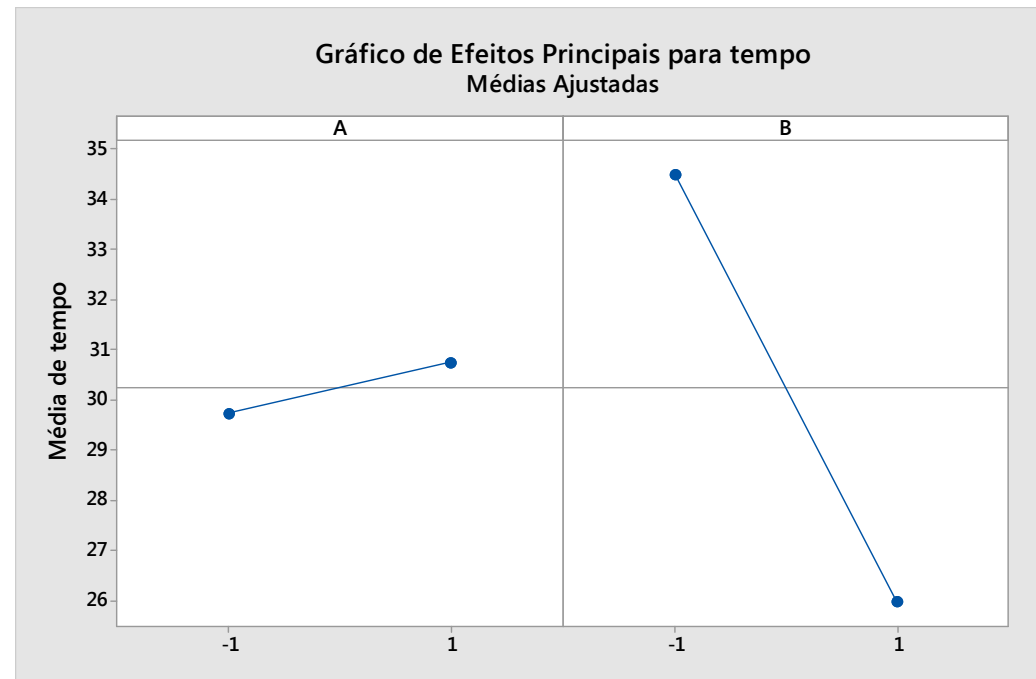
Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor T	Valor-P	VIF
Constante		30,250	0,771	39,26	0,000	
A	1,000	0,500	0,771	0,65	0,552	1,00
B	-8,500	-4,250	0,771	-5,52	0,005	1,00
A*B	-26,000	-13,000	0,771	-16,87	0,000	1,00



**Quando há  
interação, as  
linhas não mais  
são paralelas**

Neste caso, a interação significa que cada funcionário tem maior facilidade para operar um certo computador.

Pode-se, também, verificar o resultado graficamente para cada um dos fatores.



**Nota: quando há interação, este gráfico não deve ser usado, pois a resposta depende do nível dos fatores.**

## Exercício

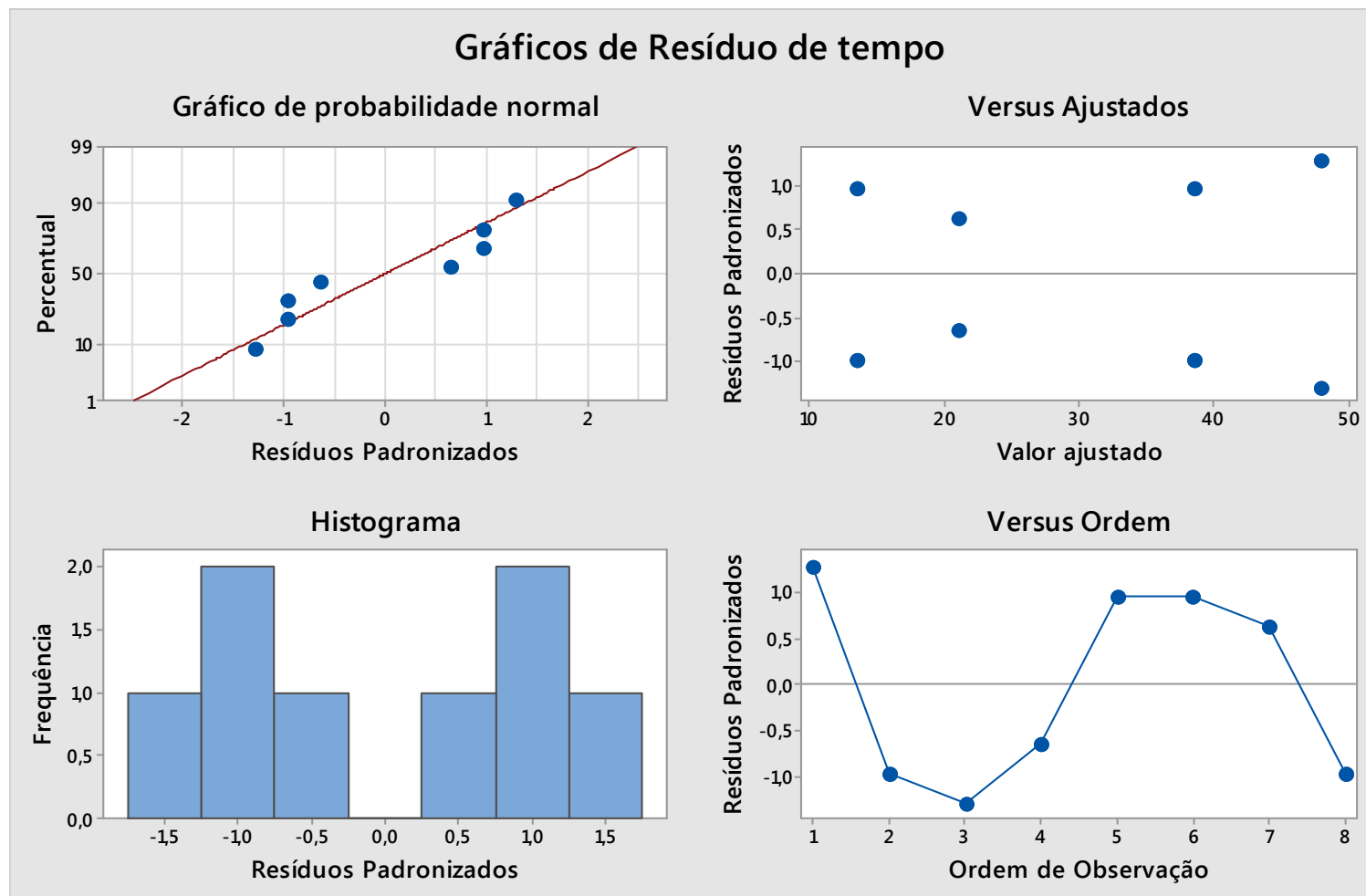
Outro experimento, do tipo  $2^2$ , foi realizado nesta mesma empresa. Contudo, dois novos funcionários (Paulo e José) foram avaliados, cada um utilizando micros do tipo PC e MAC.

Os dados (tempos em minutos) encontram-se no arquivo dex22b.mtw. Realizar a análise da forma mais completa possível, e escreva as suas conclusões abaixo.



## Usando o MINITAB

- Abrir o arquivo dex22.mtw
- Selecionar: Stat > DOE > Fatorial > Analisar Experimento Fatorial  
“Respostas”: < tempo >
- Selecionar: Gráficos  
Marcar: “Padronizado” e “Quatro em um”  
OK  
OK

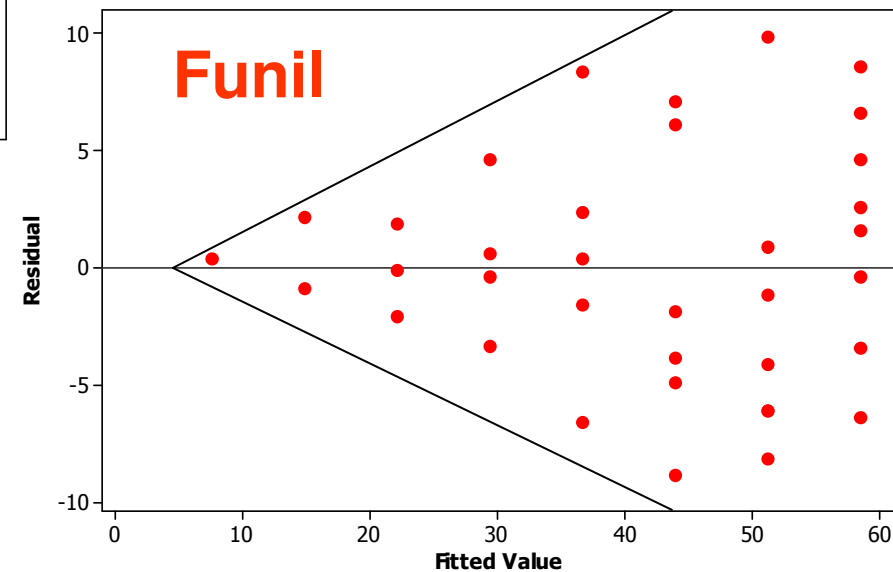
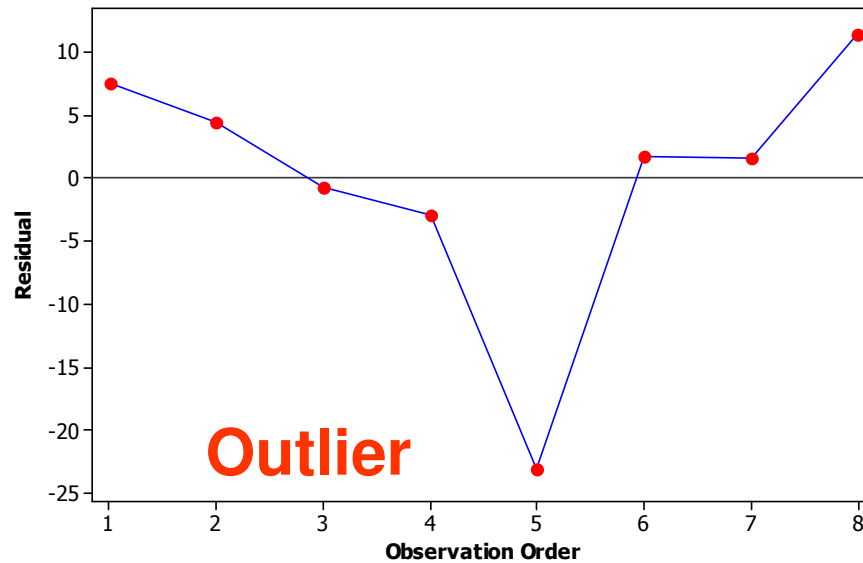


*Nota: neste caso, como há poucos dados, a análise de resíduos fica prejudicada*

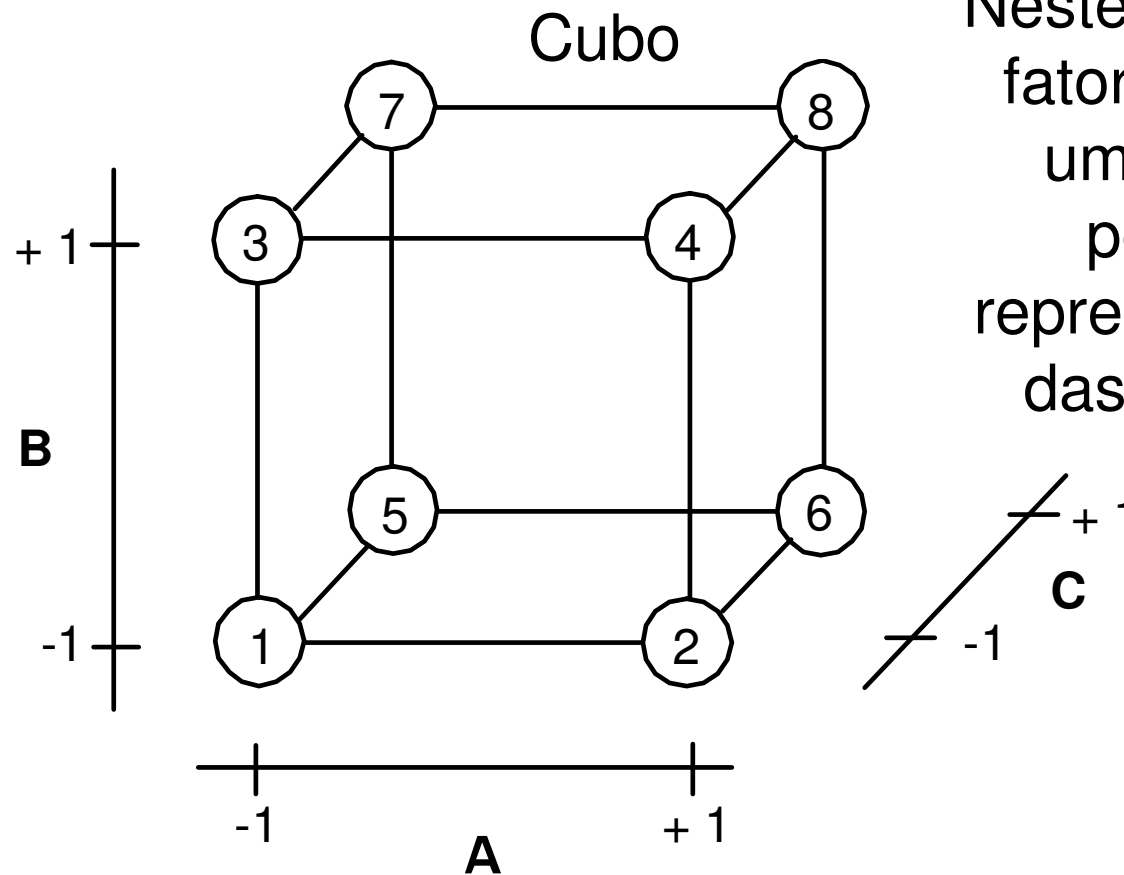
## Comentários

- **Resíduos padronizados** fora da faixa de  $-3$  a  $+3$  indicam dados suspeitos → buscar identificar sua causa e corrigir;
- **Gráfico linear** com falta de aleatoriedade ou tendência → buscar algum outro fator (externo ou ambiental) que possa estar influenciando os resultados;
- **Padrões estranhos** (“funil” ou “borboleta”) indicam que a dispersão dos dados não é constante → buscar controlar melhor o experimento ou avaliar se resposta não é discreta;
- **Resíduos não-normais** → buscar outro fator importante que não foi considerado e incluí-lo no experimento.

## Padrões Não-aleatórios em Resíduos



## Experimento Fatorial $2^3$



Neste caso, têm-se três fatores (A, B e C), cada um em dois níveis e, portanto, pode-se representar os resultados das seguintes formas:

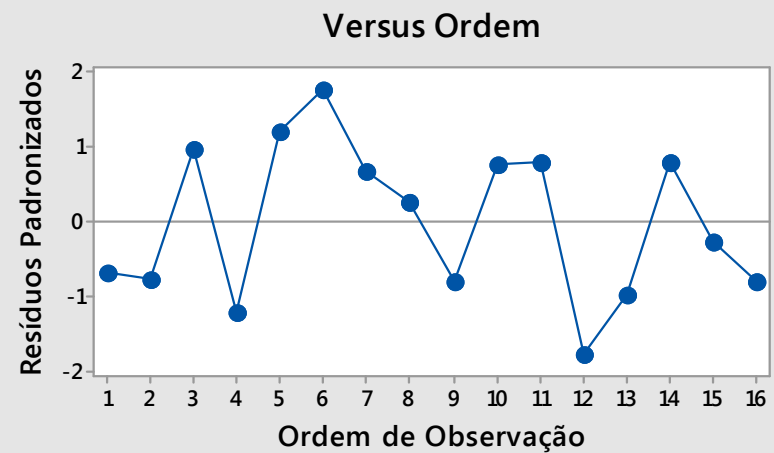
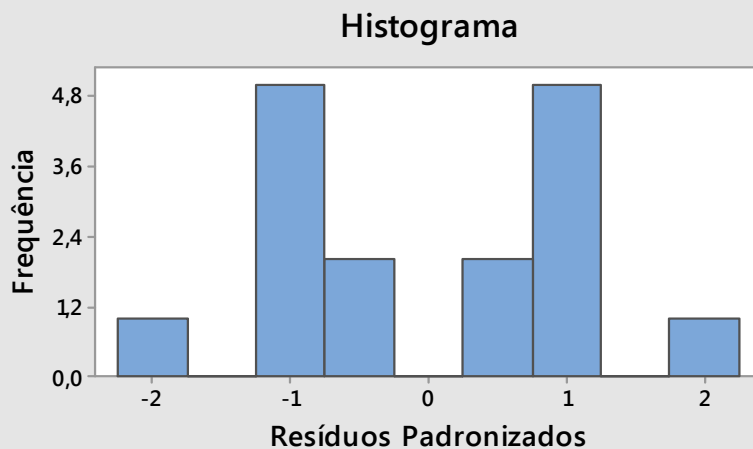
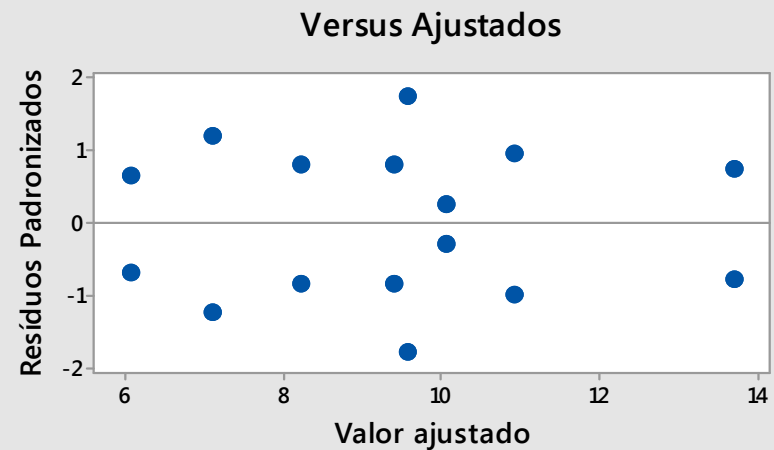
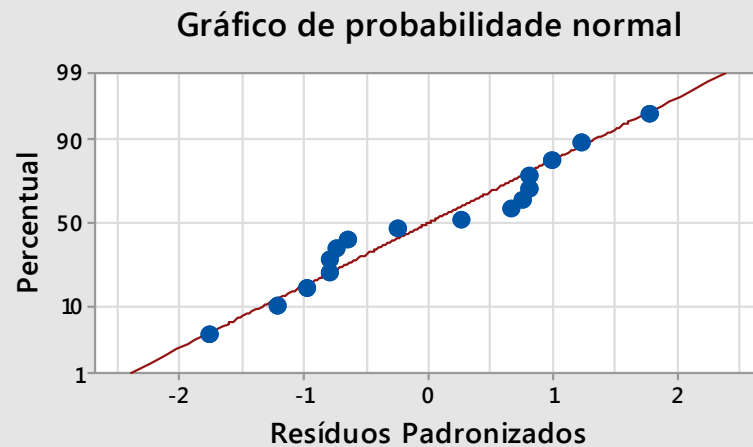
### Exemplo

José vende pipoca e está preocupado com o crescente aumento da concorrência no seu setor. Decidiu pesquisar se é possível reduzir a perda no seu processo (% em peso de pipocas “piruadas”, ou seja, que são perdidas).

<b>Fator</b>	<b>Nível</b>	
	<b>-1</b>	<b>1</b>
A = Pipoca	nacional	importada
B = Fogo	baixo	alto
C = Agitar panela	não	sim

Veja os dados na planilha pipoca.mtw.

### Gráficos de Resíduo de % piruada



### Análise de Variância

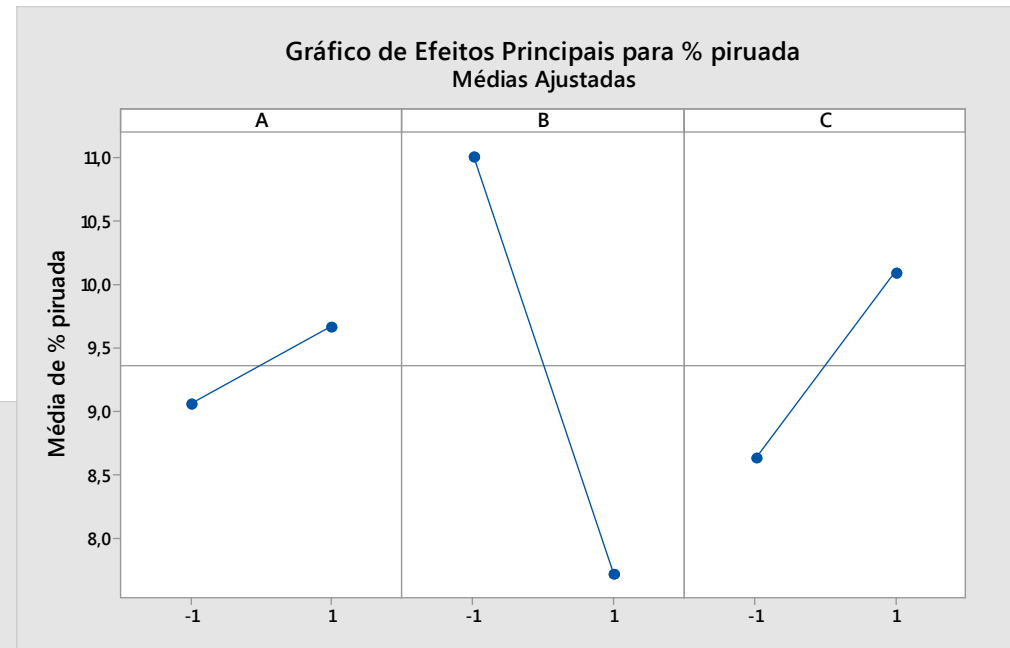
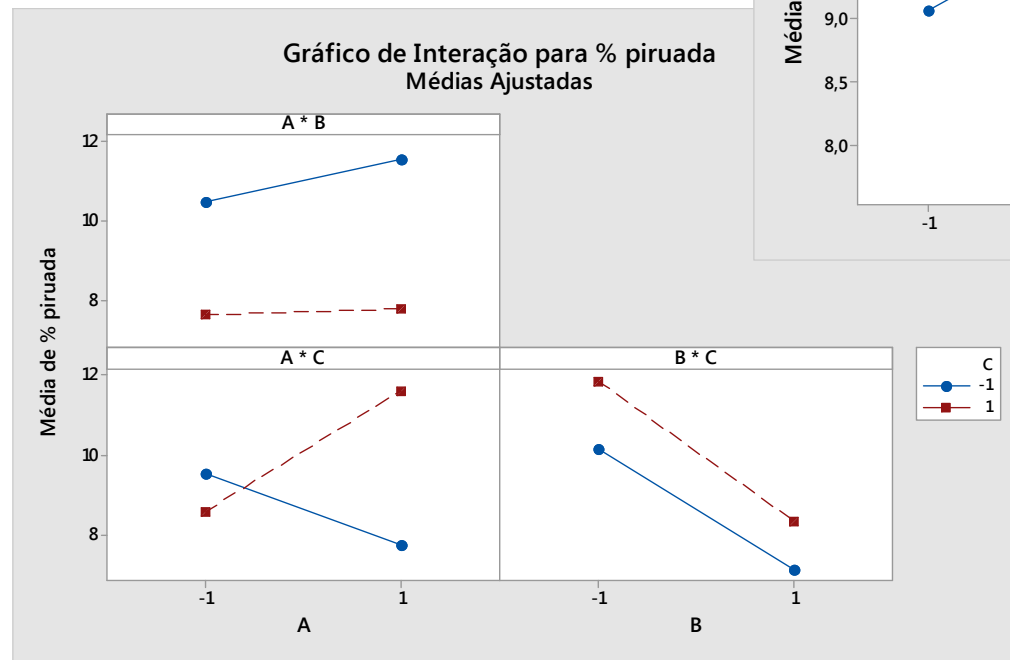
Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	7	78,259	11,1799	1,88	0,197
Linear	3	53,287	17,7623	2,99	0,096
A	1	1,501	1,5006	0,25	0,629
B	1	43,231	43,2306	7,28	0,027
C	1	8,556	8,5556	1,44	0,264
Interações de 2 fatores	3	24,897	8,2990	1,40	0,312
A*B	1	0,856	0,8556	0,14	0,714
A*C	1	23,766	23,7656	4,00	0,080
B*C	1	0,276	0,2756	0,05	0,835
Interações de 3 fatores	1	0,076	0,0756	0,01	0,913
A*B*C	1	0,076	0,0756	0,01	0,913
Erro	8	47,475	5,9344		
Total	15	125,734			



### Coeficientes Codificados

Termo	Efeito	EP de Coef	Coef	Valor T	Valor-P	VIF
Constante		9,369	0,609	15,38	0,000	
A	0,613	0,306	0,609	0,50	0,629	1,00
B	-3,288	-1,644	0,609	-2,70	0,027	1,00
C	1,462	0,731	0,609	1,20	0,264	1,00
A*B	-0,462	-0,231	0,609	-0,38	0,714	1,00
A*C	2,438	1,219	0,609	2,00	0,080	1,00
B*C	-0,263	-0,131	0,609	-0,22	0,835	1,00
A*B*C	-0,137	-0,069	0,609	-0,11	0,913	1,00

# PRO 3371 – Controle da Qualidade



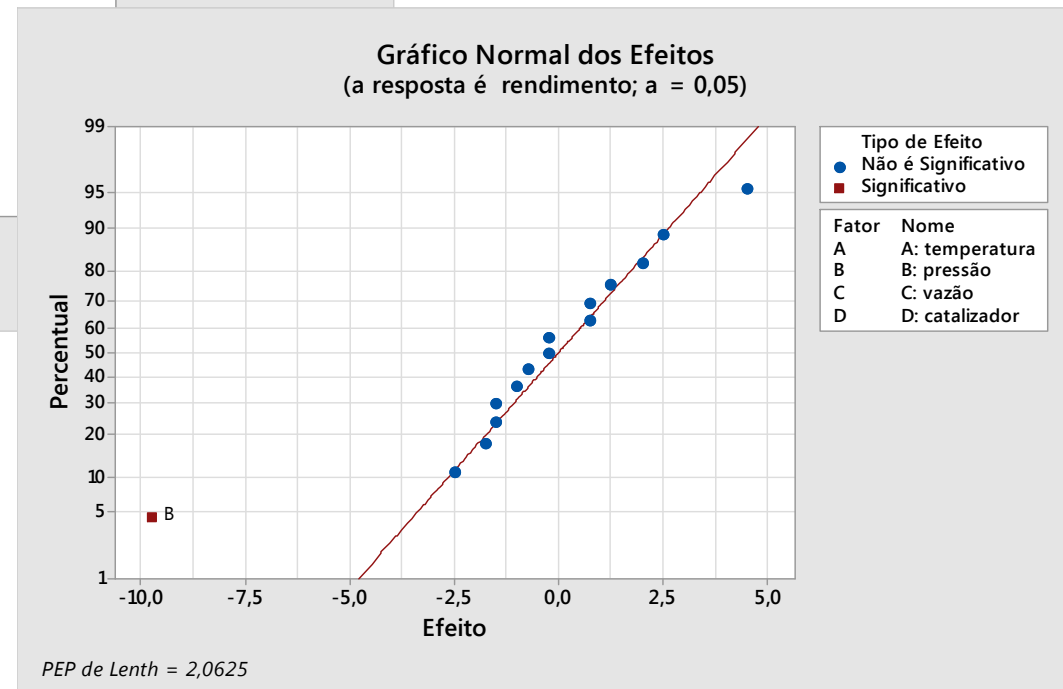
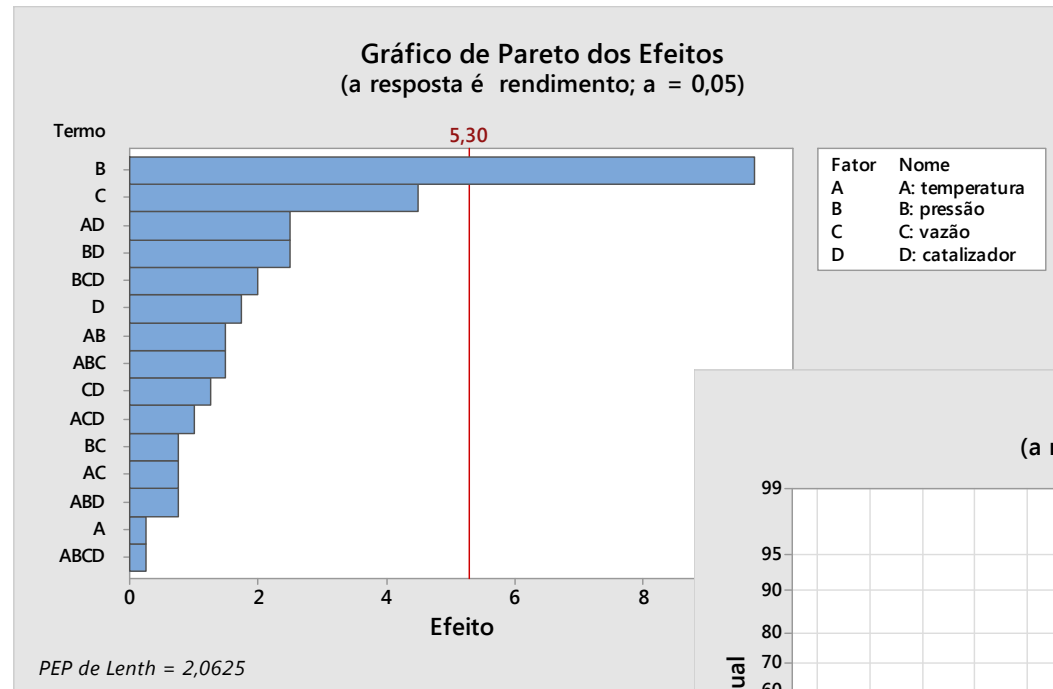
## Exercício

Em uma indústria química, quatro fatores (A, B, C e D) são suspeitos de causarem impacto do rendimento de uma operação. Contudo, como executar experiências é extremamente caro, além de afetar a rotina da empresa, optou-se por um experimento fatorial completo  $2^4$  **sem réplicas**.

## Usando o MINITAB

- Abrir o arquivo processo.mtw
- Selecionar: Stat > DOE > Fatorial > Analizar Experimento Fatorial  
“Resposta”: < rendimento >
- Selecionar: “Gráficos”  
marcar “Pareto” + “Normal”  
marcar “Quatro em um”  
OK  
OK

# PRO 3371 – Controle da Qualidade



## Exercício

Abrir o arquivo unitario.mtw e analisar os resultados deste experimento feito sem réplicas.

# ***Experimentos Fatoriais Fracionados***

## Exercício

Numa empresa, busca-se reduzir o tempo de espera em fila. Os seguintes fatores são suspeitos de provocar demora:

Fator	Código	-1	+1
No. de Caixas	A	4	6
No. de Funcionários	B	15	20
Agência	C	Centro	Bairro
Hora do Dia	D	12:00	15:00

Abrir o arquivo doe4.mtw e analisar os dados obtidos no experimento.

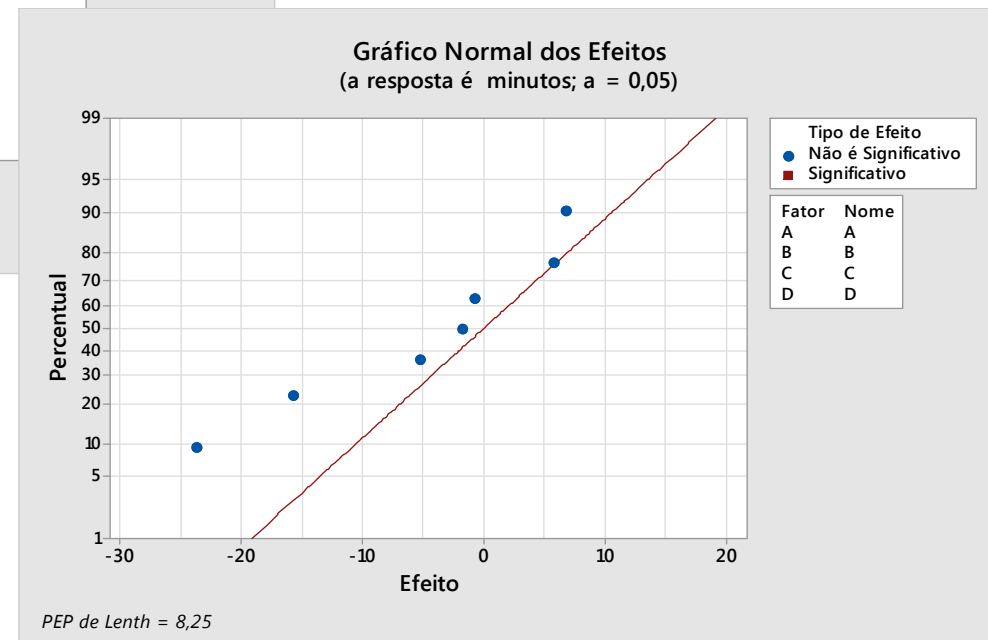
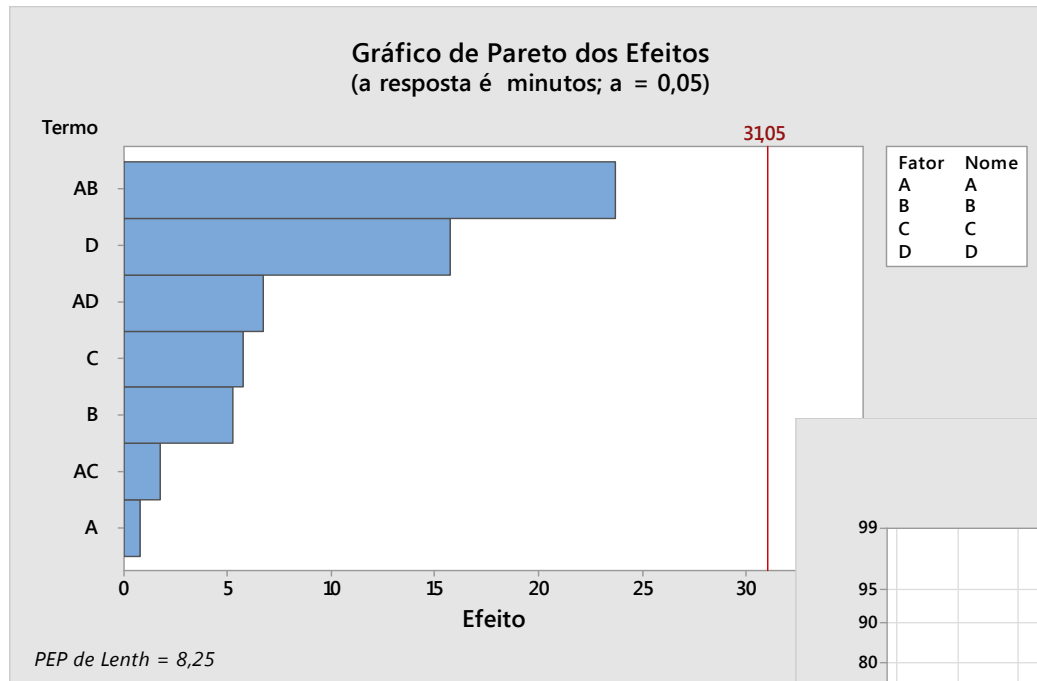


## Usando o MINITAB

- Selecionar: Stat > DOE > Fatorial > Analisar Experimento Fatorial  
“Resposta”: < minutos >
- Selecionar: Gráficos  
Marcar no “Gráficos de Efeitos”: “Normal” e “Pareto”  
“Alfa”: < 0,10 >  
“Gráficos de resíduos”: “Padronizado” e “Quatro em um”  
OK  
OK

**Neste exercício, está se adotando  $\alpha = 10\%$  (ou 0,10)**

# PRO 3371 – Controle da Qualidade



## Exercício

Um posto de triagem de correspondência está fazendo um estudo de produtividade, visando aumentá-la mediante a quantidade de cartas separados por hora. Desconfia-se dos seguintes fatores:

<b><i>Fator</i></b>	<b><i>Nível (-)</i></b>	<b><i>Nível (+)</i></b>
iluminação (A)	150 lux	250 lux
temperatura (B)	18 °C	25 °C
ruído (C)	45 dB	30 dB
layout (D)	atual	novo
hora (E)	9 Hs	15 Hs

O experimento foi feito com 8 experiências, sem réplicas. Os dados estão no arquivo cartas.mtw