

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA
FERRAMENTA COMPUTACIONAL MULTIMEIOS
UTILIZADA NO AUXÍLIO AO APRENDIZADO DE
PROJETOS DE EXPERIMENTOS BÁSICOS**

FÁBIO BAUERMANN LEITÃO

Orientador: Professor Dr. José Luís Duarte Ribeiro

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
(PPGEP) da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS) como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia de Produção.**

Porto Alegre
2000

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA
FERRAMENTA COMPUTACIONAL MULTIMEIOS
UTILIZADA NO AUXÍLIO AO APRENDIZADO DE
PROJETOS DE EXPERIMENTOS BÁSICOS**

FÁBIO BAUERMANN LEITÃO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

José Luís Duarte Ribeiro. Dr.
Orientador

Banca Examinadora:

Lia Buarque de Macedo Guimarães, Dr.
Prof. PPGEP-UFRGS

Flávio Fogliatto, Dr.
Prof. PPGEP-UFRGS

Milton Antônio Zaro, Dr.
Prof. PROMEC-UFRGS

Porto Alegre
2000

Dedicatória:

Dedico este trabalho a meus pais, Alceu e Marisa, pela alegria da convivência, e pelos exemplos de ética, caráter e integridade. Dedico também a minha irmã, Cristiane, por compartilhar comigo as mesmas ansiedades e desafios destes dias tão atribulados e competitivos. E dedico especialmente a Sandra Roos Santos, amiga e namorada, com a qual divido todas as minhas alegrias e planos futuros.

Agradeço a todas as pessoas, que de uma forma ou de outra contribuíram, direta ou indiretamente, para o término desta etapa de minha vida. Em especial, agradeço:

Aos amigos e engenheiros químicos Artur Bichinho e Aurélio Cereto, pelo bom humor, companheirismo, cumplicidade e troca de idéias.

Aos amigos e sócios da TRIEDRUM Gestão Empresarial, Gustavo "Gustavinho" Severo de Borba, Francisco "Xiko" Hörbe, Marco Antônio "Marquito" Viana Borges e Márcio "Pelotense" Soares Torres, com os quais compartilhei os desafios do mestrado e da vida profissional. Obrigado por me apoiarem na etapa final deste trabalho, "cobrindo as minhas faltas". Espero que possamos continuar cumprindo com a meta primeira de nossa empresa.

Aos professores, mentores, incentivadores, Dr. Luís "LHR" Henrique Rodrigues e Dr. José Antônio Valle Antunes Jr. "Junico", que me convidaram a desenvolver as atividades de treinamento e consultoria, verdadeira base da minha formação profissional. Aprendi muito com eles, e pretendo continuar aprendendo.

A Flávio "ZZ" Pizzato, por também oportunizar, juntamente com LHR e Junico, os trabalhos realizados junto à PRODUTTARE Consultores Associados.

A Marcelo "Klippelzinho" "Smallito" Klippel, por digitalizar as figuras contidas em minha dissertação.

Aos colegas que tonaram outros caminhos, Vicente Cadore, Alexandre, Esdras, Fabíola, Liliana, Mauro, Fábio Peroni, Cláudio Albarus e Pedro Franz, cuja convivência e troca de experiências foram cruciais na minha formação.

A minha Sandra Roos Santos, que mostrou o caminho da Engenharia de Produção, dizendo: "Não custa nada tu ires na palestra sobre a pós-graduação em Engenharia de Produção." Te agradeço muito por isto.

A Ana Maria, amiga e duas vezes colega.

A Elaize "Lalá", Bibiane "Bibi", Carlos "Carlão" Henrique, Cristiano "Yoda" Sivelli, Marco "Tigrão" Curcio e todos os meus colegas engenheiros químicos da turma 90/1 da PUCRS. E também aos anexados Marcus e Osmar.

A Márcia Echeveste e Carla ten Caten, por me entrevistarem para ingresso no mestrado e por me emprestarem grande parte do material utilizado nesta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Luís Duarte Ribeiro, que mesmo entre suas diversas atividades, me orientou neste trabalho. Aos professores membros da Banca Examinadora, Dr^a. Lia Buarque de Macedo Guimarães, Dr. Flávio Flogliatto e Dr. Milton Antônio Zaro, por suas críticas e contribuições.

A Verinha e Andréia, por trabalharem de forma eficiente, e tornarem o dia-a-dia do mestrando mais fácil.

Às amigas e coloradas Patrícia e Giovana, que muitas vezes ouviram meus devaneios com atenção incompreensível. Obrigado pela convivência agradável.

A minha família inteira, com a qual tenho o prazer de conviver cada dia de minha vida, e em especial aos meus avós paternos Zélia, João (*in memorian*) e Zelina (*in memoriam*), e maternos Dorvalina e Otto. Obrigado a todos.

A minha outra família em Caxias do Sul, muito obrigado por me acolherem sempre de braços abertos. Obrigado Seu Jasson, Dona Edi, Liliane, Luis Cláudio, e em especial Elenice, por ceder sempre prontamente seu quarto, quando eu vou visitá-los.

A Ricardo "Ratão" Fernandes Fonseca (amigo), Cristiano "Nano" Teixeira Netto Zucatti (primo) e Rafael "Pança" "Quintanilha" Guariglia (futuro cunhado), por perguntarem: - Já defendeu? e me fazer lembrar que faltava terminar alguma coisa.

As empresas Reichert Calçados, Santista Alimentos, Dana Albarus - ATH, Dana Albarus -DSC e DPC, Portobello, Randon, por abrirem suas portas para a realização de meus trabalhos, tanto profissionais como acadêmicos.

Agradeço à força criadora de todas as coisas, que possibilitou que eu conhecesse todas estas pessoas.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE QUADROS	xi
NOTAÇÃO ADOTADA	viii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.3 MÉTODO DO TRABALHO	5
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	7
1.6 TERMINOLOGIA	8
1.6.1 Terminologia empregada em Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE)	8
1.6.2 Terminologia relacionada à Apostila Eletrônica	15
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2.2 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS À ENGENHARIA DA QUALIDADE E À ESTATÍSTICA	18
2.2.1 Segundo Douglas Montgomery (1991)	18
2.2.2 Segundo George Box, Willian Hunter e J. Hunter (1978)	19
2.2.3 Segundo K.C. Peng (1967)	20
2.3 PLANEJAMENTO, PROJETO E ANÁLISE EXPERIMENTAL	20
2.3.1 Métodos ou Regras para o Planejamento de Experimentos	20
2.3.1.1 Método de Montgomery	21
2.3.1.2 Planilha de Coleman & Montgomery	24
2.3.1.3 Método de Box, Hunter & Hunter	29
2.3.1.3.1 <u>Ciclos Interativos de Investigação</u>	30
2.3.1.3.2 <u>Detalhamento dos Ciclos Interativos de Investigação</u>	32
2.3.1.4 Método para realização de experimentos de Taguchi segundo Ross (1991)	33
2.3.1.5 Classificação dos Planejamentos Experimentais segundo J. M. Juran	37
2.3.1.6 Abordagem Estratégica para aplicação de DOE segundo DuPont <i>QM&TC</i>	40

2.3.1.7	Etapas Básicas para conduzir experimentos segundo Gaudard (1996)	43
2.3.1.8	Outras Abordagens para Planejar Experimentos	44
2.3.2	Projetos e Análises Considerados Básicos pela Pesquisa Bibliográfica Realizada	45
2.3.2.1	Investigação e Identificação dos Projetos e Análises Considerados Básicos	46
2.3.2.1.1	Segundo William Cochram & Gertrude Cox (1960)	47
2.3.2.1.2	Segundo Douglas Montgomery (1991)	47
2.3.2.1.3	Segundo George Box, William Hunter & J. Stuart Hunter (1978)	48
2.3.2.1.4	Projetos e Análises Identificados como Básicos	49
2.3.2.2	Relação e Descrição dos Projetos e Análises Básicos Investigados	50
2.3.2.2.1	Projetos com 1 único fator	51
2.3.2.2.2	Projetos com 2 ou mais fatores	55
2.3.2.2.3	Projetos em blocos	58
2.3.2.2.4	Projetos do tipo quadrado-latino	61
2.3.2.2.5	Projetos aninhados	64
2.3.2.2.6	Projetos parcionados em células	66
2.3.2.2.7	Projetos fatoriais	69
2.3.2.2.7.1	Projetos fatoriais do tipo 2^k	69
2.3.2.2.7.2	Projetos fatoriais do tipo 2^k fracionados	75
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA MULTIMEIOS PARA O AUXÍLIO AO APRENDIZADO DA TÉCNICA DE PLANEJAMENTO, PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS		81
3.1	ETAPAS PRINCIPAIS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	81
3.2	PRESSUPOSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA MULTIMEIOS	85
3.3	RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS	86
3.4	RECURSOS MULTIMEIOS ANALISADOS	86
3.4.1	<i>HyperText Markup Language</i> – HTML	86
3.4.2	<i>Adobe Acrobat</i>	87
3.4.3	Recurso Escolhido para Realização do Trabalho	88
3.5	TRANSFERÊNCIA DO CONTEÚDO EM MEIO FÍSICO PARA O AMBIENTE VIRTUAL	89
3.5.1	Características Adicionadas	89
3.5.1.1	Características Globais	90
3.5.1.1.1	Atalhos – ‘Links’	90
3.5.1.1.2	Índices – <i>bookmarks</i> e <i>thumbnails</i>	92
3.5.1.1.3	Anotações - <i>Notes</i>	93
3.5.1.1.4	Direcionador de texto - <i>Article</i>	94
3.5.1.2	Características Especiais	96
3.5.1.2.1	Vínculos - <i>Forms</i>	96

3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO APRENDIZADO		108
4.1	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	109
4.1.1	Ambiente e Materiais utilizados	109
4.1.2	Desenvolvimento e Aplicação do Questionário	109
4.1.3	Análise dos Resultados	110
4.1.3.1	Informações básicas	111
4.1.3.2	Questões Objetivas	112
4.1.3.2.1	Cálculos preliminares	112
4.1.3.2.2	Apresentação Gráfica e Análise	113
4.1.3.3	Questões Dissertativas Opcionais	119
4.1.3.3.1	Comentários realizados	121
4.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES		127
5.1	CONCLUSÕES FINAIS SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO	127
5.2	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	130
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		132
ANEXO I - QUESTIONÁRIO		140
ANEXO II - RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO		143
ANEXO III - CÁLCULOS AUXILIARES		147
ANEXO IV - LISTA DE SITES RELACIONADOS		151
ANEXO V - APOSTILA ELETRÔNICA		154
ANEXO VI - ESTRUTURA PARA PLANILHA GUIA E TUTORIAL DE APRESENTAÇÃO DAS INTERAÇÕES		156
ANEXO VII - EXERCÍCIOS RESOLVIDOS		159

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Planilha Guia para Projetos de Experimentos	24
Tabela 2.2- Classificação dos Projetos de Experimentos, segundo J. M. Juran	38
Tabela 2.3 – Enumeração dos Projetos e Análises Identificados como Básicos	50
Tabela 2.4 - Layout do experimento com fatores aninhados	65
Tabela 2.5 - Layout de um projeto aninhado a níveis aleatórios	65
Tabela 2.6 - Layout de um projeto parcionado em células	67
Tabela 2.7 - Tabela de Sinais, para auxílio do cálculo	71
Tabela 2.8 - Análise de Variância dos Dados da Altura de Enchimento	73
Tabela 4.1- Legendas utilizadas para representar simplificadaamente as questões.....	110
Tabela 4.2 (a) - Estatística Descritiva das Questões.....	112
Tabela 4.2 (b) - Estatística Descritiva dos Questionários	113
Tabela 4.3 - Teste Múltiplo de Médias.....	117
Tabela 4.4 - Correlações entre os fatores do questionário	118
Tabela 4.5 - Escala para categorizar respostas da primeira pergunta do questionário.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma da Abordagem Desenvolvida pelo DuPont's (QM&TC).....	41
Figura 2.2 - Exemplos de gráficos: box-plot e dispersão, respectivamente.....	52
Figura 2.3 - Representação gráfica do projeto fatorial 23	71
Figura 2.4 - Gráficos dos fatores principais.....	75
Figura 3.1 - Estágios para o desenvolvimento de produtos.....	82
Figura 3.2 - Exemplo de uma página da apostila eletrônica.....	91
Figura 3.3 - Em destaque, à esquerda, uma margem de bookmarks.....	92
Figura 3.4- Em destaque, à esquerda, uma margem de thumbnails.....	93
Figura 3.5 - Em destaque, as Anotações da apostila.....	94
Figura 3.6 - Visualização da página sem a utilização de <i>articles</i> (a) e com a utilização de <i>articles</i> (b).....	95
Figura 3.7 - Link não linear, que associa conteúdos relacionados.....	97
Figura 3.8 - Indicações de conteúdo na tabela.....	97
Figura 3.9 - Visualização do ícone direcionador a outro aplicativo.	98
Figura 3.10 (a) - Apresentação da página, sem o destaque às equações.....	99
Figura 3.10 (b) - Destaque das equações, acionados pela área zoom.....	99
Figura 3.11 - Vista geral e particular	100
Figura 3.12 (a) - Modelo de tabela ANOVA, com ícone de “grifo”.....	102
Figura 3.12 (b) - “Grifo” de aglutinação habilitado.....	102
Figura 3.13 - Fluxo parcial do Procedimento para Determinação das E(MQ).....	103
Figura 3.14 - Representação gráfica do posicionamento dos sinais.....	104
Figura 3.15 - Representação geométrica dos efeitos	105
Figura 3.16 - Apresentação dos Índices e Distribuições.....	106
Figura 4.1- Apresentação gráfica dos resultados: Avaliação x Fatores	113
Figura 4.2 - Histograma para o fator auxílio nos estudos.....	114
Figura 4.3 - Histograma para o fator conhecimento anterior em PE.....	115
Figura 4.4 - Comparação da aplicação de Projeto de Experimentos nas companhias pesquisadas.....	115
Figura 4.5 - Gráfico de Pareto para as respostas coletadas sobre as questões dissertativas.....	120
Figura VI.1 - Estrutura para Planilha Guia	157
Figura VI.2 - Tutorial de apresentação das interações	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Número de testes contidos em um Projeto Fatorial Completo do tipo 2^7	76
Quadro 2.2 - Níveis de um projeto fatorial fracionado do tipo 2^3	79
Quadro 4.1- Classificação dos fatores quanto à média e desvio-padrão.....	116

NOTAÇÃO ADOTADA

σ^2 - variância da população

s^2_T - variância dos tratamentos

s^2_R - variância dos resíduos

\bar{y}_A - média da amostra A

\bar{y}_B - média da amostra B

RESUMO

Esta dissertação trata do desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta computacional multimeios utilizada no auxílio ao aprendizado de projetos de experimentos básicos. A busca da sociedade por novos produtos e processos, cada vez melhores e de forma mais rápida, determina a necessidade da aplicação de técnicas mais objetivas e eficientes para se alcançar estes desafios. O trabalho de execução visando contemplar o mencionado anteriormente, procedeu-se da seguinte forma: (i) revisão e descrição dos conceitos relativos à Engenharia da Qualidade e ao Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE); (ii) identificação e descrição de métodos ou regras de planejamento experimental; (iii) investigação e identificação dos projetos e análises de experimentos considerados básicos; (iv) desenvolvimento de uma ferramenta multimeios para o auxílio ao aprendizado de PPAE; (v) avaliação da ferramenta desenvolvida, através de um estudo de caso; (vi) conclusões relacionadas ao trabalho desenvolvido.

A abordagem adotada para apresentar a técnica experimental, destacou o planejamento, do projeto e análise, detalhando separadamente os mesmos. Este passo almejou, de forma objetiva, identificar aqueles projetos e análises básicos, iniciais ao aprendizado. A elaboração e posterior avaliação da ferramenta multimeios permitiu perceber a potencialidade da mesma, como um meio instrucional para o tema específico de projetos de experimentos, sendo sua aplicação de relativa facilidade. A avaliação mostrou ainda que existe muito a se avançar nos meios físicos de apresentação/execução deste tipo de ferramenta multimeios.

ABSTRACT

This dissertation is about the development and evaluation of a computational multimedia tool for supporting the learning of basic design of experiments. The society's search for new and improved products and faster processes creates the need for the application of more objective and efficient techniques. Therefore, the work that follows deals with the aforementioned issues through the following steps: (i) revision and description of concepts relative to the Quality Engineering and Planning, Design and Analysis of Experiments (DOE); (ii) identification and description of methods and rules for experimental planning; (iii) investigation and identification of basic designs and analyses of experiments; (iv) development of a multimedia tool to support the learning of DOE; (v) evaluation of the proposed tool, through a case study; (vi) conclusions.

The adopted approach for presenting the design of experiments, highlighted the experimental planning, as much as the design and analysis, in order to identify in an objective way, those basic designs and analyses that introducing the learning. The elaboration and evaluation of the proposed multimedia tool was promising. The evaluation also showed that a lot could still be done for improving the presentation/execution of physical means for this type of multimedia tool.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A busca permanente pelo desenvolvimento social, cultural ou tecnológico, tem como intenção oportunizar à humanidade uma existência de prosperidade, realizações e progresso, fazendo com que cada geração usufrua dos avanços já introduzidos, e acrescente novas realizações em cada um destes campos.

Assim, tem-se observado junto ao meio produtivo a busca da melhoria contínua, que nas décadas de 70 e 80 foram formalmente objetivadas pelas indústrias norte-americanas (Silverman, 1999), tendo como causa principal o crescimento observado no Oriente, com destaque para o Japão, no campo tecnológico, e verificado mais amplamente naquelas décadas.

A melhoria dos processos de manufatura japoneses após a segunda guerra mundial, decorrentes de missões americanas à sua sociedade (Bemowski, 1992), fizeram com que o Japão se recuperasse das perdas pela derrota na guerra, e reerguesse-se como uma das maiores potências mundiais em nível tecnológico, comercial e operacional. Estas melhorias tiveram muitas causas, mas uma das principais foi o investimento no aumento da qualidade de seus produtos e na produtividade dos seus processos (Ishikawa, 1986).

Este aumento da qualidade foi devido ao maciço trabalho realizado por consultores americanos, mais expressivamente por Shewart, Deming, Juran, tanto a nível operacional, como gerencial e diretivo. Cursos sobre como monitorar, controlar, desenvolver e otimizar processos foram inicialmente os responsáveis pelo atingimento das metas de melhoria da qualidade estabelecidas nas missões pós-guerra.

Não se pode entretanto deixar de destacar o extremado envolvimento e comprometimento das empresas, governo e população neste desafio (Iida, 1984), os quais dedicaram seus esforços na tarefa de desenvolver as técnicas apresentadas pelos consultores, aplicando-as no dia-a-dia das empresas, possibilitando assim um processo culturalmente sedimentado, e conseqüentemente robusto.

Mais recentemente, os EUA começaram a se mobilizar para recuperar os espaços perdidos, propiciando um ambiente que desencadeou por todo o mundo um movimento pela permanente busca da qualidade. O Brasil, por posicionar-se como a décima primeira economia mundial (Exame, 1999) e por lutar para permanecer assim, não poderia ficar alheio, tratando de iniciar o seu próprio processo de desenvolvimento competitivo, mais tardiamente, porém ainda em tempo de começar a tentar atingir padrões mundiais de qualidade, a muito necessários e agora exigidos.

A tentativa de auxiliar na assimilação e disseminação de alguns conceitos apresentados pelos consultores americanos em conjunto com seus pares japoneses, desenvolvidos e aplicados nas empresas americanas e japonesas, fizeram com que fosse realizada esta dissertação, na intenção de contribuir, assim como fizeram os japoneses e americanos, pelos seus países, para melhorar a qualidade dos produtos e processos nacionais.

1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA

A presente dissertação tem como tema principal o ensino das técnicas de Engenharia da Qualidade, focando na aplicação de ferramentas computacionais multimeios existentes. A fim de caracterizar a importância desta aplicação, a área de Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE)¹ foi priorizada e utilizada como o assunto central desta aplicação. Foi necessário então, na revisão bibliográfica, destacar os projetos experimentais básicos, ou seja, aqueles que introduzem a técnica, são mais facilmente empregados e mais citados na literatura de PPAE básica e clássica. O curso de mestrado em Engenharia da Qualidade, onde a ferramenta pode ser testada e avaliada, também foi objeto de foco na identificação destes projetos básicos..

Com o advento das redes mundiais de computadores (i.e., Internet), e assim a difusão do acesso mais facilitado e interativo às informações, tornou-se mais clara a utilidade de ferramentas computacionais como assessórios ao ensino, tanto em sala de aula, como em estudos auto-dirigidos extra-classe. Estas ferramentas potencializam estes estudos extra-classe, uma vez que o acesso às informações torna-se mais interessante e interativo (vide por exemplo a facilidade em utilizar os dicionários eletrônicos). A necessidade por novas informações e conceitos tem apresentado crescimento, tornando mais iminente a aquisição acelerada e facilitada dos mesmos. Assim sendo, a utilização de um instrumento que aumente a produtividade e a qualidade da aprendizagem merece atenção, como descrito por Burns (1997). Também a aplicação de outros meios, como a narração, animação ou a possibilidade de configuração personalizada do aprendizado, tornam-se mais evidentes.

Outro ponto importante a destacar é representado pela necessidade verificada a partir da década de 90 e decorrente da abertura de nossas fronteiras comerciais (Watanabe e Petit, 1990, Melo, 1994, Martins, 1995), em aumentar a competitividade dos produtos e processos, ou seja, das empresas responsáveis por sua fabricação e distribuição, tanto no setor industrial como no de serviços, que poderia propiciar a utilização de ferramentas estatísticas de melhoria como PPAE. A disseminação em alguns setores da alta tecnologia após a segunda grande guerra (Parker, 1993 e Pfeifer, 1992), bem como seu uso anterior nas áreas de pesquisa agrária no início do século, (Bisgaard, 1991 e Montgomery, 1992), aliados a sua pouca divulgação em disciplinas não relacionadas à matemática e estatística (Box, 1996), até mesmo nos EUA, criaram uma barreira que dificulta a sua maior aplicação.

Estudos relacionados ao desenvolvimento, melhoria e adequação de novos produtos e processos têm-se tornados cada vez mais freqüentes e necessários, entretanto, são difíceis de serem executados devido ao alto custo de se realizarem experimentos da forma clássica *one-factor-at-a-time*, abordagem ainda disseminada, tanto na indústria, como no meio universitário, em disciplinas não relacionadas à estatística (Box, 1996).

Este formato de experimentação é caracterizado por explorar uma única variável de processo de cada vez (Box, Hunter & Hunter, 1978, Cusimano, 1996, Burnham, 1996), medindo assim a(s) variável(is) resposta(s) de interesse sem considerar alguns pressupostos importantes na condução e elaboração dos experimentos, como a independência do erro

¹ A distinção entre Planejamento e Projeto, bem como da etapa de Análise experimental, será apresentada no decorrer deste trabalho. A adoção da nomenclatura extensa Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE) é melhor compreendida após estes esclarecimentos.

aleatório, do número de ensaios, da significância dos resultados e da interação entre as variáveis, somente para citar alguns deles. Isto, traz prejuízos no tocante à validade dos experimentos como alavanca para a melhoria de produtos e processos, denotando também um experimento muito mais dispendioso, tanto em custo como em tempo, dado que não houveram compromissos entre combinações e efeitos mais importantes, por exemplo, pois normalmente nestes casos não existe uma etapa de planejamento experimental robusta.

Desta forma, as justificativas apresentadas quanto à utilização de uma ferramenta alternativa de ensino, como a necessidade de promover a disseminação dos conceitos relacionados aos projetos experimentais básicos, confirmam a importância da realização desta dissertação.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo Principal: o objetivo principal deste trabalho é a elaboração de uma ferramenta multimeios de auxílio ao aprendizado (FMAA) da técnica de Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE), visando disponibilizar e promover maiores recursos para o ensino nesta área.

Os **objetivos específicos** do presente trabalho são os seguintes:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos, buscando identificar as técnicas que caracterizam-se como básicas.
- Desenvolver um aplicativo tipo apostila eletrônica, que permita o aprendizado das técnicas básicas de forma mais produtiva.
- Realizar um estudo de caso buscando avaliar os benefícios que a utilização do aplicativo possa gerar.
- Emular um ambiente de "Instrutor/Professor" como usuário de ferramentas multimeios, onde os mesmos possam elaborar suas próprias ferramentas de ensino, sem a necessidade de recorrerem a profissionais especializados em multimeios, bem como não requisitar conhecimentos avançados em programação computacional.

1.3 MÉTODO DO TRABALHO

Para o desenvolvimento do presente trabalho, um método geral foi construído, baseado em passos seqüenciais. Assim sendo, o método de trabalho utilizou as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica sobre PPAE: Nesta etapa, buscou-se o máximo de informação sobre PPAE, documentadas em livros, revistas, periódicos, teses e anais de congresso. O objetivo da revisão bibliográfica foi fornecer a fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho.
- Seleção e Aprendizado da ferramenta multimeios utilizada para a construção da apostila eletrônica: esta etapa baseou-se na seleção de um aplicativo computacional que possibilitasse o desenvolvimento da FMAA, seguido do aprendizado do mesmo, potencializando a sua utilização na construção da apostila eletrônica, de importância central para o trabalho.
- Desenvolvimento da ferramenta de auxílio ao aprendizado de PPAE: Caracterizada pela elaboração da FMAA, nesta etapa ocorreram a transferência do conteúdo do meio físico para o meio eletrônico, bem como a construção de uma estrutura visual-interativa que permitisse a utilização da ferramenta de forma dinâmica e interessante.
- Realização de um estudo de caso para testar a FMAA: A utilização da presente ferramenta de auxílio ao aprendizado, executou-se nesta etapa, sendo portanto testada em um curso de PPAE, para posterior avaliação.
- Análise dos resultados: A partir de avaliação requisitada aos participantes do estudo de caso, ocorrido na etapa anterior, procedeu-se nesta, a avaliação dos resultados da FMAA como meio auxiliar no aprendizado de PPAE.
- Relatório final: trata-se deste trabalho, onde os resultados serão discutidos, e as conclusões apresentadas.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho foi estruturado em 5 capítulos, que constituem esta dissertação, sendo os mesmos apresentados a seguir:

Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo visa fornecer informações importantes para a compreensão inicial dos assuntos abordados neste trabalho. Estas informações estão apresentadas através de tópicos, os quais tem o caráter de apresentar resumidamente as questões pertinentes a escolha do tema deste trabalho, sua justificativa e objetivos. A seguir estão descritos o método utilizado para a realização do estudo e a estrutura do mesmo. Ao final são apresentadas as delimitações da pesquisa, bem como a terminologia que será adotada no presente trabalho.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Neste capítulo procurou-se destacar alguns tópicos importantes para o desenvolvimento do trabalho, principalmente relacionados ao Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos. Inicialmente é introduzido o conteúdo do capítulo, sendo apresentados a seguir conceitos básicos relacionados à Engenharia da Qualidade e à Estatística, bem como ao Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos propriamente dito, assuntos estes que serão posteriormente desenvolvidos. Após estão relacionados alguns métodos ou regras que visam a etapa de planejamento experimental, seguido pela exposição dos projetos e análises considerados básicos pela pesquisa realizada, que evidencia a base do conhecimento necessário à elaboração deste trabalho.

Capítulo 3 – Desenvolvimento de uma Ferramenta Multimeios para o Auxílio ao Aprendizado das Técnicas de Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos

Este capítulo busca relacionar os meios e ações que resultaram no desenvolvimento da ferramenta multimeios para auxílio ao aprendizado dos projetos experimentais. Para tanto, foram relacionados os recursos computacionais físicos e de multimeios utilizados na elaboração da ferramenta. Finaliza o capítulo a apresentação de como foi realizada a transferência do conteúdo em meio físico para o ambiente virtual, destacando todos os elementos utilizados para a realização desta tarefa.

Capítulo 4 – Avaliação da Ferramenta de Auxílio ao Aprendizado (FAE)

Neste capítulo estão relacionados os tópicos relativos ao experimento/estudo de caso objeto deste trabalho. É, portanto, descrito o experimento utilizado para o teste da ferramenta multimeios, a forma como foi executado e a conseguinte análise realizada a partir dos dados coletados. Ao final estão relacionadas algumas considerações sobre a ferramenta elaborada e testada.

Capítulo 5 – Conclusões

Este capítulo apresenta um breve resumo do estudo desenvolvido, dando ênfase às observações decorrentes da análise dos resultados do estudo de caso. Além disto, apresenta uma lista de possíveis trabalhos/pesquisas futuras, visando a ampliação do conhecimento sobre o tema proposto.

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este estudo não busca abranger todo o assunto relacionado ao Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos e nem às ferramentas multimeios existentes, tampouco verificar qual abordagem em relação ao ensino é mais adequada, sendo assim importante apresentar as delimitações do mesmo:

- O trabalho não tem intenção de identificar a ferramenta computacional multimeios mais avançada, limitando-se somente à seleção da mais apropriada, considerando um conjunto de características e restrições, apresentadas no Capítulo 3.
- O trabalho não intenciona destacar todas as técnicas de planejamento experimental existentes, propondo apenas que um conjunto de técnicas básicas seja destacado. Para tanto utilizaram-se os autores de livros relacionados à área mais conhecidos, bem como a revisão de artigos relacionados com o tema.
- O trabalho não intenciona ser definitivo no tocante a aplicação dos meios de interação apresentados (multimeios), somente apresenta algumas alternativas.
- O trabalho não apresentará resultados definitivos quanto ao aprendizado assistido por computador, nem a outras alternativas de aprendizado, somente indicará que em

um determinado grupo esta prática obteve ou não sucesso, tomando como base os resultados obtidos através da etapa de análise do estudo de caso.

1.6 TERMINOLOGIA

A lista dos termos e conceitos que são utilizados neste trabalho constitui uma pesquisa à parte, baseada na literatura da área, tanto física como virtual, dado que muitas das definições foram retiradas de páginas existentes na Internet, de organizações identificadas com o assunto abordado neste trabalho. Podem ocorrer algumas redundâncias com termos novamente descritos no decorrer do trabalho, entretanto, como no corpo do texto, algumas informações adicionais se fazem necessárias, optou-se por aceitá-las.

1.6.1 Terminologia empregada em Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE)

1. **Acurácia** - conceito que designa o quão próximo uma dada medição se encontra da medida verdadeira. Uma medição acurada é uma medição que se aproxima fortemente do valor real. (Cochran, 1960, p. 16);
2. **Aleatorização** - técnica de amostragem na qual unidades amostrais são selecionadas de uma forma que todas as combinações das n unidades em consideração têm chance igual de serem selecionadas. (Bemowski, 1992, p. 27);
3. **Amostra** - conjunto de observações retiradas de uma população.;
4. **Análise de Variância ou ANOVA (*Analysis of Variance*)** - técnica estatística básica para analisar dados experimentais. Ela subdivide a variação total do conjunto de dados em partes significativas, associadas com fontes específicas de variação, a fim de verificar as hipóteses associadas aos parâmetros do modelo ou para estimar os componentes de variação. (Bemowski, 1992, p. 20);
5. **Aninhado (experimento aninhado)** - experimento no qual os níveis de um fator estão contidos pelos níveis de um outro fator. (Hicks, 1993, p. 450);

6. **Balancedo (projeto balanceado)** - projeto que dispõe um número igual de n observações em cada célula experimental (conjunto de observações coletadas sobre condições comuns). Em projetos não balanceados, o número de observações, conseqüentemente, é diferente para cada célula. Isto se deve, por exemplo, quando problemas não previstos ocorrem em um projeto balanceado na etapa de coleta de dados, resultando na perda de algumas observações. A análise de variância para projetos não balanceados apresenta dificuldades extras, devido a perda da propriedade de ortogonalidade (definição apresentada a seguir) (Montgomery, 1991, p. 244-245);
7. **Blocagem** - é uma técnica utilizada para aumentar a precisão de um experimento. Um bloco é uma porção de material experimental que deveria ser mais homogênea do que o quantidade total do material. A blocagem envolve a realização de comparações entre as condições de interesse em um experimento dentro de cada bloco. (Montgomery, 1991, p. 9);
8. **Confundimento** - é dito que há um confundimento entre os efeitos de dois ou mais fatores ou interações, quando estes efeitos não podem ser separados através da análise dos resultados. O confundimento, portanto, pode ser prejudicial ao experimento por sobrepor os efeitos. Entretanto, em alguns casos, ele torna o experimento viável do ponto de vista prático, como em projetos fatoriais fracionados. No caso de experimentos fracionados, se o confundimento é planejado, a perda de informações pode ser mínima. (Montgomery, 1991, p. 3 e 319);
9. **Contraste** - em muitas situações é necessário comparar os resultados obtidos em dois níveis de um mesmo fator ou interação. Neste caso, é útil examinar a diferença $L = x_1 - x_2$. Esta diferença é chamada de contraste;
10. **Efeito (de um fator)** - é definido como sendo a modificação na resposta produzida por uma mudança no nível do fator de um experimento. Os efeitos expressam, de uma forma geral, a diferença média entre os níveis de um fator, ou melhor, o contraste médio. Pode-se verificar algumas vezes que a diferença na resposta entre os níveis de um fator não é a mesma para todos os níveis dos outros fatores, quando isto ocorre, é dito que existe uma *interação* entre estes fatores. (Montgomery, 1991, p. 197 e Guttman, 1971, p. 148);
11. **Efeito aleatório** - efeito de um fator cujos níveis são configurados aleatoriamente para os possíveis níveis. (Hicks, 1993, p. 451);

12. **Efeito fixo** - efeito de um fator cujos níveis são configurados em valores específicos. (Hicks, 1993, p. 449);
13. **Erro tipo I** - rejeitar incorretamente uma hipótese nula verdadeira. A probabilidade de se cometer este erro é chamada risco α . (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
14. **Erro tipo II** - não rejeitar uma hipótese nula falsa. A probabilidade de se cometer este erro é chamada risco β . (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
15. **Estatística** - qualquer quantidade calculada a partir de uma amostra de dados. Estatísticas podem sumarizar medições como média da amostra e desvio-padrão da amostra, ou constituírem-se de representações gráficas de dados, como histogramas. Quando referente à média ou ao desvio-padrão da população, no caso da mesma ser normalmente distribuída, o termo parâmetro é utilizado. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
16. **Fator** - variável em um modelo estatístico cujo efeito sobre variável(eis) dependente(s) pode ser estudado. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
17. **Fracionamento** - quando é necessário o emprego de ensaios em número reduzido, poder ser inevitável que certos efeitos dos fatores apresentem-se confundidos com outros, sendo o confundimento a chave principal do fracionamento do experimento.

Portanto, é dito que um projeto está fracionado, quando somente uma parcela ou fração do mesmo é executada. Por exemplo, no caso de experimentos preliminares, onde muitos fatores e/ou níveis são ensaiados e existe a hipótese de que interações entre 3 ou mais fatores não sejam significativas, procede-se o confundimento destes fatores, fracionando o experimento.

18. **Graus de Liberdade** - termo utilizado em estatísticas para caracterizar um número de partes independentes de informação contidas em uma amostra. Por exemplo, se considerada uma amostra aleatória de n observações e se forem estimados os desvios em relação à média (para fins de cálculo do desvio padrão ou da variância) verifica-se que existem apenas $(n-1)$ medições independentes, pois o cálculo da média mobiliza um grau de liberdade. De modo similar, em uma regressão simples, onde estima-se o intercepto e a declividade, somente $(n-2)$ graus de liberdade permanecem para a medição da

variabilidade acerca da linha ajustada. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);

19. **Hipótese nula (H_0)** - é a hipótese de que nenhuma modificação feita em um sistema ou processo causará diferenças no mesmo. Se houver dúvida sobre a hipótese nula, afirma-se que ocorreu uma diferença *estatisticamente significativa*. (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 34);
20. **Hipótese alternativa (H_1)** - é a hipótese oposta à hipótese nula. Se a hipótese nula não for aceita, afirma-se que a hipótese alternativa é verdadeira.;
21. **Homogeneidade da Variância (homoscedasticidade)** - termo referente a situações nas quais a variabilidade dos resíduos é constante para toda amostra. Muitos procedimentos estatísticos como regressão e análise de variância assumem que a variabilidade dos resíduos é constante para todos os níveis de um fator experimental. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000 e Black, 1993, p. 61);
22. **$IDN (0, \sigma^2)$** - a notação representa um conjunto de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, segundo uma distribuição normal com média zero e variância σ^2 . (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 78);
23. **Independência** - Duas observações são ditas estatisticamente independentes quando o valor de uma observação não influenciar, ou alterar, o valor da outra. Muitos procedimentos estatísticos assumem que os dados disponíveis representam uma amostra aleatória de observações independentes. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
24. **Inferência Estatística** - é a projeção dos resultados obtidos de uma amostra sobre uma população maior. Estatísticas Descritivas (como a média ou um histograma) fornecem métodos concisos para resumir uma grande quantidade de informação. Entretanto, são as inferências estatísticas que permitem inferir resultados sobre uma população a partir de uma amostra.

Por exemplo, é virtualmente impossível medir uma população inteira, mas por inferência estatística pode-se utilizar as estatísticas medidas de uma amostra para proceder demonstrações sobre a população não medida. Entretanto, para utilizar o poder da inferência estatística, certos pressupostos sobre a estatística devem primeiro ser satisfeitos.

Por exemplo, realizar corretas inferências sobre a população a partir de uma amostra pressupõe a utilização de procedimentos de amostragem aleatorizada. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);

25. **Interação** - situação na qual o efeito de um fator depende do nível do outro fator. Interações são incluídas em modelos estatísticos quando os fatores não agem de uma forma puramente aditiva. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
26. **Modelo tipo I (modelo com efeitos a níveis fixos)** - modelo que inclui somente efeitos fixos. (Hicks, 1993, p. 449);
27. **Modelo tipo II (modelo com efeitos a níveis aleatórios)** - modelo de um experimento fatorial no qual os níveis de um fator foram selecionados aleatoriamente. (Hicks, 1993, p. 451);
28. **Modelo tipo III (modelo com efeitos a níveis mistos)** - modelo no qual poderão existir efeitos a níveis fixos, bem como efeitos a níveis aleatórios. (Montgomery, 1991, p. 224);
29. **Nível (de um fator)** - os níveis são divisões nas quais um dado fator é estudado. Por exemplo, se o fator estudado for temperatura, os níveis podem ser 100°, 120° e 140°, ou seja, 3 níveis de verificação; se o fator estudado for o dia da semana, os sete dias podem representar os níveis de interesse.;
30. **Nível de Significância** - nível de significância é a probabilidade de um resultado ocorrer ao acaso. O nível de significância do erro tipo I indica o grau de risco ou probabilidade de cometer o erro de rejeitar a hipótese nula quando esta for verdadeira, referenciada como nível *a*. O nível de significância do erro tipo II indica o grau de risco ou probabilidade de cometer o erro de aceitar a hipótese nula quando esta for falsa, referenciada como nível *b*. (Disponível na Internet, Keeves, 04/02/2000);
31. **Normalidade (distribuição normal)** - distribuição de probabilidade contínua utilizada para caracterizar uma ampla gama de variáveis. A Normal é uma distribuição simétrica, com formato de sino, inteiramente determinada por sua média e desvio-padrão.

Muitos procedimentos estatísticos clássicos, como intervalos de confiança, baseiam-se nos resultados de uma distribuição normal. A distribuição normal é também conhecida como distribuição de Gauss. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);

32. **Ortogonal** - ortogonal tem um significado geométrico que identifica planos ou sólidos que possuem ângulos retos. Os arranjos ortogonais são projetos de experimentos especiais utilizados nos procedimentos de Taguchi. (Hicks, 1993, p. 450);
33. **Parâmetro de Controle (ou variável de controle, ou fator controlável)** - variável que será controlada durante a execução do experimento. A variável ou variáveis de controle, dispostas a vários níveis, representam o parâmetro de entrada do processo experimental. Para certos valores dos níveis das variáveis de controle, espera-se observar variações em um ou mais variáveis resposta.;
34. **Parcionamento (*split-plot*)** - projeto experimental no qual um efeito principal é confundido em blocos, devido a necessidades práticas associadas à ordem de experimentação. (Hicks, 1993, p. 451);
35. **População** - conjunto de total de observações que conceitualmente pode ocorrer como resultado da realização de uma processo ou operação em particular. (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 27);
36. **Repetição** - o mesmo que replicação.;
37. **Replicação** - a replicação dos tratamentos experimentais permite, sem alterar o arranjo experimental, aumentar a precisão da estimativa dos efeitos associados aos fatores, através da minimização do erro experimental associado à amostra. (Montgomery, 1991) Replicar um experimento consiste em repetir suas rodadas ou tratamentos experimentais.;
38. **Resíduos** - resíduos são os resultados da subtração entre as observações ou dados coletados e a média da amostra da qual resultou estas observações. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
39. **Resolução tipo III (projetos com)** - são projetos nos quais nenhum efeito principal está vinculado (confundido) com qualquer outro efeito principal, mas efeitos principais estão vinculados com interações de dois fatores e interações de dois fatores podem estar vinculadas entre si. (Montgomery, 1991, p. 339);
40. **Resolução tipo IV (projetos com)** - são projetos nos quais nenhum efeito principal está vinculado a outro efeito principal ou a interações de dois fatores, mas interações de dois fatores estão vinculadas entre si. (Montgomery, 1991, p. 339);

41. **Resolução tipo V (projetos com)** - são projetos nos quais nenhum efeito principal ou interação de dois fatores estão vinculadas a qualquer outro efeito principal ou interação de dois fatores, mas interações de dois fatores estão vinculadas a interações de três fatores. (Montgomery, 1991, p. 340);
42. **Risco α** - probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. Também designada por erro tipo I. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
43. **Risco β** - probabilidade de não rejeitar a hipótese nula quando ela é falsa. Também designada por erro tipo II. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
44. **Robustez** - uma estatística robusta permanece válida mesmo quando alguns dos pressupostos que regram seu uso são violados. (Disponível na Internet, Keeves, 04/02/2000);
45. **Ruídos** - ruído, em um senso estatístico, refere-se aos erros aleatórios ou efeitos de fatores não controláveis associados ao processo ou sistema analisado. O termo é utilizado como uma analogia direta com a detecção clara, em uma transmissão de rádio, de um sinal que é adversamente influenciada por distúrbios atmosféricos ou ruído. (Disponível na Internet, Keeves, 04/02/2000);
46. **Split-plot (parcionamento)** - tipo de arranjo experimental, que apresenta algumas restrições à aleatorização completa, muitas vezes exigida devido a características técnicas e financeiras envolvidas. Ver Parcionamento.;
47. **Teste de Hipótese** - teste baseado em uma amostra de dados para determinar quais de dois diferentes estados da natureza é verdadeiro. Os dois estados da natureza são comumente chamados de hipótese nula e hipótese alternativa. (Disponível na Internet, STATPOINT, 04/02/2000);
48. **Tratamentos** - uma dada combinação mostrando os níveis de todos fatores a serem rodados para um certo conjunto de condições experimentais. (Hicks, 1993, p. 452);
49. **Variável Resposta** - variável de interesse, normalmente que se deseja otimizar. Esta ou estas variáveis são, então, objeto de monitoramento e medição, coletados nos diversos níveis dos fatores experimentais, gerando observações que serão posteriormente analisadas.

1.6.2 Terminologia relacionada a Apostila Eletrônica

1. **Atalho** - o mesmo que *link*.;
2. **Articles (direcionadores de texto)** - possibilitam a conexão de partes relacionadas de um documento, pela criação de um roteiro de leitura entre os documentos. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);
3. **Bookmarks (índices)** - são elementos que identificam (marcam) partes de um documento para tornar seu acesso mais rápido, fornecer atalhos para visualização de páginas em outros documentos e na Internet, executar vídeos ou sons, adicionar outros elementos, etc. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);
4. **Forms (vínculos)** - elemento que contempla uma gama de funções, que vão da criação de formulários de dados a partir de uma cópia física, via *scanner*, até funções como atalhos, permitindo também explicações que não fazem parte do texto, até telas animadas dentro da página. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);
5. **Hipertexto** - texto não restrito a um formato linear, que permite conexões ramificadas a outros textos.;
6. **Links (atalhos)** - são elementos que possibilitam conectar partes de um documento, possibilitar o deslocamento para outros documentos, abrir arquivos de outros aplicativos, localizar um endereço na Internet, permitir a execução de um vídeo ou som, inserir outros elementos, ocultar ou evidenciar uma anotação, permitir a importação de formulários de dados, etc. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);
7. **Macro** - é um programa elaborado para automatizar uma série de comandos computacionais, tornando as tarefas rotineiras menos tediosas.;
8. **Notes (anotações)** - são elementos que podem ser criados em qualquer página de um documento e posicionado em qualquer lugar nesta página. Os *notes* são campos para anotações, que podem conter até 5000 caracteres romanos. Podem ser identificados com cores diferentes, bem como rótulos (cabeçalhos) que distingam os comentários neles contidos. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);

9. **Plug-ins** - são programas que ampliam a capacidade de outros programas de uma forma bem específica – dando, por exemplo, a capacidade ao *Adobe Acrobat* de capturar páginas do Excel, Word, PowerPoint, bem como páginas capturadas através de um *scanner*, e reconhecer os caracteres ali impressos.
10. **Thumbnails (índices)** - é uma vista em miniatura de cada página do documento que pode ser visualizada na área específica. Pode-se utilizar este elemento como um atalho rápido para outra página, para ajustar a visualização da página atual, e para mover, inserir, copiar, substituir e apagar páginas mais facilmente. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);
11. **Vínculo** - o mesmo que *forms*.;
12. **Zoom** - elemento que permite selecionar opções de ajuste visual das páginas. O resultado do nível de aumento ou diminuição da imagem, em unidades percentuais relativas a página inicial, é mostrado no rodapé da tela. (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996);

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os conceitos e conteúdos apresentados neste capítulo têm por objetivo expor o conhecimento necessário para realizar a presente dissertação, bem como evidenciar o compromisso com os assuntos previamente desenvolvidos por outros profissionais, pesquisadores e instituições atuantes ou usuárias da técnica de Engenharia da Qualidade, conhecida como Projeto de Experimentos.

Por estarem intimamente relacionadas ao tema da dissertação, as áreas da engenharia da qualidade e estatística mereceram um destaque quanto a seus aspectos básicos, sendo importante ressaltar alguns conceitos relacionados a estes campos, que serão posteriormente abordados neste trabalho.

O surgimento e progresso da técnica de projetos de experimentos serão apresentados, delimitando de forma resumida o entendimento sobre esta ferramenta de melhoria e sua atual aplicação, esta limitando-se a área industrial.

No decorrer do capítulo serão relacionados os destaques da literatura quanto ao que é básico para o planejamento, o projeto e a análise de experimentos, abordando cada tópico de forma a tornar evidente os conhecimentos adquiridos e necessários para a execução desta dissertação.

As considerações finais apresentam os aspectos mais importantes da revisão, destacando aqueles tópicos de maior interesse para a continuidade da dissertação.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS À ENGENHARIA DA QUALIDADE E À ESTATÍSTICA

Os conceitos aqui apresentados resumem aspectos importantes para o entendimento do presente trabalho. Estes conceitos relacionam-se com Engenharia da Qualidade e Estatística, vinculando-se ao foco desta revisão bibliográfica, os Projetos de Experimentos. Considerando que estes conceitos são amplamente discutidos na literatura, é oportuno apresentá-los, dividindo-os segundo aqueles autores que possuem representatividade em relação ao assunto.

2.2.1 Segundo Douglas Montgomery (1991)

Segundo o autor, os únicos conhecimentos básicos necessários para compreensão dos projetos de experimentos são: distribuição normal, t , qui-quadrado e F , intervalos de confiança e testes comuns de hipóteses. Assim, os conhecimentos adquiridos em estatística básica fornecem o suporte necessário para o aprendizado do conteúdo de PPAE.

É importante também ressaltar a definição do autor sobre projetos de experimentos (Montgomery, 1991, p. 1): “Um experimento projetado é um teste ou uma série de testes nos quais modificações propositalmente são feitas nas variáveis de entrada do processo ou sistema, a fim de observar e identificar o efeito destas modificações nas respostas de saída.” Esta definição explícita de forma básica o que é um experimento, destacando ações que nele são realizadas, permitindo um entendimento mais simplificado do mesmo.

O autor relaciona então, três princípios básicos, observáveis na execução da técnica experimental: (a) replicação, (b) aleatorização e (c) blocagem. As definições para esses conceitos, encontra-se no item 1.6.1, *Terminologia empregada em Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE)*.

Assim como as replicações, os blocos podem ser determinados ou desdobrados antes ou durante a condução do experimento, dependendo dos resultados parciais observados, mencionado nas recomendações para execução do experimento, mais especificamente no Passo 7, discutido por Montgomery (1991), e apresentado nesta dissertação, no Capítulo 2, item 2.3.1, *Métodos e Regras para Planejamento de Experimentos*.

2.2.2 Segundo George Box, Willian Hunter e J. Hunter (1978)

Os autores apresentam três fontes de dificuldade que podem ser minimizadas com os métodos estatísticos: (a) erro aleatório (ruído), (b) confundimento entre correlação e causalidade, e (c) complexidade dos efeitos.

O conceito de erro aleatório (ou ruído) é previamente apresentado no item 1.6.1, *Terminologia*. Pode-se acrescentar, no entanto, que alguns efeitos importantes podem estar parcial ou totalmente ocultos pelo erro aleatório e que efeitos dito importantes, podem na verdade não existirem. O prejuízo provocado pelos efeitos do erro aleatório pode ser amplamente reduzido pelo emprego adequado dos projetos e análises de experimentos.

Com relação ao confundimento entre correlação e causalidade, é interessante citar o exemplo apresentado por Gustav Fisher apud Box, Hunter & Hunter (1978). Esse exemplo trata do suposto relacionamento entre o crescimento da população da cidade de Oldenburg e o aumento do número de cegonhas observadas na mesma localidade. Percebe-se então, que algumas vezes pode-se confundir a correlação, ou proporcionalidade das observações entre dois fatores que crescem ou diminuem em função do tempo, com a causalidade dessas observações serem consequência somente da passagem do tempo, ou no caso, relacionado ao aumento natural das populações de ambos os seres. Apresentar correlação não determina que um fator interfira (cause alteração) em outro fator.

A última fonte de dificuldade, complexidade dos efeitos, atribui aos projetos experimentais tanto efeitos lineares e aditivos, como efeitos interativos e não-lineares, possibilitando estimativas com menor interferência do erro aleatório.

Box, Hunter & Hunter (1978), no exemplo sobre os efeitos do álcool e do café sobre o tempo de reação de motoristas operando um simulador, deixa claro os conceitos de não-linearidade, ou seja, que se uma dose de whisky aumenta o tempo de reação em 0,45 segundo, duas doses não necessariamente irão representar um retardo na reação de 0,90 segundo, tendo-se que considerar também o efeito de outras doses, por ventura, consumidas anteriormente. O mesmo raciocínio é feito a respeito da não-aditividade, ou seja, que uma xícara de café, apesar de diminuir o tempo de reação em 0,20 segundo, se ingerida conjuntamente com uma dose de whisky, não irá representar um aumento no tempo de resposta de 0,25 segundo ($0,45 - 0,20 = 0,25$), o que significa dizer que deve existir uma interação entre estes fatores, resultante em uma resposta diferente dos modelos lineares e aditivos.

2.2.3 Segundo K.C. Peng (1967)

Segundo K. C. Peng (1967), existem pressupostos que devem ser observados quanto aos projetos experimentais, bem como potenciais ações para conseguí-los. Esses pressupostos referem-se: (a) à independência estatística dos erros, (b) à homogeneidade das variâncias dos erros e (c) a normalidade dos erros. Esses conceitos encartam-se no item 1.6.1, *Terminologia*, previamente apresentados.

Desta forma, os conceitos básicos observados na elaboração, condução e análise de um experimento, na perspectiva dos autores mencionados, podem ser resumidamente apresentados: a) conceitos básicos de estatística como distribuição normal, *t*, chi-quadrada, e *F*, intervalos de confiança e testes de hipóteses; b) replicação; c) aleatorização; d) blocagem; e) erro aleatório; f) correlação *versus* causalidade; g) interação; h) independência dos erros; i) homogeneidade da variância dos erros; e j) normalidade dos erros. Alguns desses "conceitos" também podem ser percebidos mais amplamente como "cuidados" que devem ser tomados nos projetos de experimentos.

2.3 PLANEJAMENTO, PROJETO E ANÁLISE EXPERIMENTAL

O Planejamento, Projeto e Análise Experimental, designado na literatura por Projeto de Experimentos (*Design of Experiments*), contempla e portanto requer, discussões nas etapas do planejamento, do projeto e da análise dos experimentos, dado que a despreocupação com qualquer destas etapas pode invalidar os resultados obtidos a partir dos mesmos.

Assim, parte-se para a discussão mais detalhada, tanto do planejamento experimental, como do projeto e análise dos experimentos, resultantes da pesquisa bibliográfica para identificação das técnicas básicas relacionadas.

2.3.1 Métodos ou Regras para o Planejamento de Experimentos

A etapa de planejamento, anterior ao projeto e à análise, normalmente não recebe destaque importante na literatura. Isto ocorre, pois os arranjos experimentais e os aspectos matemáticos associados à análise são mais amplamente discutidos, restringindo assim, os espaços destinados à etapa de planejamento. Provavelmente isto deve-se à dificuldade para

abordar o tema, dado a diversidade de cenários associados à aplicação de experimentos. Por requerer um ambiente previamente identificado, onde informações detalhadas são necessárias, a etapa de planejamento acaba não ocorrendo na prática, e conseqüentemente, menor destaque lhe é conferido. Coleman e Montgomery (1993, p. 1) discutem estas afirmações, quando mencionam que “os estatísticos que projetam os experimentos conjuntamente com os cientistas e engenheiros (os “investigadores”) usualmente enfrentam uma barreira relacionada ao conhecimento e experiência.” Estes autores informam que, a formação de quem elabora o arranjo experimental e de quem define as informações necessárias (por exemplo, as variáveis resposta a serem coletadas), não convergem e, portanto, os experimentos não conseguem reproduzir o ambiente real.

As discussões apresentadas anteriormente, podem ter sido consideradas menos importantes no início do desenvolvimento da técnica de projetar e analisar experimentos. Naquele ambiente, não havia disponibilidade para realização de cálculos e representações gráficas de forma rápida e precisa, como houve após a introdução dos computadores pessoais. Neste novo contexto, discutir e disponibilizar ao planejamento experimental o mesmo espaço destinado anteriormente aos projetos e análises é fundamental.

Por outro lado, alguns autores tem escrito e discutido o assunto, criando métodos e regras gerais de aplicação e utilização do PPAE. Esses métodos ou regras foram brevemente apresentados a seguir. Não é intenção do presente relato desenvolver um método geral de identificação da estratégia e do arranjo experimental mais apropriados.

2.3.1.1 Método de Montgomery

A abordagem apresentada por Montgomery (1991), tem como objetivo descrever aspectos importantes para a condução e realização de experimentos. Estes aspectos podem ser agrupados em três tópicos principais: (a) objetivos, (b) questões básicas preliminares e (c) regras gerais, retirados de Montgomery (1991). Estes aspectos são assim apresentados:

(a) Objetivos:

1. Determinar quais variáveis influenciam mais a resposta.
2. Determinar onde configurar os fatores ou parâmetros de influência, para que a variável resposta esteja quase sempre próxima do valor nominal desejado.

3. Determinar onde configurar os fatores de influência para que a variabilidade da variável resposta seja pequena.
4. Determinar onde configurar os fatores de influência para que os efeitos dos fatores não-controláveis sejam minimizados.

(b) Questões básicas preliminares:

1. Os cenários experimentais a serem analisados são os únicos de interesse ?
2. Existem mais fatores que podem afetar as variáveis resposta e que poderiam ser investigados ou controlados no experimento ?
3. Quantas observações independentes podem ser testadas em cada cenário experimental projetado ?
4. Podem as unidades observadas estarem associadas aos cenários experimentais, e qual deveria ser a ordem de coleta dos dados ?
5. Qual método de análise de dados deveria ser utilizado ?
6. Qual diferença nas respostas médias entre os diversos cenários experimentais seria considerada importante ?
7. Como é realizada a coleta dos dados, dado que o método de coleta de dados pode afetar adversamente as conclusões que podem ser obtidas a partir do experimento.

Estas questões devem ser revisitadas sempre que for necessário esclarecer os procedimentos descritos nas **regras gerais**, apresentadas a seguir:

(c) Regras gerais para projetos de experimentos:

Para utilizar a abordagem estatística no projeto e na análise experimental, é necessário que os envolvidos no experimento tenham a idéia clara do que será estudado, como os dados serão coletados, e possuir ao menos um entendimento qualitativo de como estes dados serão analisados.

1. Reconhecimento e “Verbalização” do problema.

A identificação do problema, por todos os envolvidos no experimento, contribui decisivamente no sucesso do mesmo.

2. Escolha dos fatores e dos níveis.

O estabelecimento da amplitude e dos níveis dos fatores deve dar-se como um compromisso entre a experiência prática e a compreensão teórica.

3. Seleção da variável resposta.

Deve-se escolher atentamente a variável resposta, verificando se a mesma fornecerá as informações requeridas. O erro de medição, ou capacidade do instrumento de medida, deve ser levado em consideração, para evitar rupturas na interpretação dos dados.

4. Escolha do projeto experimental.

Deve-se considerar o tamanho da amostra (número de replicações), a ordem experimental, bem como a existência de alguma restrição quanto à blocagem ou à aleatorização.

5. Realizar o experimento.

Deve-se garantir que o plano experimental seja executado adequadamente. Qualquer descuido na execução compromete os resultados e a análise. Os executores do plano (em experimentos industriais, normalmente, operadores) devem estar a par da importância e objetivo do processo experimental.

6. Análise dos dados.

Métodos de análise estatística tornam os resultados e conclusões do experimento mais robustos à subjetividade, como mencionado por Vick (1992).

7. Conclusões e recomendações.

A representação gráfica dos resultados nesta etapa é uma necessidade, para facilitar a interpretação e comunicação aos demais envolvidos com as ações futuras. Recomenda-se que o processo experimental seja iterativo, ou seja, que o plano, projeto, e análise sejam revisados em determinados pontos do processo.

De acordo com Montgomery (1991), os gastos das primeiras etapas do experimento, como regra geral, não devem exceder mais que 25 % do total de gastos orçados, regra esta também exposta por Box, Hunter & Hunter (1978).

Pode-se compreender, a partir da observação destes aspectos, que o planejamento experimental é uma atividade detalhada, na qual diversas variáveis estão envolvidas e que, para se atingir os objetivos, é necessário além de responder a questões básicas, seguir um método que conduza a resultados reais. É também atribuído ao compromisso dos envolvidos no processo experimental (estatísticos, engenheiros, operadores, etc.) o seu sucesso ou fracasso.

2.3.1.2 Planilha de Coleman & Montgomery

Coleman e Montgomery (1993), publicaram em “*A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment*”, um resumo das “regras gerais” (Montgomery, 1991) descritas no tópico 2.3.1.1., a Planilha Guia para Projetos de Experimentos, mostrada a seguir na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Planilha Guia para Projetos de Experimentos

1.	Nome do Experimentador e da Organização: Título do Experimento:
2.	Objetivos do Experimento (deve ser não tendencioso, específico, mensurável e ter alguma consequência prática):
3.	Conhecimentos já existentes e relevantes sobre as variáveis resposta e controle: (a) relacionamentos teóricos; (b) conhecimento e experiência de especialistas; (c) experimentos anteriores. Onde este experimento se enquadra no estudo do processo ou sistema?
4.	Listar: (a) cada variável resposta , (b) nível normal da variável resposta no processo em questão, e a distribuição ou o intervalo de operação normal, (c) a precisão ou o intervalo na qual pode ser medida esta variável (e como):
5.	Listar: (a) cada variável controle , (b) nível normal da variável de controle no processo em questão, e a distribuição ou o intervalo de operação normal, (c) a(s) precisão(ões) ou amplitude na qual pode ser ajustada esta variável (para o experimento, não para a operação normal da planta) e a precisão na qual ela

	pode ser medida, (d) os ajustes propostos para as variáveis de controle, e (e) o resultado (pelo menos qualitativo) que os ajustes irão provocar em cada variável resposta:
6.	Listar: (a) cada fator que deve ser " mantido constante " no experimento, (b) seu nível desejado e permitido ou o intervalo de variação, (c) a precisão ou o intervalo no qual ele pode ser medido (e como), (d) como ele pode ser controlado, e (e) seu impacto esperado, se houver, em cada uma das variáveis resposta:
7.	Listar: (a) cada fator de ruído (talvez função d o tempo), (b) precisão de medida, (c) estratégia (ex.: blocagem, aleatorização, ou seleção), e (d) efeitos antecipados:
8.	Listar e identificar interações conhecidas ou suspeitas:
9.	Listar as restrições do experimento, por exemplo, facilidade em modificar as variáveis controle, métodos de aquisição de dados, materiais, duração, número de rodadas, tipo da unidade experimental (necessário para o projeto parcionado em células), regiões experimentais "ilegais" ou irrelevantes, limites à aleatorização, ordem experimental, custo da modificação das variáveis controle, etc.:
10.	Relacionar as preferências de projeto , se houver, e as razões da preferência, incluindo blocagem e aleatorização:
11.	Se possível, proponha as técnicas de apresentação e análise , por exemplo, gráficos, ANOVA, regressão, <i>teste t</i> , etc.:
12.	Quem será responsável pela coordenação do experimento?
13.	As rodadas dos testes podem ser conduzidas? Porquê/ porquê não?

Fonte: Coleman e Montgomery (1993, p. 4)

Há ainda, para os passos de 4 a 8, o que os autores chamaram de “estrutura” para esta planilha, onde é apresentada uma tabela para alocação das variáveis resposta, para variáveis de controle, fatores a serem mantidos constantes e para fatores de ruído. São destacados também uma tabela para descrição das interações, bem como um tutorial para apresentação gráfica dos resultados (Anexo VI).

O artigo que continha esta planilha, foi apresentado juntamente com outros 5 (cinco) artigos, cuja intenção foi inserir uma discussão crítica sobre a mesma, colhendo a opinião de outros pesquisadores. Os objetos destas críticas foram comentários para a melhoria da planilha, concentrando-se naquilo que é objetivo único de todos os pesquisadores, ou seja, a utilização mais ampla dos projetos de experimentos.

Pela pertinência destes comentários para o aprimoramento da Planilha Guia, alguns deles foram descritos a seguir, dado que o seu conjunto constitui em verdade a planilha finalizada. A forma adotada abaixo para a apresentação destes comentários, configura-se da seguinte maneira: as críticas e comentários sobre a Planilha Guia contidos nos 5 artigos foram apresentadas no tópico Críticas, sendo que estas foram numeradas, conforme pode ser visto a seguir; as respostas e considerações sobre estas críticas, apresentadas pelos autores da Planilha Guia (Coleman e Montgomery, 1993), foram inseridas no tópico Respostas, que também recebeu numeração, correspondente a das críticas.

- Crítica 1:

Gunter (1993), nas discussões sobre a presente planilha, comenta que no passo 6, “Interações”, a tabela apresentada (Anexo VI) intenciona discutir as interações esperadas e então determinar projetos que poderiam estimá-las. Gunter (1993) argumenta que isto leva a um engano próprio, citando em comentário de George Box: “Se os investigadores não conhecem quais efeitos principais estão ativos, como podem conhecer quais interações estão?”. Destaca ainda, que pelo menos para variáveis contínuas, interações são somente a forma de uma curva de segunda-ordem, e que se a amplitude da faixa investigada em cada fator for grande, a curvatura poderá ser verificada, do contrário, será verificada sua linearidade.

- Resposta 1:

Em resposta a esta crítica, Coleman e Montgomery (1993, p. 25) deixa claro a intenção de não considerar esta planilha como o estágio final de desenvolvimento em planejamento de experimentos, e sim “(...) um modelo ou um ponto de partida que os usuários possam personalizar de acordo com seu estilo de consultoria e organização (...)”. Especificamente relacionado a tabela "Interações", deixa claro que para alguns experimentos em química ou engenharia química já existe um conhecimento sobre interações potenciais, porém afirma que a inclusão da tabela é para “(...) forçar e focar a discussão sobre

interações.” (Coleman e Montgomery, 1993, p. 26). Esta discussão conduz, como ele argumenta, a realização de experimentos de maior resolução, pois surgem entre os investigadores desacordos sobre potenciais interações, e estas precisam ser investigadas.

- Crítica 2:

Hahn (1993), de forma diferente, destaca pontos positivos específicos encontrados na planilha, como (a) focalizar na definição clara dos diferentes tipos de variáveis resposta e de processo, e de como gerenciá-las no experimento, (b) ênfase na documentação do conhecimento anterior, ou seja, incluir nas rodadas experimentais algumas configurações onde a resposta seja conhecida e possa ser verificada, (c) requisitar que o investigador liste as restrições, destacando aquelas que podem modificar as condições experimentais e (d) encorajar a condução de rodadas pilotos iniciais e estimar a magnitude do erro experimental.

Hahn (1993, p. 17) destaca ainda que “... mais e mais investigadores (com algum treinamento em estatística, espera-se) assumem diretamente a responsabilidade pelos projetos experimentais, com a ajuda de pacotes computacionais que geram os testes.” Esta categoria de *software* cresce, como pode ser visto na pesquisa realizada pela revista *Quality Progress*, publicada em Janeiro de 2000 (*Special Advertising Section*, 2000, p. 95 - 105). Hahn (1993, p. 17) argumenta porém, que “Os computadores...”, na verdade, os programadores e desenvolvedores de *software*, “...são especialmente bons na geração de experimentos para projetos padronizados (bem como para alguns não padronizados, como os planos *D optimal*, sobre uma zona restrita de projeto). Infelizmente, muitos *software* existentes têm dificuldades para operacionalizar técnicas com características especiais (como aninhamento, componentes de variação, estacionamento em células, etc.) ...”. Sua sugestão apresenta-se como um chamado aos desenvolvedores de *software* de auxílio ao projeto de experimentos, para que seus programas solicitem e utilizem informações iniciais, como as geradas pela Planilha Guia, a fim de possibilitar um melhor plano experimental.

- Resposta 2: Os comentários apresentados destacam pontos positivos da Planilha Guia, desta forma, não requisitando uma resposta.

- Crítica 3:

Haaland e O’Connell (1993) comentam alguns pontos importantes sob a perspectiva de profissionais da área de pesquisa e desenvolvimento em biotecnologia. Eles destacam a utilização de processos e tecnologias ainda não bem compreendidas, e o quanto o

conhecimento adquirido se modifica constantemente, dificultando a documentação ou planejamento dos experimentos. Afirmam ainda que, ao contrário do que evidenciam Coleman e Montgomery (1993), quando não incluem estatísticos na lista dos membros da equipe experimental, que os mesmos deveriam ser explicitamente envolvidos tanto no planejamento como na definição das questões e objetivos do experimento, e não somente na etapa exclusiva de projeto e análise. Argumentam ainda que isolar as etapas de solução de problemas, planejamento e projeto não mostra-se eficiente, pois perde-se a oportunidade da percepção conjunta do investigador e do estatístico.

- Resposta 3:

Coleman e Montgomery (1993) respondem discutindo que ao contrário de isolar o planejamento do resto das etapas de um experimento, eles a incluem, pois normalmente esta etapa é relevada, sendo desenvolvida após a escolha do projeto experimental, às pressas, por um subgrupo da equipe experimental, de forma inapropriada. Afirmam ainda que, se houver a possibilidade de um estatístico fazer parte permanente da equipe, isto seria certamente de grande valia, entretanto, na prática, como os mesmos argumentam, isto não ocorre devido ao limitado tempo deste profissional², o que evidencia a relevância de se poder contar com uma planilha guia, pelo menos nas fases iniciais do experimento.

- Crítica 4:

Haaland e O'Connell (1993) citam ainda a factualidade da utilização de *software* para auxílio dos investigadores, da mesma forma que Hahn (1993), porém apresentando uma solução (i.e. um *software*) desenvolvida por eles (Haaland *et alli.*, 1990 apud Haaland e O'Connell, 1993), para o seu ambiente de trabalho. Entretanto, como os próprios investigadores deixam claro, o *software* por eles desenvolvido não é estritamente uma ferramenta de planejamento, porém apresenta algumas das vantagens em comum com o processo de planejamento de Coleman e Montgomery (1993): "(...) explicitar os fatores experimentais, as interações, tamanho da amostra e os níveis dos fatores, a fim de auxiliar os pesquisadores a esclarecer os objetivos, possibilitando planejar e executar melhores experimentos." (Haaland e O'Connell, 1993, p. 20). Também evidenciam a natureza de seus trabalhos na área de pesquisa e desenvolvimento em biotecnologia, tipicamente homogêneos,

² Por tratar-se de uma publicação norte-americana (periódico estatístico *Technometrics*), o viés dos autores os conduziu a esta observação, que provavelmente seja uma realidade daquele ambiente.

o que permitiu padronizar os tipos de projetos experimentais utilizados, integrando boa análise gráfica dos resultados com o processo de solução dos problemas.

- Resposta 4:

Coleman e Montgomery (1993, p. 27) respondem a esta crítica considerando os apontamentos anteriores de Hahn (1993) sobre como deveria ser um *software* de auxílio ao projeto de experimentos, “(...) é intrigante imaginar um pacote de uso amigável, sem equívocos, não temperamental, e sempre disponível, mas provavelmente o melhor que ele possa fazer seja solicitar e formatar as informações destas planilhas.” Ou seja, o auxílio através de uma rotina informatizada, solicitada por Hahn (1993) e apresentada parcialmente por Haaland *et alli.* (1990) apud Haaland e O’Connell (1993), de acordo com Coleman e Montgomery (1993), parece improvável de ser elaborada.

Um ponto porém deve ser destacado: se as proposições expostas acima por Coleman e Montgomery (1993), relacionadas à possibilidade da elaboração de um *software* que somente solicite e formate as informações das planilhas, fossem implementadas na generalidade dos aplicativos existentes, alguns melhoramentos naturais surgiriam. Estes por sua vez, talvez resultassem na criação de um *software* que realmente se aproximasse dos requerimentos de Hahn (1993, p. 17), relacionados a um *software* de projeto de experimentos auxiliado por computador.

2.3.1.3 Método de Box, Hunter & Hunter

“Frequentemente conclusões são facilmente retiradas de experimentos bem projetados, mesmo quando métodos elementares de análise são empregados. Em contrapartida, mesmo a mais sofisticada análise estatística não pode salvar um experimento fracamente projetado.” A passagem ou pensamento anterior foi retirado de Box, Hunter & Hunter (1978, p. vii), e sumariza, na percepção dos autores/pesquisadores, a importância do planejamento experimental.

Assim, um esboço de um método experimental, com etapas estabelecidas, pode ser extraído do conteúdo da referida bibliografia, através da exposição de um exemplo fictício, que os autores chamam de "Uma Investigação Típica".

Utilizando-se então, de uma investigação imaginária, Box, Hunter & Hunter (1978) expõem as etapas de um experimento que contempla o início do processo de desenvolvimento de um novo produto (no exemplo, uma nova resina para tratamento de água), até as etapas finais de produção em escala do mesmo, chegando ao estudo do modelo do mecanismo de atuação básica do produto. Deve-se ficar claro, como indicado pelos autores, que as etapas são apresentadas de forma didática, aproximadamente na sequência de apresentação dos conteúdos do livro-referência. Porém, também argumentam que, muitas investigações passam por várias fases de sofisticação, da mesma forma que ilustrado no ciclo apresentado.

2.3.1.3.1 Ciclos Interativos de Investigação

1. Comparação da média da amostra com a da população.

Utilizando-se de um experimento de um único fator, comparar a eficiência objetivada de um processo/produto (hipótese 1 ou H_1) com a condição atual do processo/produto (hipótese 0, nula ou H_0), verificando a existência de significância estatística relacionada aos pressupostos (H_0 e H_1) estabelecidos.

2. Comparação entre duas médias.

Utilizando dois fatores experimentais (ou dois níveis de um fator experimental), comparar o processo/produto idealizado, com um padrão ou processo/produto mais sofisticado, e verificar a existência ou não de significância entre as médias, estabelecendo assim a análise do experimento realizado.

3. Comparação com mais de dois tratamentos

Comparar o processo/produto proposto, com outros já existentes, verificando o seu desempenho em relação a estes diversos níveis ou fatores. Verificar a significância dos resultados, e argumentar a respeito dos mesmos, destacando aspectos de eficiência, custo, qualidade, meio-ambiente, relativo ao experimento.

4. Projetos Fatoriais

Sendo necessário simular quais fatores interferem no objeto de estudo, utilizam-se os experimentos fatoriais, nos quais diversos fatores/tratamentos podem ser confrontados e estudados de forma a fornecerem respostas estatisticamente representativas, sendo que para a

execução do experimento é utilizado o arranjo mais adequado em termos econômicos e técnicos.

Normalmente, o uso de projetos fatoriais considera tanto fatores controláveis como não controláveis, mantendo os primeiros no intervalo desejado e os segundos registrados para análise futura.

Nesta etapa de verificação de quais fatores provocam interferência, normalmente utilizam-se poucos níveis, visto que não haveria a necessidade, ainda, de se elevar os gastos do experimento sem real segurança de que aqueles fatores realmente seriam significativos, relativamente às hipóteses consideradas.

5. Projetos Fatoriais Fracionados

De posse de resultados dos experimentos preliminares, ou de informações técnicas, pode-se elaborar um projeto experimental do tipo fatorial fracionado, onde um conjunto de fatores são ensaiados a diversos níveis, sendo que somente aquelas combinações fatores-níveis mais importantes/relevantes serão testadas.

Ocorre que, alguns destes tratamentos que seriam ensaiados, no caso de um experimento com 5 fatores, resultariam em respostas equivalentes a interações de 3, 4 e até 5 fatores ao mesmo tempo. Na maioria dos casos, a possibilidade de que 4 ou 5 fatores combinados estejam interagindo e resultando em respostas estatisticamente diferenciadas, pode ser desprezada.

Outras etapas são também apresentadas, porém como o escopo desta dissertação é tratar os aspectos e projetos de experimentos básicos, não foram aqui destacadas. Cita-se o Método de Superfície de Resposta (RSM), que apesar de contido na literatura pesquisada, contempla na verdade um conjunto de técnicas experimentais e não um único projeto. Outras abordagens também foram descritas, como o modelo do mecanismo de atuação, que fogem um pouco dos projetos de experimentos estritamente básicos.

2.3.1.3.2 Detalhamento dos Ciclos Interativos de Investigação

Observando os “ciclos interativos de investigação” de Box, Hunter & Hunter (1978), pode-se afirmar, como os próprios autores o fizeram, e como fora reproduzido anteriormente neste texto, que os “ciclos” não representam propriamente um caminho a ser percorrido na íntegra em todas as investigações, mas sinalizam as etapas que uma investigação poderia seguir. Estes sinais podem assim serem interpretados:

1. A primeira etapa utiliza-se, para o início das investigações de um novo produto (ou reformulação de um já existente) ou processo, da simples comparação entre os resultados médios obtidos através de uma amostra, e dos resultados estimados ou esperados da população, confrontando, assim, as hipóteses do experimento.
2. Na segunda etapa, compara-se dois fatores (ou dois níveis de um fator), condições experimentais submetidas ao produto/processo, com um padrão, ou com um produto/processo já existente e que se quer suplantar ou igualar. A partir da segunda etapa, decorrente dos resultados esperados e alcançados, pode-se decidir se será dada continuidade ou não a investigação, pois as análises podem não apresentarem-se satisfatórias. Entretanto, como é evidente no texto de Box, Hunter & Hunter (1978), páginas 10 e 11, o investigador deve possuir os objetivos em mente, porém deve ficar atento a outras oportunidades anteriormente não previstas, e no caso específico do exemplo, o de considerar a possibilidade de produzir uma resina dita comum, porém menos custosa que as atuais, em detrimento ao objetivo inicial de se produzir um resina de alto desempenho.
3. A terceira etapa é consequência direta da segunda, pois avança na comparação de mais tratamentos com relação ao produto/processo a ser desenvolvido. A comparação com vários tratamentos possibilita a verificação de vários cenários, que darão ao experimento um caráter de investigação completa.
4. Na quarta etapa, podem-se investigar alguns problemas remanescentes nas especificações do produto/processo a ser desenvolvido, como algumas características técnicas (por exemplo, pressão máxima de trabalho) que ainda não tenham sido identificadas. A utilização de projetos fatoriais permite configurar diversos níveis experimentais que orientariam na determinação de quais fatores estariam interferindo nas especificações ideais do processo/produto em questão. Estes níveis nada mais são do que desdobramentos dos parâmetros que definem o objeto de análise, como temperatura, pressão, velocidade,

concentração, entre outros. Esta etapa, se seguida a ordem dos “ciclos”, se utiliza de apenas dois níveis para cada fator, pois configura-se como uma etapa preliminar, onde são isolados os fatores que verdadeiramente determinam as especificações finais do produto/processo, e portanto, deveriam ser investigados em maior profundidade posteriormente.

5. Os projetos fatoriais fracionados, desdobramento dos projetos fatoriais, constituem a última etapa deste método ou ciclo parcialmente extraído de Box, Hunter & Hunter (1978). Estes projetos possibilitam ao investigador eliminar combinações notadamente irrelevantes a uma dada investigação como combinações de 4 ou 5 fatores. Resultará então em um experimento menos caro, com menor número de ensaios e com tempo de execução reduzido. Perderá resolução, mas de forma planejada que não compromete os resultados a serem observados.

Um esclarecimento é importante, no tocante à percepção de ser esta etapa anterior a 4, pois naquela já foram executados testes multifatoriais. Entretanto, deve-se perceber, que aqui procura-se o refinamento, detalhamento dos fatores mais significativos verificados anteriormente, descartando aqueles que tiveram comportamento estável. Este detalhamento, como mencionado, se dará na alocação de mais de dois níveis para cada fator, a fim de estabelecer o comportamento de uma função porventura não-linear, e a interação entre fatores críticos, não inflacionada neste caso, por fatores não relevantes.

2.3.1.4 Método para realização de experimentos de Taguchi segundo Ross (1991)

Destacado na literatura como um dos mais proeminentes difusores das técnicas de projetos de experimentos, Genichi Taguchi trata os projetos de forma diferenciada, como componentes da Filosofia de Taguchi (Montgomery, 1991). Entretanto, aqui foram somente apresentados os passos de um método utilizado para planejar e projetar experimentos, retirado de Ross (1991), que trata especificamente das ferramentas propostas por Taguchi.

Este método, apresentado por Ross (1991) como "Etapas no Projeto, Execução e Análise de Experimentação" pode ser assim relacionado:

1. Seleção de fatores e/ou interações para avaliação

Etapa na qual são determinados os fatores e interações de interesse, interesse este resultado de pesquisas de mercado, discussões técnicas para melhoria de processos/produtos,

sempre contando com os conhecimentos de engenharia e de processo, acoplados aos de estatística experimental.

Os métodos para determinação de fatores a serem incluídos nos experimentos iniciais podem ser, segundo Ross (1991): (a) a livre associação de idéias (i.e., *brainstorming*), (b) fluxogramas (especialmente para processos), (c) diagramas de causa-efeito (i.e., Ishikawa).

Estes métodos e outros, como QFD - *Quality Function Deployment* (Akao, 1996) e o Processo de Pensamento da TOC - *Theory of Constraints* (Goldratt, 1994), auxiliam a equipe responsável pela tarefa experimental no levantamento dos fatores, controláveis ou não, a serem testados, e que possibilitarão através da análise dos resultados, determinar ações específicas de melhoria de processos/produtos.

2. Seleção do número de níveis para os fatores

Nas etapas iniciais da experimentação, devido ao grande número de fatores a serem ensaiados, a fim de se determinar aqueles que realmente interferem na variabilidade do processo/produto, recomenda-se a utilização de poucos níveis, dois normalmente. Esta ação visa minimizar a dimensão inicial do experimento, o tempo envolvido para sua execução e o custo associado aos testes. Esses fatores poderão, se for verificada a necessidade, ser testados a três ou mais níveis. Esta necessidade poderá ser decorrente, por exemplo, da existência de fatores ditos discretos, ou seja, aqueles para os quais não são possíveis interpolações ou extrapolações reais.

3. Seleção do arranjo ortogonal adequado

Os projetos baseados nas Técnicas de Taguchi são arranjos de configuração ortogonal, baseados em arranjos fatoriais fracionados, como afirma Montgomery (1991), destacando o trabalho de Box, Bisgaard e Fung (1988) no mapeamento da origem destes projetos.

A seleção de um arranjo ortogonal³ dependerá da configuração experimental desejada, relacionada ao número de graus de liberdade objetivado. Os arranjos ortogonais desenvolvidos por Taguchi são projetos padronizados (básicos), portadores das características

³ Arranjo ortogonal é uma matriz de números agrupados em linhas e colunas. Cada linha representa o estado de um fator em um dado experimento. Cada coluna representa um fator, variável ou condição específica, que pode ser modificada entre as rodadas de um experimento. Este arranjo é chamado ortogonal pois os efeitos dos vários fatores resultantes de um experimento podem ser analisados separadamente. (Disponível na Internet, *Delta Group*, 19/04/2000).

específicas quanto ao número de fatores, interações e níveis de interesse. Portanto, deve-se efetuar algumas modificações quando o experimento requerido distanciar-se destes padrões, conforme pode ser visto em Ross (1991).

4. Atribuição de fatores e/ou interações

As atribuições de fatores e interações determina a forma como serão “posicionados” os fatores e a interação destes nas “colunas de interação”. A técnica desenvolvida por Taguchi posiciona os tratamentos em colunas. As interações, tratadas de forma similar são associadas a outras colunas. Maiores detalhes podem ser encontrados em Ross (1991) e Taguchi apud Montgomery (1991).

5. Execução dos ensaios

A execução do experimento escolhido tem importância impar nos resultados almejados, pois se o mesmo não for conduzido corretamente, o significado das análises será comprometido. Ross (1991) destaca então algumas decisões que devem ser tomadas, a fim de garantir o sucesso do plano experimental:

- Condições para o ensaio: os ensaios devem ser conduzidos de acordo com as condições amostrais pré-determinadas, ou seja, os níveis dos fatores devem ser seguidos e documentados de maneira a representar corretamente as observações coletadas, sendo que qualquer alteração nos valores destes níveis devem ser anotados. Esta recomendação do autor se estende para a planilha de coleta de dados, descrevendo que a mesma deve ser simples, elaborada para apresentar somente os campos para coleta dos dados, relacionados diretamente aos níveis dos fatores requisitados em cada ensaio. Esta atitude visa minimizar eventuais falhas na execução do experimento, provocadas inadvertidamente por uma planilha de dados de difícil compreensão.
- Aleatorização: a ordem de execução dos experimentos deve incorporar algum grau de aleatorização, ou seja, deve proteger os resultados de alguma tendência não desejável provocada por fatores ignorados e não-controlados, não previstos na etapa de planejamento. Ross (1991) apresenta três tipos de aleatorização, porém esta divisão é somente uma particularização da aleatorização propriamente dita, cuja aplicação e conceito podem ser encontrados em qualquer das obras referenciadas na literatura estatística, como Montgomery (1991) e Cochran (1960). São estes os três tipos de aleatorização: (a) aleatorização completa, ou seja, mesmo que sejam executadas repetições em um dado experimento, todas as

observações serão coletadas de forma aleatória; (b) repetição simples, quer dizer que somente serão aleatorizados uma única vez todos os ensaios, e que se houver repetições, estas seguirão a ordem anteriormente estabelecida. Essa limitação à aleatorização só deve ser imposta se, por exemplo, dificuldades operacionais ou de custo, como *setup* de equipamentos, dificultarem a aleatorização completa; (c) aleatorização completa dentro de blocos, significando que, para um dado bloco, serão executados todos os tratamentos de uma só vez. Mesmo que não haja possibilidade de execução de um experimento completamente aleatorizado, a aleatorização dentro deste bloco pode ser realizada. As dificuldades à aleatorização completa poderiam ser de ordem logística, técnica ou econômica, como por exemplo, a realização de todos os ensaios a uma dada temperatura (fator *temperatura* a dois níveis, por exemplo), o que resultaria em uma análise de variância considerando estes cenários experimentais. Os blocos aqui mencionados serão melhor detalhados no capítulo 2.3.2.2.3 *Projetos em Blocos*.

- Seleção do tamanho da amostra: o autor destaca a exigência de no mínimo um resultado para cada ensaio, a fim de manter o equilíbrio (ortogonalidade) do tamanho da amostra na experimentação. A argumentação de que se mais ensaios forem coletados, melhor a sensibilidade do experimento para detectar pequenas modificações na média da população, também é feita, porém sem uma exemplificação pormenorizada dos efeitos da escolha no tamanho da amostra. Cabe salientar então que, apesar de possuir uma relevância considerável nos resultados finais do experimento, como a mensuração do erro β , a determinação do tamanho correto da amostra é pouco discutida na literatura da área, ocupando espaço reduzido nos livros e artigos pesquisados para este trabalho. Para alguns esclarecimentos, pode-se utilizar Montgomery (1991) ou um artigo de Thomas e Krebs (Disponível na Internet, 04/02/2000), que trata especificamente sobre o poder das análises estatísticas.

6. Analisar os resultados

A análise dos resultados proposta é a Análise de Variância (*ANOVA*), concebida e utilizada originalmente por R. A. Fisher (Montgomery, 1991), porém alterada para ser empregada nos projetos de Taguchi. A diferença básica resultante desta alteração, encontra-se na nomenclatura adotada pelos projetos de Taguchi. Por conseguinte, a nomenclatura adotada resulta em uma alteração nas equações utilizadas para o cálculo clássico da *ANOVA*. Tanto a nomenclatura adotada, como as equações modificadas, podem ser encontradas em Roos (1991) e Taguchi apud Montgomery (1991).

7. Novo experimento para confirmação

Segundo Ross (1991), "O experimento de confirmação constitui a etapa final de conclusões adquiridas em etapas anteriores do experimento. Condições ótimas são estabelecidas para fatores e níveis significativos, e diversos ensaios são realizados sob estas condições constantes." A ênfase na confirmação dos resultados obtidos após a análise de variância é de extrema utilidade, pois corrobora as eventuais inferências realizadas em relação aos fatores e níveis escolhidos, servindo inclusive como etapa de pré-operação e eliminação de problemas de produção futuros. Como afirma o autor, "O experimento de confirmação representa a etapa decisiva, e não deve ser omitida".

Um acréscimo torna-se necessário quando trata-se dos Projetos de Experimentos de Taguchi, mais especificamente com relação à análise dos resultados. Taguchi introduziu nesta etapa outra forma de verificar a significância dos fatores, diferentemente na *ANOVA*, apesar desta ter sido mencionada no método exposto acima. Esta outra forma chama-se *Signal-to-Noise ratios*, ou razão Sinal - Ruído. Por meio de transformações logarítmicas, é possível calcular um índice que determina a variação, eliminando-se o ruído provocado por fatores indesejáveis. Este cálculo é idêntico ao cálculo utilizado para determinar o nível de ruído do som, e também é medido em decibel (dB) (Montgomery, 1991). Muitas críticas são atribuídas a esta análise (Box, 1988), porém muitos são os defensores desta forma, bem como de todo o método de Taguchi (Tay, 1999). Um exemplo interessante de ensino de experimentos na perspectiva de Taguchi, pode ser encontrado em Sarin (1997).

2.3.1.5 Classificação dos Planejamentos Experimentais segundo J. M. Juran

A Tabela 2.2, de classificação dos projetos experimentais propriamente ditos, adaptada do original, que apresentava as colunas "Planejamento", "Tipo de Aplicação", "Estrutura" e "Informações Fornecidas", nesta ordem, condensa as informações básicas para escolha de um projeto experimental, não possuindo diretamente um padrão para auxílio ao planejamento experimental. Entretanto, se consultada a partir de "Tipo de Aplicação" e "Estrutura", pode guiar o investigador na escolha do projeto experimental que melhor se adapta a realidade do ensaio requerida. Em vista disto, foram invertidas a ordem das colunas, a fim de apresentar a tabela como uma ferramenta de auxílio ao planejamento experimental.

Tabela 2.2- Classificação dos Projetos de Experimentos, segundo J.M. Juran

Tipo de Aplicação	Estrutura	Informações Fornecidas	Planejamento
Apropriado quando somente um fator experimental está sendo estudado.	Base: o efeito do fator é estudado por meio da alocação ao acaso das unidades experimentais aos tratamentos (níveis do fator). Os ensaios são realizados em ordem aleatória. Blocos ausentes.	1- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos. 2- Estimativa da variância.	Completamente Aleatorizado Com Um Único Fator
Apropriado quando vários fatores devem ser estudados em dois ou mais níveis e as interações entre os fatores podem ser importantes.	Base: Em cada repetição completa do experimento todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores (tratamentos) são estudadas. A alocação das unidades experimentais aos tratamentos e a ordem de realização dos ensaios são feitas de modo aleatório. Blocos ausentes.	1- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores. 2- Estimativa dos possíveis efeitos de interações. 3- Estimativa da variância.	Fatorial
Apropriados quando o número de ensaios necessários para o projeto com k fatores em 2 níveis é muito grande para que sejam realizados sob condições homogêneas.	Base: o conjunto completo de tratamentos é dividido em subconjuntos de modo que as interações de ordem mais alta são confundidas com os blocos. São tomadas observações em todos os blocos. Blocos: os blocos geralmente surgem como consequência de restrições de tempos, homogeneidade de materiais, etc.	1- Fornece as mesmas estimativas do projeto fatorial, exceto algumas interações de ordem mais alta que não podem ser estimadas porque estão confundidas com os blocos.	Fatorial 2^k em Blocos
Apropriado quando existem muitos fatores (k muito grande) e não é possível coletar observações em todos os tratamentos.	Base: vários fatores são estudados em dois níveis, mas somente um subconjunto do fatorial completo é executado. Blocos: A formação de blocos algumas vezes é possível.	1- Estimativas e comparações dos efeitos de vários fatores. 2- Estimativa de certos efeitos de interação (alguns efeitos podem não ser estimáveis). 3- Certos projetos fatoriais fracionados (quando k é pequeno) não fornecem informações suficientes para estimar a variância.	Fatorial 2^k Fracionado
Apropriado quando o efeito de um fator está sendo	Base: são tomadas observações correspondentes a todos os	1- Estimativas e comparações dos	Blocos Aleatorizado

estudado e é necessário controlar a variabilidade provocada por fatores perturbadores conhecidos. Estes fatores perturbadores (material experimental, tempo, pessoas, etc.) são divididos em blocos ou grupos homogêneos.	tratamentos (níveis do fator) em cada bloco. Blocos: Usualmente formados em relação a um único fator perturbador.	efeitos dos tratamentos livres dos efeitos do bloco. 2- Estimativa dos efeitos do bloco. 3- Estimativa da variância.	
Apropriado quando todos os tratamentos não podem ser acomodados em um bloco.	Base: os tratamentos testados em cada bloco são selecionados de forma balanceada: dois tratamentos quaisquer aparecem juntos em um mesmo bloco o mesmo número de vezes que qualquer outro par de tratamentos.	Idêntico ao projeto em blocos aleatorizados. Os efeitos de todos os tratamentos são estimados com igual precisão.	Blocos Incompletos Balanceados
Apropriado quando um projeto em blocos incompletos balanceados necessita de um número de blocos excessivamente grandes.	Base: alguns pares de tratamentos aparecem juntos λ_1 vezes, outros pares aparecem juntos λ_2 vezes, ..., e os pares restantes aparecem juntos λ_n vezes.	Idênticos ao projeto em blocos aleatorizados, mas os efeitos dos tratamentos são estimados com diferentes precisões.	Blocos Incompletos Parcialmente Balanceados
Apropriado quando um fator de interesse está sendo estudado e os resultados podem ser afetados por duas outras variáveis experimentais ou por duas fontes de heterogeneidade. É suposta a ausência de interações.	Base: os tratamentos são distribuídos em correspondência às colunas e linhas de um quadrado. Cada tratamento aparece uma vez em cada linha e uma vez em cada coluna. O número de tratamentos deve ser igual ao número de linhas e colunas do quadrado. Blocos: Formados em relação a duas variáveis perturbadoras, as quais correspondem às colunas e linhas do quadrado.	1- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos livres dos efeitos das duas variáveis de bloco. 2- Estimativas e comparações dos efeitos das duas variáveis de bloco. 3- Estimativas da variância.	Quadrado-Latino
Experimentos com vários fatores onde os níveis de um fator (B) são similares mas não idênticos para diferentes níveis de outro fator (A). Ou seja, o <i>j</i> -ésimo nível de B quando A está no nível 1 é diferente do <i>j</i> -ésimo nível de B quando A está no nível 2 e assim por diante.	Base: os níveis do fator B estão “aninhados” sob os níveis do fator A.	1- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores. 2- Estimativa da variância. 3- Estimativa das interações não pode ser realizada. ⁴	Hierárquico (Projeto com Fatores Aninhados)

Fonte: Juran apud Werkema (1996, p. 39 - 43)

⁴ Informação adicionada nesta dissertação, não consta no original.

De forma a apresentar somente aqueles projetos considerados básicos, foram suprimidos aqueles que não se enquadravam nesta categoria, e mantidos aqueles, que mesmo identificados com outros nomes, são essencialmente projetos básicos. No item 2.3.2.1.4 *Projetos e Análises Identificados como Básicos*, posterior ao presente tópico, podem ser comprovados os argumentos feitos aqui quanto ao caráter básico dos projetos listados.

2.3.1.6 Abordagem Estratégica para aplicação de DOE sugundo DuPont *QM&TC*

Hockman e Berengut (1995) apresentam uma abordagem estratégica para aplicação de PPAE conforme pode ser verificado na Figura 2.1, recomendada pelo DuPont's *Quality Management & Technology Center (QM&TC)*, abordagem esta também ilustrada em Cusimano (1996) e Burnham (1996). Neste centro, em 1960, chamado então de DuPont's *Applied Statistics Group*, reconheceu-se a necessidade de ensinar e empregar PPAE, começando a oferecer seminários internos sobre o assunto. A partir da década de 80, passaram a disponibilizá-los para grupos externos à empresa.

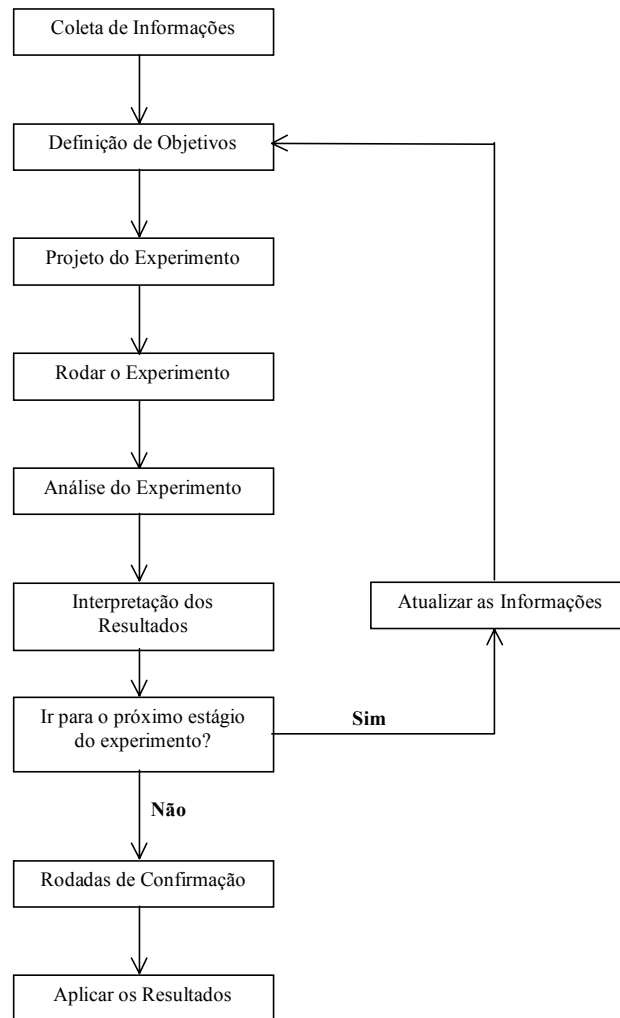


Figura 2.1 - Fluxograma da Abordagem Desenvolvida pelo DuPont's *QM&TC*.

(Fonte: Hockman e Berengut, 1995)

A abordagem apresentada na Figura 2.1, pode ser assim desenvolvida:

1. Coleta de Informações. Processo onde são consolidados os conhecimentos estabelecidos sobre o processo/produto em análise, e são determinados quais as novas informações necessárias.
2. Definição de Objetivos. Com base nas informações preliminares, são definidos os objetivos para o primeiro experimento projetado estatisticamente.
3. Projeto do Experimento. Selecionar o projeto experimental apropriado, utilizando para tanto a literatura, tabelas, *software* ou consultores especializados.

4. Rodar o Experimento. Análise da viabilidade do experimento. Rodar o experimento de acordo com o planejado. Se não for possível, projetos alternativos podem ser considerados, ou o objetivo pode ser modificado, e novos testes são realizados.

5. Análise do Experimento. Após realizadas as medições, os resultados são então analisados. Frequentemente os pesquisadores utilizam-se de pacotes de *software* para analisar os dados e gerar gráficos, e auxiliar na interpretação.

6. Interpretação dos Resultados. Os resultados são interpretados levando-se em consideração dos objetivos relacionados.

7. Ir para o próximo estágio do experimento?

7.1. Sim. As rodadas anteriores forneceram informações que levarão à execução de mais experimentos, a fim de obter um aprofundamento no assunto, de acordo com os objetivos listados. Nesta etapa, deve-se então, "Atualizar as Informações", e voltar ao passo 2, "Definição de Objetivos".

7.2. Não. Os resultados obtidos são conclusivos em relação aos objetivos, portanto não há necessidade de prosseguir na investigação. Deve-se proceder então o passo 8, "Rodadas de Confirmação".

8. Rodadas de Confirmação. De posse dos resultados e interpretações obtidas, realizar um experimento de confirmação, que tem por objetivo verificar se o modelo estatístico previsto é confirmado na realidade.

9. Aplicar os Resultados. Uma vez confirmados os resultados, eles podem ser aplicados nas futuras decisões com confiança.

O método acima apresentado tem a simplicidade como base, e deve ser assim mantido, pois como os próprios Hockman e Berengut (1995, p. 145) relatam “Mesmo sendo os projetos de experimentos (PPAE) uma ferramenta muito útil, ela é sub-utilizada nos EUA. Parte do problema é a percepção de que o PPAE, por ser estatístico, é difícil de ser utilizado.”, e comentam ainda: “Engenheiros, cientistas e outros profissionais técnicos são tipicamente fracamente educados em estatística e frequentemente sentem-se intimidados pelos métodos de PPAE.” (Hockman e Berengut, 1995, p. 145). Estes argumentos são corroborados por Box (1996), Hoadley (1990), Parker (1993) e Schimidt (Disponível na Internet, 25/06/1998).

Hockman e Berengut (1995) ainda relataram que, de acordo com estimativas dos vendedores de *software*, menos do 5% dos cientistas e engenheiros norte-americanos possuem algum treinamento formal em PPAE. Cusimano (1996, p. 79) destaca que “Acadêmicos estimam que de um em 20, a um em 100 investigadores que poderiam se beneficiar com PPAE realmente utilizem-no.” Portanto, a fim de ampliar a gama de futuros pesquisadores, se faz necessária o desenvolvimento de novas abordagens e novos meios para auxiliar no ensino desta técnica.

2.3.1.7 Etapas Básicas para conduzir experimentos segundo Gaudard (1996)

Retirado de um artigo da revista *Quality Progress*, que relata as experiências de pequenas empresas na condução de PPAE para melhoria de seus processos internos, apresentando ainda um relatório de economias anuais conseguidas com estas melhorias. Os passos, apresentados no artigo como "12 Passos para um Experimento Bem Sucedido", são abordados a seguir:

1. Redigir uma descrição verbal do problema. Escolha a variável resposta (preferencialmente contínua) e realize um estudo para medição da capacidade.
2. Conduzir uma sessão de *brainstorming* para listar todos os possíveis fatores. Incluir tanto engenheiros como aqueles que trabalham no processo.
3. Reduzir a lista aos fatores controláveis e às fontes de ruído mais importantes.
4. Determinar qual a resolução que o experimento deve ter.
5. Determinar se o projeto pode ser bloqueado ou se os fatores de ruído podem ser estudados.
6. Selecionar o projeto baseado no número de fatores e na resolução de interesse, levando em consideração a bloqueio ou os fatores de ruído, se apropriado.
7. Selecionar níveis de fatores que incluam tanto a amplitude de trabalho, como os limites de operação. Revisar cada as combinações de cada nível, a fim de observar se as mesmas são inviáveis ou perigosas.
8. Determinar o número de replicações desejado e decidir sobre a aleatorização da ordem das rodadas.

9. Reunir a equipe do experimento e discutir:

- Quem irá medir a característica de qualidade?
- Como a característica de qualidade será medida?
- O instrumento de medição está calibrado?
- Há material suficiente do mesmo lote para completar o experimento?
- Como cada amostra será identificada? Como as amostras serão isoladas?

10. Preparar instruções e planilhas de dados.

11. Conduzir o experimento. Analisar os dados.

12. Rodar um experimento de confirmação.

Percebe-se que as etapas iniciais, de preparação para o experimento, ou planejamento e projeto, tem um detalhamento mais acentuado, e que é quase desconsiderada a etapa de análise. É verificada a importância dada à participação de toda a equipe envolvida na condução do experimento, bem como à alocação dos responsáveis pela realização do experimento (passo 9). O compromisso dos executores talvez minimize a ênfase dada à análise, pois menos correções serão necessárias nesta etapa se o experimento for bem elaborado e executado, fato este referendado por Montgomery (1991).

2.3.1.8 Outras Abordagens para Planejar Experimentos

A literatura encontrada em periódicos, como descrito anteriormente, apresenta mais algumas abordagens para tratar do planejamento experimental. Não serão apresentados todas elas aqui, porém podem ser consultadas em Knowlton (1993), Regis (1993), Vick Jr. (1992).

Outra relação de trabalhos desenvolvidos nesta área, resultado de dissertações de mestrado, podem ser verificados em Echeveste (1997), onde é proposto e detalhado em todas as suas etapas um método para o planejamento dos experimentos, fazendo referência a outros dois trabalhos que também tratam do tema: Caten (1995) e Pasa (1996).

2.3.2 Projetos e Análises Considerados Básicos pela Pesquisa Bibliográfica Realizada

Existem na literatura, como poderá ser verificado no tópico 2.3.2.1 *Investigação dos Projetos e Análises Considerados Básicos*, apresentado neste capítulo, um conjunto amplo de arranjos experimentais ou de fatores, que permitem a realização de projetos adequados às mais diversas situações.

Estes projetos podem ter seus fatores bloqueados, onde são isolados alguns componentes de variação externa (Miller, 1977); podem ser não-balanceados, onde algumas observações não são consideradas, ou por restrição amostral (custo, por exemplo), ou pela perda de algumas destas devido a problemas não previstos, provocando assim uma ruptura na propriedade da ortogonalidade, e devendo ser utilizado uma técnica de análise de variância diferente da usual (Montgomery, 1991); podem também ser fracionados e de Taguchi (Ross, 1991), onde algumas combinações não são ensaiadas, pois pode-se identificar que certas características técnicas não seriam necessárias (exemplo, interações de quarta ou quinta ordem), resultando neste caso em um experimento mais eficiente e econômico.

A análise dos resultados dos experimentos é encontrada na literatura em conjunto com a etapa de projetos (i.e., Montgomery, 1991 e Cochran, 1960), bem como separada em literatura própria (i.e., Scheffé, 1958). Esta etapa da investigação experimental, possui a função de estabelecer informações a partir dos dados coletados, direcionando a tomada de decisão. Assim sendo, a análise dos dados pode ser sumarizada da seguinte forma (Box, Hunter & Hunter, 1978):

1. Representar graficamente os dados originais,
2. Construir tabelas de análise correspondentes à decomposição das observações e à estimativa de seus valores médios,
3. Realizar a verificação dos resíduos das observações,
4. Se a verificação for satisfatória, construir a tabela de análise de variância correspondente, e proceder os testes apropriados de significância,
5. Representar graficamente as médias dos tratamentos individuais, e observá-las contra a distribuição de referência apropriada.

De forma simplificada, pode-se dizer que a análise de variância e os gráficos indicando o efeito dos diversos fatores, considerando as médias das observações coletadas, são a base da análise estatística de um experimento.

Diversos programas computacionais como *Statgraphics plus* (Statistical Graphics Corp, *Version 2.1*), *Statistica* (Disponível na Internet, STATSOFT, 04/02/2000), *MINITAB* (Minitab Inc., 1997), permitem a análise numérica e gráfica dos dados de experimentos. Estes programas, por exemplo, auxiliam na consideração da validade de um experimento (i.e., verificação da normalidade, homogeneidade das variâncias), na correção de dados não ajustados à distribuição normal via transformações matemáticas, bem como possibilitam o diagnóstico dos problemas, através da análise das observações.

Torna-se importante observar que, como afirma Hahn (1977, p. 13), “(...) projetos experimentais apropriados são mais importantes do que análises estatísticas sofisticadas.”, mencionando ainda que “Os resultados de um experimento bem planejado são freqüentemente evidentes em análises gráficas simples.” (Hahn, 1977, p. 13). Bisgaard (1996-1997) também reforça o uso de gráficos na análise de problemas. Uma afirmação de conteúdo similar à anterior, também pode ser encontrada em Box, Hunter & Hunter (1978). Este argumento foi ampliado pelas discussões a respeito do planejamento experimental, apresentadas em tópico anterior, 2.3.1 *Métodos ou Regras para o Planejamento de Experimentos*, tornando evidente a necessidade de se focar mais atentamente no mesmo.

Somente como ponto de destaque, é importante considerar que os critérios de análise estão acoplados fortemente ao tipo de projeto empregado, sendo difícil dissociar o projeto utilizado de sua análise. Assim, na investigação seguinte, a análise será abordada em conjunto (i.e., confundida) com o projeto, porém sem prejuízo algum à compreensão.

2.3.2.1 Investigação e Identificação dos Projetos e Análises Considerados Básicos

Na intenção de tornar esta pesquisa tanto atual como representativa, optou-se inicialmente, por eleger três obras, recomendadas por pesquisadores, professores, autores, usuários, identificadas através de discussões com estes profissionais e da leitura de artigos que referenciavam as mesmas freqüentemente. As três obras escolhidas foram: (1) *Experimental Design*, de William Cochran e Gertrude Cox (1960); (2) *Design and Analysis of Experiments*, de Douglas Montgomery (1991); e (3) *Statistics for Experimenters*, de George Box, William Hunter e J. Stuart Hunter (1978).

Baseado nestas três obras, foram verificados os projetos e análises mais citados nos três, bem como aqueles destacados nos capítulos iniciais. Devido aos aspectos didáticos, são nestes capítulos que os tópicos básicos são abordados, sendo assim os mesmos utilizados como parâmetro para identificar os projetos de experimentos básicos

2.3.2.1.1 Segundo William Cochran & Gertrude Cox (1960)

Mesmo não sendo identificados fortemente com a área produtiva/industrial, Cochran e Cox (1960) acrescentaram à segunda edição desta obra exemplos e projetos representativos da mesma, o que aproximou a obra desta investigação.

Os autores apresentam nos primeiros capítulos (1, 2 e 3) métodos para aumentar a acurácia de experimentos, tratando de replicações e do agrupamento das unidades experimentais (observações), seleção e blocagem, acrescentando também métodos para análise estatística dos resultados.

Nos capítulos seguintes (4 até 8), destacam projetos completamente aleatorizados, blocos aleatorizados e quadrado-latinos. A seguir, os experimentos fatoriais, e os conceitos de efeitos principais e interações. Mencionam também os princípios do confundimento. Discute após, experimentos fatoriais fracionados e fatoriais com efeitos principais confundidos, conhecidos como parçionados em célula (*split-plot*). Destacam ainda, os projetos Quasi-Quadrados Latinos e após, alguns métodos para estudo de Superfície de Resposta.

Os últimos capítulos (9 até 15) são destinados a alguns projetos em blocos, como os projetos incompletos balanceados e parcialmente balanceados e incompletos, aos projetos do tipo Lattice e Lattice Quadrados. Apresenta a seguir capítulo tratando da análise dos resultados de experimentos em série, encerrando com demonstrações da utilização de permutações aleatórias.

2.3.2.1.2 Segundo Douglas Montgomery (1991)

Esta obra inicialmente (capítulos 1 até 4) evidencia uma estrutura básica para auxiliar o planejamento de experimentos, destacando após experimentos de comparação simples, e experimentos com um único fator, este descrito em maior profundidade em dois capítulos, conjuntamente com a técnica de avaliação dos dados coletados, análise de variância (*ANOVA*).

Expõe então, nos capítulos 5 e 6, projetos aleatorizados em blocos, quadrado-latinos e projetos relacionados (Greco-Latinos). Menciona ainda os projetos em blocos incompletos, sendo estes considerados um caso especial dos projetos em blocos.

Os capítulos seguintes (7 até 12), introduzem os projetos fatoriais, e as regras para o cálculo das somas e médias quadráticas. Destacam os projetos com dois níveis, e suas variantes (por exemplo, adição de *center points*, blocos/confundimento), bem como as diferenças em sua análise de variância, comparativamente a de outros projetos. A seguir os projetos fatoriais do tipo 2^k fracionados são discutidos, com especial destaque para importância na eliminação de interações de grau elevado e que por ventura somente oneram o experimento, sem ganhos aparentes em resolução. Na última parte do capítulo 12, discorre sobre a filosofia experimental de Taguchi, apresentando algumas críticas.

No capítulo 13, apresenta os projetos aninhados ou hierárquicos, mencionando as diferenças na análise das observações comparativamente a outros projetos. Ao capítulo 14 cabe a discussão, segundo o autor, dos experimentos multifatoriais com restrições a aleatorização, mencionando novamente os projetos aleatorizados em blocos e os quadrado-latinos, porém apresentando e descrevendo mais atentamente os projetos parcionados em células (*split-plot designs*).

Nos capítulos finais (15, 16 e 17) acrescenta a técnica de análise de regressão, os métodos de projetos do tipo superfície de resposta e ainda análise de covariância.

2.3.2.1.3 Segundo George Box, William Hunter & J. Stuart Hunter (1978)

A divisão desta obra ocorre por partes, em um total de 4. Estas por sua vez se subdividem em tópicos, perfazendo um total de 18. Serão então, desta forma, apresentados os assuntos relacionados na mesma.

O primeiro tópico, externo a divisão por partes da obra, descreve alguns aspectos da estratégia de experimentação, bem como características gerais dos métodos e técnicas estatísticas.

A Primeira Parte, inicia apresentando experimentos simples do tipo comparação entre dois tratamentos. Os tópicos contidos nesta parte (2 até 5), tratam de comparação de 2 médias, da aleatorização para amostragem e declaração de independência, descrevendo alguns experimentos industriais. Acrescenta também a aleatorização e a blocagem para comparação

de dados emparelhados. Finaliza o tópico que trata de testes de significância e intervalos de confiança.

Na Segunda Parte (tópicos 6, 7 e 8), evidencia a comparação de mais de 2 tratamentos, destacando a análise de variância. Acrescenta os projetos do tipo blocos aleatorizados e projetos fatoriais com 2 fatores, e a conseguinte modificação na *ANOVA* destes projetos. Termina relacionando os projetos com mais de uma variável blocada, ou seja, projetos de tipo Quadrado-Latino e Greco-Latino.

A Terceira Parte, destaca a Medição dos Efeitos das Variáveis. Os tópicos desta parte (9 até 13), apresentam a descrição de modelos empíricos, destacam os projetos fatoriais em 2 níveis (2^k), evidenciando as interações entre fatores que podem ser capitados com estes projetos. A seguir, complementa com os projetos fatoriais fracionados de 2 níveis, e sua importância na elaboração de experimentos eficientes.

A última parte (Quarta), descreve a Construção e a Utilização de Modelos, como modelos simples de mínimos quadrados (análise de regressão), métodos de superfície de resposta, construção do modelo do mecanismo, estudo de variação, acrescentando os projetos aninhados ou hierárquicos, e modelos de dependência, as séries-temporais.

2.3.2.1.4 Projetos e Análises Identificados como Básicos

A Tabela 2.3 apresenta os projetos identificados, e relaciona aqueles mapeados como básicos, por serem mais citados nas três obras e apresentados didaticamente nos capítulos iniciais.

Tabela 2.3 – Enumeração dos Projetos e Análises Identificados como Básicos

Projetos e Análises	Aparições		
	Cochran & Cox	Montgomery	Box, Hunter & Hunter
1 Fator	X	X	X
Blocos	X	X	X
Quadrado-Latinos / Greco-Latinos	X	X	X
Fatorial — 2 fatores — 3 ou mais fatores	X	X	X
Fatorial 2^k	X	X	X
Fatorial 2^k Fracionado	X	X	X
Aninhados ou Hierárquicos		X	X
Parcionados em Células (<i>Split-plot</i>)	X	X	
Lattice e Lattice Quadrados	X		
Método da Superfície de Resposta	X	X	X

Alguns dos projetos relacionados na Tabela 2.3 foram eliminados da descrição de projetos básicos, devido a certos fatores. São eles:

- Projeto Greco-latino, por ser um desdobramento do projeto Quadrado-Latino;
- Lattice e Lattice Quadrados, por terem sido mencionados somente por uma das obras;
- Método da Superfície de Resposta, pois trata-se de um método como o próprio nome já evidencia, e não de um projeto propriamente dito.

2.3.2.2 Relação e Descrição dos Projetos e Análises Básicos Investigados

Assim como foram apresentados no tópico 2.3.1 *Métodos ou Regras para o Planejamento de Experimentos* diversos métodos ou regras identificados com aspectos básicos para o **planejamento** experimental, neste tópico são relacionados e descritos os **projetos e análises** básicos investigados.

A fim de estabelecer as características básicas de cada projeto e análise experimental, optou-se pela apresentação de um exemplo, uma situação experimental, retirada da literatura, que ilustra o ambiente ou cenário experimental, bem como possibilita apresentar os aspectos

específicos de cada projeto e análise de experimentos. Os exemplos foram resumidos, sendo extraído dos mesmos somente o essencial para a compreensão deste tópico.

Não foi escolhido nenhum autor em especial, e sim aqueles que mais claramente exploraram o projeto, e que apresentaram comentários técnicos esclarecedores sobre os mesmos. Alguns apontamentos de outros autores também fizeram parte desta descrição, no tocante a destaques ou corroborações sobre determinados tópicos.

2.3.2.2.1 Projetos com 1 único fator

Exemplo extraído de Montgomery (1991, p. 50).

Um engenheiro de desenvolvimento de produto está interessado em maximizar a resistência à tensão de uma nova fibra sintética que será utilizada para confeccionar tecidos para camisas masculinas.

O engenheiro sabe, por experiência prévia, que a resistência é afetada pela percentagem de algodão na fibra. Além disto, ele suspeita que o aumento do conteúdo de algodão elevará a resistência, pelo menos inicialmente. Ele também sabe que esse conteúdo pode variar entre 10 por cento e 40 por cento, dado que o tecido final deve apresentar outras características de qualidade necessárias (como suportar um tratamento de pressão permanente final). O engenheiro decidiu testar as espécimens em cinco níveis para percentagem de algodão: 15%, 20%, 25%, 30% e 35%. Ele também decidiu testar cinco espécimens em cada nível de percentagem de algodão.

No exemplo exposto, foram observados alguns aspectos relativos à técnica experimental abordada, descritos a seguir.

O **fator** analisado é representado pelo conteúdo de algodão, analisado a 5 **níveis**. Esses **níveis** são considerados **fixos**, sendo a **variável** percentagem de algodão dita **contínua**. Por tratarem-se de níveis fixos, não há possibilidade de serem realizadas inferências a respeito de outros níveis não ensaiados (i.e., interpolações e extrapolações), limitando as informações às observações coletadas. Se o mesmo fator apresentasse **níveis aleatórios**, estes poderiam ser interpolados ou extrapolados. Esta possibilidade representaria mais informação, com menores custos e tempo envolvidos.

O número total de ensaios será de 25: **5 níveis vezes 5 replicações de cada nível**. Essas **replicações** deverão ser **aleatórias** (Box, 1990a), o que representa “sortear” as observações quanto a sua ordem experimental. Esta providência minimizará o efeito de causas

especiais (por exemplo, temperatura do dia ou turno no qual o experimento foi realizado). Os projetos e análises configurados em blocos, ou os do tipo quadrado-latino, isolam esta possibilidade, separando-a do termo de erro, porém prejudicando a aleatorização completa. Estas características serão discutidas no tópico dedicado a estes projetos.

Após conduzido o experimento e organizados os dados coletados, parte-se para a **análise** dos mesmos. Pode-se então criar **gráficos** para as observações, como *box-plots* e *diagramas de dispersão*⁵ (Figura 2.2), apresentando a **resistência à tensão** da nova fibra sintética (**variável resposta**) contra a **percentagem de algodão** (**tratamento experimental**). Estes gráficos auxiliam o investigador na **análise dos resultados**, potencializando a visualização de **tendências** (aumentos e diminuições da média), bem como da **amplitude dos resultados** (variação em torno da média).

Pode-se ainda, se for necessária a comparação e análise mais objetiva destes dados, utilizar-se da **análise de variância** (*analysis of variance* - *ANOVA*). Esta abordagem possibilita que o investigador, de posse das observações coletadas, verifique a **significância estatística** dos níveis, ou seja, se existe alguma diferença importante entre eles. Para o experimento relatado anteriormente, se houver diferenças significativas na utilização de diferentes percentagens de algodão, significará afirmar que a resistência do tecido comporta-se de forma mais satisfatória com um determinado conteúdo de algodão do que com outro.

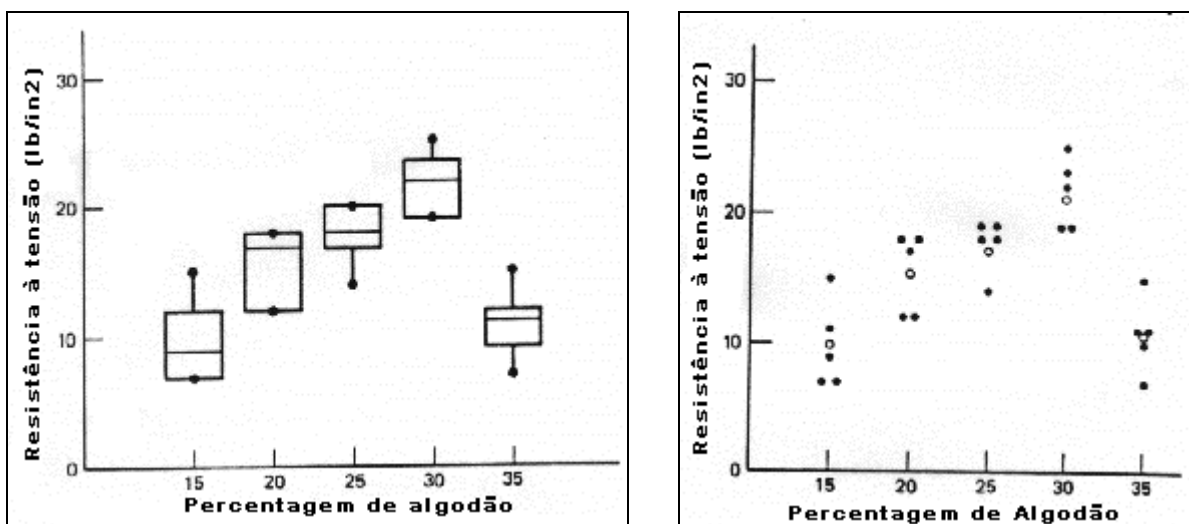


Figura 2.2 - Exemplos de gráficos: *box-plot* e dispersão, respectivamente

(Fonte: Montgomery, 1991, p. 52 -53)

⁵ Ambos gráficos representam visualmente o valor central (média) e a dispersão (i.e., o desvio-padrão ou a amplitude) de observações de uma amostra. Montgomery (1991) apresenta detalhadamente como elaborar esses gráficos.

A análise de variância (*ANOVA*) é um elemento de avaliação de resultados utilizado em todos os projetos experimentais. A *ANOVA* avalia as hipóteses apresentadas (i.e., no caso do exemplo anterior, se a porcentagem de algodão afeta o comportamento da resistência do tecido), e portanto, devendo ser construída de acordo com as mesmas. Assim, o projeto sempre deve ser estruturado levando-se em consideração o tipo de análise a ser realizada. Talvez a mesma modifique-se se algo sair diferente do planejado, como a ocorrência de parcelas perdidas, ou seja, não cumprimento de alguma observação do experimento, característica abordada novamente no decorrer deste trabalho.

Após estabelecida a existência de significância entre os níveis, através da utilização do teste F ⁶ (análise de variância – *ANOVA*), pode-se proceder outras análises. Dentre essas análises, pode-se proceder a **comparação das médias** (i.e., comparação múltipla de médias de Duncan) de cada nível, realizada em **modelos de efeitos fixos** (níveis fixos), ou a estimativa dos componentes de variação (i.e., determinação do intervalo de confiança das observações), avaliada para **modelos de efeitos aleatórios** (níveis aleatórios).

A apresentação do modelo matemático, bem como dos cálculos pertinentes à obtenção das **somas quadradas** e **médias quadradas** podem ser encontrados tanto na bibliografia utilizada, como na apostilha eletrônica, de forma minuciosa e detalhada. Desta forma, suprime-se a apresentação dos mesmos aqui e nos tópicos seguintes, a fim de aproveitar mais eficientemente o limitado espaço da dissertação com as discussões diretamente relacionadas.

A fim de acrescentar outros elementos aos projetos com um único fator, alguns apontamentos coletados na literatura foram separados, sendo apresentados a seguir:

Guttman (1971, p. 371), apresenta estes experimentos como “*Layouts Experimentais One-way*”, um dos tantos nomes encontrados para designar estes projetos. Relaciona ainda um conjunto de observações básicas, que caracterizam complementarmente este tipo de projeto, bem como definem pontos elementares para todos os outros projetos: (a) em certos experimentos o objetivo principal é determinar o efeito dos níveis (também chamados de “tratamentos”) em alguma variável resposta de interesse básico ou primário; (b) “(...) é importante projetar estes experimentos cuidadosamente em termos do número de testes, bem

⁶ O teste F é a estatística utilizada na *ANOVA* para realizar a comparação de variâncias, dentro e entre o conjunto de observações coletadas. É aplicada em amostras onde o pressuposto da normalidade e independência dos erros é obtido.

como na escolha dos níveis dos vários fatores envolvidos.” (Guttman, 1971, p. 371); (c) a variação total dos dados coletados (variância total) pode ser dividida em dois componentes: (1) variação entre amostras, que é, a variação proveniente ou devida aos vários níveis do experimento (tratamentos), e é referenciada como o somatório dos quadrados (dos desvios) entre amostras; (2) variações dentro das amostras, referenciada como somatório dos quadrados dentro das amostras.

Cochran (1960, p. 75), referencia os projetos com 1 (um) fator como “Múltiplas Comparações”, destacando os seguintes argumentos relacionados: (a) Em experimentos com mais de dois tratamentos, o investigador deve optar, na fase de análise, pela utilização do teste F , em contraposição aos testes t sucessivos, dado que estes últimos perdem significância nestas condições experimentais. Como os testes t são ditos independentes, os mesmos devem ser aplicados em testes somente entre dois tratamentos (controle-mudança), pois em situações com múltiplos tratamentos, digamos 5, a probabilidade de significância de 5% passa para 23%, diminuindo a sensibilidade do teste. Quanto maior o número de fatores, maior a significância, e menor a chance de detectar modificações significantes no experimento.; (b) Quando um teste de significância F é empregado, verificando-se que uma hipótese nula qualquer (i.e., não existência de diferenças na variável resposta para diversos níveis de um dado fator) deve ser rejeitada, procede-se o teste de Duncan (comparação múltipla de médias), a fim de estabelecer qual a diferença existente entre os tratamentos, que potencialmente provocou a rejeição da hipótese nula em questão.

O primeiro apontamento destaca a transição para os testes F , ou seja, para a análise de variância (*ANOVA*), pois os experimentos que envolvem um número maior de fatores, experimentos estes mais comuns em cenários reais, não podem ser analisados utilizando-se os teste t de *Student*, como exposto na passagem anterior; o segundo apontamento endossa o apresentado no exemplo experimental anterior, para os modelos de efeitos fixos.

Box, Hunter & Hunter (1978, p. 165), denomina de “Experimentos para Comparar k Médias de Tratamentos”, os projetos para investigação de um único fator, e acrescenta: (a) “Uma estimativa da consistência interna dos dados⁷ pode ser obtida pelo agrupamento das variâncias individuais da amostra, obtido dentro de cada conjunto de dados correspondente

⁷ A consistência interna dos dados ou observações coletadas (i.e., amostra) refere-se à verificação, por exemplo, da variância entre as amostras coletadas para cada nível de um dado experimento, observando se essa variância é a mesma para todos os níveis. Esta confirmação, somada a outras características para garantia da consistência, determinam se um experimento pode, estatisticamente, ser avaliado adequadamente através da análise de variância.

aos diferentes tratamentos.” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 167); (b) “A média total \bar{y} é a soma de todas as observações, divididas pelo número total de observações. *Se*⁸ não houver diferenças reais entre as médias dos tratamentos, uma segunda estimativa de σ^2 pode ser obtido a partir da variação da média dos tratamentos sobre a média das médias. Claramente, se as médias verdadeiras *variarem* de tratamento para tratamento, a estimativa entre os tratamentos s^2_T de σ^2 tenderá a estar inflacionada, ou seja, ela refletirá as variações entre as médias dos tratamentos, bem como da variância intrínseca ao erro. Em contraste, a média quadrática dentro dos tratamentos s^2_R não será afetada pelas diferenças das médias dos tratamentos.” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 169); (c) com o propósito de verificar a adequação dos pressupostos associados às amostras (i.e., independência, normalidade, etc.) realizados no projeto experimental “Uma inspeção geral poderia primeiro ser conduzida pela elaboração de um gráfico de dispersão dos resíduos. (...) Se a suposição de *IIDN* ($0, \sigma^2$) for verdadeira, este gráfico terá a aparência aproximada de uma amostra proveniente de uma distribuição normal centrada em zero.” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 183); (d) “Algumas vezes um padrão (químico) pode direcionar, ou a habilidade do investigador pode melhorar um dado procedimento experimental. Tendências deste tipo podem ser descobertas pela elaboração de um gráfico de resíduos contra sua ordem de aquisição (...)” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 186); (e) “Os resíduos podem ser apresentados graficamente contra qualquer variável de possível relevância. Então pode fazer sentido (...)”, por exemplo, “(...) elaborar um gráfico dos resíduos do tempo de coagulação contra a temperatura do laboratório. Um resultado positivo (a) pode contribuir para o conhecimento básico, (b) pode sugerir que um controle fino da temperatura poderia ser mantido em fases posteriores da investigação, ou (c) poderia resultar na inclusão da temperatura como um fator a ser estudado em um trabalho adicional.” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 186).

2.3.2.2.2 Projetos com 2 ou mais fatores

Estes projetos são uma extensão dos projetos com um único fator. As diferenças básicas, relacionadas ao aumento do número de fatores ensaiados, estão na análise de variância empregada, modificada para acomodar estes fatores adicionais, e assim avaliar a significância dos **efeitos principais** extras, bem como detectar os efeitos secundários para 2 fatores ou terciários para 3, ou seja, verificar as **interações** possíveis destes fatores. As interações, por serem efeitos não-lineares, representam um ganho em conhecimento do

⁸ Grifos dos autores.

processo, pois não é facilmente verificável em experimentos mal projetados, segundo Box (1990b). Nesta mesma bibliografia, o autor questiona e argumenta a importância da verificação das interações nos experimentos industriais.

O exemplo de Box e Cox apud Box, Hunter & Hunter (1978, p. 228), ilustra este arranjo experimental, e as discussões posteriores elucidam alguns pontos julgados importantes.

O experimento fez parte de uma investigação para o combate dos efeitos de certos agentes tóxicos, representados pelo tempo de sobrevivência de grupos de quatro animais aleatoriamente distribuídos com três medicamentos e quatro tratamentos alternativos. Este arranjo é chamado de projeto fatorial 3×4 e foi replicado quatro vezes. Não há incidência de blocos, e ambos fatores, medicamentos e tratamentos, são de igual interesse, tanto como a possibilidade de estes fatores interagirem.

O experimento visava verificar se a **variável resposta** *tempo de sobrevivência* variaria de forma diferente em relação ao fator medicamento, ao fator tratamento alternativo, bem como a interação medicamento-tratamento. Quatro replicações foram feitas, possibilitando a comparação dos efeitos da variável resposta dentro dos grupos.

Após realizadas as computações devidas, registradas no texto original, é verificada a existência de significância estatística dos fatores e interações, através da análise de variância. Pode então, serem traçados os gráficos associados a esses fatores e interações, verificando-se visualmente o efeito provocado, oportunizando conclusões sobre a variação do tempo de sobrevivência.

Outros pontos importantes neste tipo de arranjo podem ser incorporados, verificando as descrições retiradas da literatura e apresentadas a seguir:

Nanni & Ribeiro (1987), discutem informações relevantes, que caracterizam os projetos com 2 ou mais fatores: (a) “(...) em experimentos sem repetições, o valor da σ^2 inclui o erro residual, mais uma possível interação entre α e β .” (Nanni & Ribeiro, 1987, p. 90), salientando-se que σ^2 refere-se à variância das observações, e que existe um confundimento da variância do erro aleatório associado ao fator principal e ao auxiliar.; (b) Em experimentos com repetições (n observações por parcela experimental) pode-se verificar tanto os efeitos principais como a interação entre as variáveis controle. Isto propicia uma análise de sensibilidade com relação à variável resposta, destacando de que forma ela é afetada, ou seja, se a alteração nos níveis da variável de interesse principal, interferem nos efeitos de alterações

nos níveis da variável de interesse secundário, resultando em modificações significativas na variável resposta.; (c) Para níveis fixos, se a hipótese nula (ausência de interação) for rejeitada, isto é, a interação entre as variáveis controle for significativa, a interpretação dos resultados das hipóteses com respeito aos fatores principal e secundário pode ficar comprometida, pois se F_a (ou F_b) $> F_\alpha$ (efeito significativo)⁹, talvez o mesmo fosse devido ao efeito principal (ou secundário). Isto refere-se à impossibilidade de verificar se o efeito é provocado pela interação, ou pela interferência de um dos fatores, este também indicado como significativo na *ANOVA*.

Cochran (1960, p. 95), trata dos projetos com 2 ou mais fatores quando refere-se a “Projetos Completamente Aleatorizados”, apresentando alguns apontamentos interessantes: (a) “(...) projeto de *layout* mais simples, no qual aos tratamentos são distribuídas as unidades experimentais (observações) de forma aleatória. Mais especificamente, se a estes tratamentos são aplicados quatro unidades, a aleatorização fornece a cada grupo de quatro unidades experimentais uma probabilidade igual de receber um dado tratamento.” (Cochran, 1960, p. 95); (b) “Estes projetos são indicados quando: (1) completa flexibilidade for exigida - qualquer número de tratamentos e replicações são permitidas. O número de replicações pode variar de um tratamento para outro. Todo o material experimental pode ser utilizado, uma vantagem em experimentos preliminares de pequena dimensão, onde o fornecimento de material é limitado; (2) a análise estatística é simples, mesmo se o número de replicações não for a mesma em todos os tratamentos ou se os erros experimentais diferirem de um tratamento para outro; (3) o método de análise permanece simples quando os resultados de algumas observações ou de todo um tratamento forem perdidas ou rejeitadas. Além disso, a perda relativa de informação devida a ausência de dados é a menor, se comparada com os outros tipos de projetos.” (Cochran, 1960, p. 95); (c) “A principal objeção aos projetos completamente aleatorizados relaciona-se ao conhecimento da acurácia. Já que a aleatorização não é restritiva para garantir que as unidades as quais receberam um dado tratamento sejam similares àquelas que receberam outro tratamento, a totalidade da variação aplicada a estas unidades experimentais será alocada ao erro experimental. Por esta razão o erro pode freqüentemente ser reduzido pela utilização de um projeto diferente, a menos que as unidades sejam altamente homogêneas ou o investigador não tenha informações sobre como configurar

⁹ F_a ou F_b são os valores calculados no teste F (análise de variância), a partir da divisão entre a média quadrada dos respectivos fatores e a média quadrada do termo de erro (Box, 1978, p. 230), e comparados com o F_{tabelado} (obtido nas tabelas da distribuição F). Os procedimentos e a própria tabela F podem ser encontrados na apostila eletrônica (Anexo V), bem como na literatura utilizada nesta dissertação.

um outro arranjo ou manipular as unidades em grupos mais homogêneos.” (Cochran, 1960, p. 95), mesma observação feita por Nanni & Ribeiro (1987) anteriormente, e que deve ser sempre observada com atenção pelos investigadores, devido aos danos eventuais à análise se houver algum descuido; (d) “Os projetos completamente aleatorizados são os mais utilizados em experimentos laboratoriais, em física, química, ou culinária, onde uma quantidade de material, após mistura completa, é dividida em pequenas amostras ou lotes, aos quais os tratamentos são aplicados. Entretanto, estes projetos são raramente utilizados em experimentos de campo (indústrias, agricultura), onde o método de aleatorização de blocos tem sido utilizado e considerado consistentemente mais acurado.” (Cochran, 1960, p. 95-96); (e) A razão pela qual estes experimentos são adotados pode ser atribuída a sua capacidade de garantir o máximo número de graus de liberdade para a estimativa do erro, para qualquer configuração quanto ao número de tratamentos e unidades experimentais. Como exposto por Cochran (1960, p. 96), “a sensibilidade do experimento cresce quando cresce o número de graus de liberdade”. Em experimentos onde são poucas as observações que podem ser obtidas, esta característica assume importância prioritária. (f) “Resumidamente, pode se dizer que os projetos completamente aleatorizados são apropriados para: (1) materiais experimentais que apresentam homogeneidade, (2) onde uma apreciável fração das observações comumente é destruída ou perdida, e (3) em pequenos experimentos onde o aumento da acuracidade provocada por projetos alternativos não suporta a perda de graus de liberdade para os erros.”

2.3.2.2.3 Projetos em blocos

Segundo Mendenhall (1968, p. 62), os projetos em blocos, assim como os quadrado-latinos discutidos no decorrer deste trabalho, são ditos “**projetos experimentais redutores de ruído**”, pois diminuem a influência do termo de erro (ruído), dado que considera a heterogeneidade dos níveis dos fatores. A classificação deste autor divide os projetos em duas classes, a anteriormente mencionada, e a de projetos “**elevadores de volume**”, tratadas nos tópicos seguintes.

O exemplo de projeto em blocos foi retirado de Mendenhall (1968), e representa uma situação experimental simples.

Dois produtos químicos, A e B, desenvolvidos para aumentar a resistência de placas de papel, são utilizados para realizar comparações em 60 amostras aleatoriamente selecionadas da produção. Cada amostra das placas de papel foi dividida e os dois produtos químicos, A e B, foram aleatoriamente associados, um a cada metade. As medições de resistência resultaram em uma média de amostra \bar{y}_A e \bar{y}_B .

O experimento, apesar de ser caracteristicamente um projeto em blocos relacionados aos produtos químicos, pode ser classificado também como “Experimentos de Simples Comparação” (Montgomery, 1991, p. 14). Esses experimentos não são discutidos neste trabalho, porém podem ser considerados um caso específico dos projetos em blocos (Mendenhall, 1968).

As diferenças relativas entre os projetos em blocos e os completamente aleatorizados, estão no reconhecimento da complexidade dos primeiros (i.e., considerando as heterogeneidades comumente existentes nos experimentos industriais, retirando do termo de erro a variabilidade associada aos blocos), comparativamente ao pressuposto de homogeneidade dos tratamentos, assumido pelos segundos. Estas diferenças podem ser propriamente verificadas em Montgomery (1991, p. 141), onde uma análise de variância incorreta, conduzida a partir de um projeto em blocos, porém assumido como um projeto completamente aleatorizado, produz um resultado antagônico à análise correta, mais uma vez ressaltando a importância do planejamento experimental.

Quanto à variabilidade excluída do termo de erro, esta é incluída no bloco, resultando em uma análise de variância específica, que executa o teste F baseada na média quadrada do termo de erro, agora isento da interferência do bloco, conforme pode ser verificado na literatura e na apostila eletrônica.

Montgomery (1991) destaca que um teste F exato para a média quadrada do bloco não pode ser obtido, devido a restrições ao pressuposto de normalidade para a maioria dos casos, entretanto argumenta que o seu cálculo pode servir para indicar se ocorreu redução significativa no ruído, provocado pela configuração em blocos. Neste caso, a razão entre as médias quadradas do bloco e do termo de erro seria grande, o que levaria a concluir que a blocagem auxiliou na melhoria da precisão na comparação das médias do tratamento.

Alguns autores reiteram e/ou acrescentam apontamentos importantes, que portanto são destacados a seguir:

Cochran (1960, p. 106), denomina os projetos em blocos de “Agrupamento Unitário: Blocos Aleatorizados”, em comparação aos projetos do tipo Quadrado-latino, que chama de “Agrupamento Duplo”. Nessa bibliografia pode então ser destacado o seguinte: (a) “Em todos os estágios do experimento o objetivo é manter o erro experimental dentro de cada grupo (bloco) no menor valor possível. Então, quando as unidades são alocadas em grupos, todas as unidades que pertencerem a um mesmo grupo podem ser facilmente comparadas. Similarmente, durante o curso do experimento, uma técnica uniforme pode ser empregada para todas as unidades em um mesmo grupo (bloco). Quaisquer modificações na técnica ou em outras condições que possam afetar os resultados podem ser realizadas entre os grupos.” (Cochran, 1960, p. 106); (b) “A divisão em blocos deve ser efetuada somente naqueles estágios do experimento em que ela possa auxiliar na redução dos erros experimentais. Em experimentos no campo da agricultura, a divisão é realizada no início, quando as áreas de terra são demarcadas no campo. (...) Em outros tipos de experimentação, não há distinção real que possa ser feita a respeito da blocagem, até que alguns estágios do experimento tenham sido realizados.” (Cochran, 1960, p. 106). A definição da tática experimental, ou seja, dos projetos e da análise a serem adotadas em uma incursão experimental, devem ser traçadas no decorrer da etapa de planejamento experimental, devendo ser revisada assim que os primeiros resultados (ainda não conclusivos, porém indicativos) forem analisados. Mediante uma condição não prevista na etapa de planejamento, novas premissas e estratégias podem ser introduzidas agregando, assim, ao experimento um caráter interativo, bem como novas configurações com relação a outros projetos. O ciclo Shewart-Deming (PDCA - *Plan-Do-Check-Act*) aplica-se perfeitamente a este caráter interativo, de atualização do procedimento experimental.; (c) Finalizando, Cochran (1960, p. 106 - 107) sumariza as principais vantagens da realização de um projeto aleatorizado em blocos: (1) em razão do agrupamento, resultados mais exatos são normalmente obtidos em relação aqueles dos projetos completamente aleatorizados.; (2) se replicações extras forem desejadas para alguns tratamentos, estas podem ser aplicadas como duas observações dentro de cada um dos grupos¹⁰.; (3) pode acontecer a necessidade de omitir um grupo completo ou a integralidade dos dados em um ou mais tratamentos, sem introduzir qualquer complicação à análise. Quando dados de algumas unidades experimentais são perdidos, a técnica “*missing-plot*” desenvolvida por Yates (encontrada em Cochran, 1960 e no original Yates, 1933), possibilita que os resultados disponíveis sejam plenamente utilizados (recuperando a possibilidade de avaliar de forma

¹⁰ Com duas ou mais replicações podem ser estimados também os efeitos dentro do bloco, possibilitando a verificação da variação interna do bloco ou tratamento.

consistente o experimento). Entretanto, se o número de informações perdidas for considerável, deve-se considerar o projeto completamente aleatorizado como mais conveniente, devido a não existência do confundimento com o grupo (bloco); (4) se a variância do erro experimental for maior para alguns tratamentos do que para outros, um erro não tendencioso pode ser ainda obtido, testando qualquer combinação específica dos tratamentos médios.

Nanni & Ribeiro (1987, p. 78), referindo-se a “Projetos de Blocos Completamente Aleatorizados”, destacam algumas características dos mesmos, que podem ser assim dispostas: (a) Em projetos onde existam duas variáveis controle em blocos evidentes (i.e., tecnologias de processamento diferenciadas e fornecedores de matéria-prima diferentes), se for necessário remover do experimento a variação devida a um destes blocos (i.e., tecnologias), dado que a outra variável controle é a variável de interesse (i.e., verificar a influência do fornecedor nas características do produto final - variável resposta) deve-se utilizar um projeto em blocos completamente aleatorizado. Sendo o principal objetivo dos projetos experimentais reduzir o erro experimental, utilizar-se de um projeto que incorpore ao termo de erro os efeitos da variância entre blocos (entre tecnologias), não seria recomendado. Isto reafirma os argumentos anteriores atribuídos a outros autores; (b) O suposto experimento supra citado, além de fornecer resultados confiáveis para analisar a diferença da variável de interesse (i.e., fornecedores de matéria-prima), presta-se para testar a hipótese de significância entre os blocos (i.e., tecnologias), ou seja, permite que o investigador diferencie o que é devido a um bloco e outro; (c) Se um projeto que confunde o bloco mencionado anteriormente (i.e., tecnologia) é utilizado, como em um projeto completamente aleatorizado, não é possível se testar a hipótese da diferença entre a variável controle de interesse, pois os efeitos da mesma na variável resposta (características do produto final) estariam confundidos (o termo de erro incorporaria tanto o efeito da variável tecnologia quanto da variável fornecedor). Esse confundimento impossibilitaria o teste específico para a variável de interesse, e confirma mais uma vez as diferenças na análise de variância entre estes dois tipos de projetos (i.e., projeto em blocos e projeto completamente aleatorizado).

2.3.2.2.4 Projetos do tipo quadrado-latino

Segundo Box, Hunter & Hunter (1978), os projetos do tipo Quadrado-latino foram introduzidos por Ronald A. Fisher, sendo estes experimentos considerados na categoria de “projetos com mais de uma variável bloqueada” (Box, Hunter & Hunter, 1978, p. 245). Portanto,

como os projetos em blocos possuem propriedades de redução da variabilidade associada ao termo de erro e perda de interações entre os blocos, são reconhecidos por Mendenhall (1968, p. 62) como projetos “redutores de ruído”.

A descrição do projeto a seguir, baseado em exemplos encontrados em Nanni & Ribeiro (1987), apresenta um projeto do tipo quadrado-latino de *layout* e utilização típicas.

Os projetos tipo Quadrado-latino apresentam blocagem em dois sentidos, ou seja, cada tratamento aparece somente uma vez em cada linha (**turnos operacionais**) e também somente uma vez em cada coluna (**tecnologia de processamento**), possibilitando uma avaliação mais ampla (em relação a tecnologia e turnos) da variável central de interesse (**fornecedores**). Entretanto, a sensibilidade quanto a possíveis **interações** entre os fatores é **eliminada**, já que que há apenas um nível de um dos fatores para cada combinação de níveis dos outros dois fatores.

tratamento 1 (tec i): tecnologia de processamento
 tratamento 2 (tur j): turnos operacionais
 tratamento 3 (for l): fornecedores de matéria-prima
 $i, j, l = 1, 2, 3$.

	tec 1	tec 2	tec 3
tur 1	for 1	for 2	for 3
tur 2	for 2	for 3	for 1
tur 3	for 3	for 1	for 2

Projetos deste tipo somente são possíveis quando o número de níveis de ambas as restrições (**tec i, tur j**) é igual ao número de níveis do tratamento de interesse (**for l**), caracterizando sempre um quadrado (**i = j**).

Como fora mencionado anteriormente, os projetos tipo Quadrado-latino acrescentam restrições à aleatorização, reduzindo o termo de erro experimental, diminuindo assim a precisão da estimativa da variância do erro. Entretanto, sua aleatorização não é totalmente impossível, visto que o quadrado-latino a ser utilizado pode ser escolhido aleatoriamente de muitos quadrado-latinos disponíveis na literatura (i.e., Box, Hunter & Hunter, 1978) para o tamanho requerido.

Segundo Nanni & Ribeiro (1987), existe a possibilidade de uma redução significativa no número de graus de liberdade do termo de erro, decorrente das restrições à aleatorização impostas. Para aumentar o número de graus de liberdade e obter uma estimativa mais precisa da variância, pode ser acrescentado ao termo de erro, aqueles termos que não apresentarem significância (a hipótese nula H_0 não é rejeitada) na avaliação (teste F). Sendo assim, acrescentam-se também os graus de liberdade, aumentando na proporção destes o termo de

comparação (erro). É preciso no entanto ser cuidadoso, pois não há evidências objetivas de que não exista efeito destes termos não significativos, não tendo o investigador idéia acerca do possível erro envolvido em aceitar esta hipótese. Evidentemente, se o número de graus de liberdade for muito reduzido no termo de erro, então a "união" posterior dos termos não significativos será primordial para obter-se um padrão mais acurado para avaliar os outros efeitos.

Outras restrições à aleatorização, e conseqüente eliminação de fontes de variabilidade, são possíveis utilizando-se outros projetos, como do tipo Quadrados Greco-latinos, que por sua vez apresentam blocos em três direções/variáveis. Entretanto, estes não serão abordados no presente trabalho, devido às evidências anteriormente apresentadas relacionadas a sua condição de projeto não básico, sendo um caso particular dos projetos em bloco ou dos projetos quadrado-latinos.

Cochran (1960, p. 117), adota a denominação de “Agrupamento Duplo” para os projetos Quadrado-latinos, destacando alguns pontos importantes: (a) “(...) para qualquer linha e para qualquer coluna de um dado quadrado, o conjunto de replicações apresenta-se completo.” (Cochran, 1960, p. 117); (b) “O material experimental deve ser arranjado, e o experimento conduzido, tal que diferenças entre linhas e colunas representem as maiores fontes de variação, a fim de minimizar a interferência destas diferenças no termo de erro.” (Cochran, 1960, p. 117). Esta afirmação é a característica primeira para a decisão de se utilizar um projeto do tipo quadrado-latino.; (c) “Frequentemente, em particular na indústria, um experimento requer séries de operações que podem introduzir variabilidade nos resultados finais. Em alguns casos os projetos do tipo Quadrado-latinos podem ser utilizados para investigações iniciais das fontes de variação.” (Cochran, 1960, p. 118). Como, por exemplo, na preparação da mistura de vitaminas que compõem a ração animal industrializada, onde a variação pode ocorrer no momento de abastecimento dos ingredientes da ração (pesagem dos ingredientes) ou no processo de mistura destes ingredientes. (d) “A restrição principal à utilização dos projetos tipo Quadrado-latino está no número de replicações necessárias, pois as mesmas devem ser iguais ao número de tratamentos; se este último ponto for considerado, o número de replicações torna-se impraticável. Os Quadrado-latinos maiores que 12X12 raramente são utilizados, enquanto que o intervalo mais comum encontra-se entre os quadrado-latinos 5X5 e 8X8.” (Cochran, 1960, p. 120); (e) “Os Quadrado-latinos são acometidos da mesma desvantagem dos projetos em blocos aleatorizados no que diz respeito ao tamanho do termo de erro, pois o mesmo é aumentado somente com o aumento dos

quadrados.” (Cochran, 1960, p. 120-121). Estas duas últimas colocações permitem verificar que a escolha ou não deste ou de outros *layouts* experimentais deve ser precedida da etapa de planejamento, já reforçada neste trabalho. Esta observação se faz necessária, pois alguns profissionais que conduzem experimentos, simplesmente desconsideram certas restrições, formatando o projeto em um arranjo básico, o qual eles dominam, mas não resultam em informações confiáveis. Estas palavras são endossadas por Montgomery (1991) e Box (1988), quando refere-se à aplicação dos projetos ortogonais de Taguchi, de forma indiscriminada, sem a devida consideração a aleatorização e interações. O mesmo pode ser dito dos projetos *one-factor-at-a-time*, discutidos nos capítulos iniciais deste trabalho (Box, Hunter & Hunter, 1978, Cusimano, 1996 e Burnham, 1996).

2.3.2.2.5 Projetos aninhados

De acordo com Peng (1967, p. 67), "Em alguns experimentos de dois fatores, os níveis do fator um, dito B , são similares mas não idênticos para diferentes níveis do outro fator, dito A ; e o experimento é chamado aninhado, com o fator B aninhado ao fator A ." O exemplo a seguir, baseado em Nanni & Ribeiro (1987), apresenta um projeto aninhado, onde uma unidade de produção (fábrica), possui turnos operacionais (fator B) aninhados a células de manufatura (fator A), ou seja, para cada célula de manufatura, os turnos operacionais são diferentes.

A variável resposta que se deseja estudar é o número de peças conformes fabricadas pelos diversos turnos (T_i), em cada uma das células de manufatura (CM_j), ou seja, a qualidade da produção em cada célula. A Tabela 2.4 apresenta o *layout* para este experimento.

De acordo com Nanni & Ribeiro (1987), em arranjos com esta configuração, a interação não pode ser verificada entre os níveis do fator T_i e os níveis do fator CM_j . Como tanto turnos (T_i), como células de manufatura (CM_j) apresentam diferenças físicas, gerenciais ou de pessoal entre si, a interação destes é impraticável. Deve-se ter cuidado especial para, conforme salienta Montgomery (1991), realizar a análise de variância correta para este projeto, não confundindo-a com a análise para projetos fatoriais, estes sim contemplando a interação entre fatores.

Tabela 2.4 - *Layout* do experimento com fatores aninhados (Fonte: Autor)

	CM ₁			CM ₂			CM ₃			CM ₄		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
Número de	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
peças conformes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(variável resposta)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Projetos similares ao apresentado, segundo Nanni & Ribeiro (1987), caracterizam-se por possuírem níveis experimentais fixos, entretanto níveis aleatórios podem ser utilizados neste projeto. Assim como Nanni & Ribeiro (1987), Montgomery (1991) também destaca este ponto, com um viés orientado para a análise do experimento, indicando que para projetos a níveis fixos, níveis aleatórios ou mistos, as análises são diferenciadas, podendo estas serem conferidas nesta referência bibliográfica.

Em um exemplo de experimento a níveis aleatórios, quer se testar a descarbonetação (perda de carbono superficial) de lotes diferentes (L_i) de uma mesma liga metálica, expostos às condições de aquecimento de um forno. As barras retiradas ao acaso (B_j) destes lotes podem ser ensaiadas (3 medições (M_k): "cabeça", meio e "cauda") e o arranjo experimental verificado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - *Layout* de um projeto aninhado a níveis aleatórios (Fonte: Autor)

	L₁			L₂			L₃		
	B₁	B₂	B₃	B₁	B₂	B₃	B₁	B₂	B₃
Profundidade	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁
descarbonetada	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂
(variável resposta)	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃	M ₃

No caso apresentado, as barras B_j estão aninhadas aos lotes L_i . Esta configuração não permite avaliar as interações entre as barras e os níveis do fator lote L_i . Ambos os níveis neste experimento são aleatórios, entretanto uma combinação mista também é possível, por exemplo, três fornos distintos (F_i), com concepções de projeto diferentes e níveis de temperatura diferentes (T_j), onde fornos apresenta níveis fixos e temperatura níveis aleatórios. Devido a condições técnicas, para o exemplo que contempla a superfície descarbonetada, três medidas são executadas nas barras, destacando-se a média para os testes de significância.

É importante destacar ainda que, como afirma Wooding (1973), os projetos aninhados (também conhecidos por hierárquicos) possuem diferenças importantes com relação ao projeto parcionado em células, abordado no próximo item deste trabalho, sendo que a principal pode ser assim resumida: "O "agrupamento" de alguns fatores dentro dos níveis de outros fatores, utilizado em um projeto parcionado em células, é diferente do "aninhamento" dos projetos hierárquicos, dado que o **mesmo nível de um fator agrupado** que aparece em diferentes partes do projeto **representam sempre "coisas" idênticas**, enquanto os **níveis do fator "aninhado"** (como "testes") são, em princípio, diferentes. Fatores **agrupados** estão **cruzados** e as **interações são possíveis**; fatores **aninhados não estão cruzados**, e **não podem haver interações** entre fatores aninhados." (Wooding, 1973, p. 28) ¹¹.

2.3.2.2.6 Projetos parcionados em células

Os projetos parcionados em célula, ou *split-plot design*, são projetos herdados dos primeiros experimentos realizados no campo da agricultura. Esses projetos são muitas vezes empregados de forma errônea em experimentos industriais, pois, segundo Wooding (1973), podem ocorrer parcionamentos inadvertidos, provocados pela desatenção no projeto do experimento. No momento da análise podem ocorrer distorções, pois os testes planejados que seriam utilizados na avaliação, não representam o projeto executado.

Assim, utilizando-se de algumas comparações entre projetos completamente aleatorizados, aleatorizados em blocos e hierárquicos (ou aninhados), Wooding (1973) descreve os arranjos parcionados em células. Primeiramente, Wooding (1973) compara os projetos aleatorizados em blocos e os projetos completamente aleatorizados, dizendo que "um projeto aleatorizado em blocos pode diferenciar-se de um projeto completamente aleatorizado somente no método de aleatorização utilizado. A forma que é feita a aleatorização reflete, então, a "verdadeira face" da situação experimental." (Wooding, 1973, p. 19). Outra afirmação é feita neste sentido, afirmando que "Um projeto parcionado em células pode diferenciar-se de uma simples aleatorização em blocos. Novamente, isto ocorre somente devido ao método de aleatorização, refletindo assim os procedimentos reais utilizados no experimento." (Wooding, 1973, p. 19). Mesmo sendo uma argumentação óbvia, é importante observá-la, pois muitos erros são cometidos, conforme afirma o autor (Wooding, 1973).

¹¹ Os grifos foram introduzidos para salientar os paralelos, e não fazem parte do texto original.

A este propósito, segundo Wooding (1973), pode-se dizer que poucos pesquisadores cometem o engano de analisar dados de projetos em blocos aleatorizados como se estes seguissem um modelo completamente aleatorizado, entretanto não é incomum que um projeto parcionado em células seja incorretamente analisado. Naturalmente, a melhor alternativa é evitar o parcionamento em células não intencional, porém, falhando isto, a melhor coisa a fazer é proceder a análise correta. É comum a ocorrência inadvertida de um parcionamento em células, e é fácil falhar no seu reconhecimento. Para melhor explicitar este arranjo experimental, a seguir é apresentado um exemplo de um experimento parcionado em células, retirado de Cochran (1960, p. 299), sendo então realizados comentários complementares ao mesmo e aos projetos parcionados em células.

Em um experimento de preparação de biscoitos de chocolate, conduzido na *Iowa State College*, 3 receitas para preparação da massa foram comparadas. As receitas I e II diferem-se na temperatura de adição do chocolate, a 40°C e a 60°C, respectivamente, enquanto a receita III continha açúcar extra. Adicionalmente, 6 diferentes temperaturas de cozimento foram testadas: aumentando em intervalos de 10°, de 175° até 225°. A cada momento que a mistura era elaborada para qualquer receita, massa suficiente era preparada para 6 biscoitos, cada um cozido em diferentes temperaturas. Então as receitas são as "células inteiras" ¹², enquanto as temperaturas de cozimento são as "células parcionadas".

Este projeto poderia então ser representado conforme mostrado na Tabela 2.6, onde podem ser vistos as células inteiras (receitas), bem como as células parcionadas (temperaturas).

Tabela 2.6 - *Layout* de um projeto parcionado em células

Repetição	Temperatura de Cozimento (°C)	Receitas		
		I	II	III
1	T1 (175°)	X	X	X
	T2 (185°)	X	X	X
	T3 (195°)	X	X	X
	T4 (205°)	X	X	X
	T5 (215°)	X	X	X
	T6 (225°)	X	X	X
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
...

¹² A nomenclatura utilizada no original para este tratamento era "*whole-unit*", entretanto, Nanni & Ribeiro (1987) adotam o termo "célula inteira" para descrever este tratamento, bem como "célula parcionada" para descrever "*sub-unit*", encontrada também nesta passagem no original.

As células inteiras correspondem, por exemplo, ao conjunto de resultados obtidos para a receita III em todas as temperaturas, para uma replicação, enquanto que a célula parcionada é representada pelo resultado do cruzamento entre receita e temperatura, como receita II e temperatura T3 (195°C).

Como pode-se perceber, a massa da receita I, por exemplo, preparada para 6 biscoitos é testada para todas as temperaturas em uma mesma batelada, resultante do aumento incremental de 10°, em um mesmo intervalo de cozimento. Os efeitos de maior interesse, segundo Ribeiro (1996), devem ser posicionados no parcionamento, pois para estes dados não ocorre confundimento. Cochran (1960) reitera, explicitando que para o parcionamento e a interação célula inteira - parcionamento, os testes de significância são precisos, o mesmo não podendo ser dito para as células inteiras somente, dado que as mesmas algumas vezes podem representar blocos. No caso exposto acima, receitas R_i podem ser consideradas blocos, dado a heterogeneidade de suas características, bem como o momento de execução dos testes para as mesmas, estes podendo serem espaçados no tempo, conforme mencionado na referência bibliográfica citada.

Alguns apontamentos/comentários extras ou complementares se fazem necessários, sendo os mesmos extraídos de Wooding (1973, p. 28-29):

- Os arranjos parcionados são sempre parcialmente fatoriais em sua estrutura, tanto que Nanni & Ribeiro (1987, p. 152) os identificam como "Experimentos Fatoriais Fracionados em Células".;
- Apresentam confundimento dos efeitos principais, mas o que é confundido pode não ser sempre óbvio (por exemplo, seqüência de execução dos ensaios).;
- Na análise de um projeto parcionado em células, o interesse freqüentemente, centra-se sobre as comparações entre médias ao invés das variâncias, e as análises são freqüentemente de modelos mistos.;
- Os projetos parcionados em células são normalmente utilizados quando: (a) a aleatorização para um projeto não puder ser feita facilmente e de forma simplificada; (b) alguns fatores requisitarem máxima sensibilidade (fatores de interesse) e outros puderem ser considerados menos importantes; ou (c) o tamanho do bloco deve ou pode ser reduzido, a fim de minimizar o erro esperado ou devido a necessidades físicas. Note que existem outros métodos para

reduzir o tamanho do bloco (i.e., projetos fatoriais fracionados, blocos balanceados incompletos), mas estas técnicas produzem erros uniformes para todos os efeitos, ao invés de discriminá-los de acordo com a necessidade, como nos projetos parcionados em células.

2.3.2.2.7 Projetos fatoriais

Os projetos fatoriais são generalizações dos projetos de experimentos, pois todos estes são composições de um ou mais fatores, com diferentes graus de aleatorização, constituindo assim, a base para sua compreensão. Tanto os projetos mais simples, como de 1 fator (i.e., projeto fatorial com 1 fator), quanto os projetos aninhados (i.e., projeto fatorial básico com variáveis aninhadas - associadas - a certo(s) fator(es)), podem ser classificados como projetos fatoriais em algum grau.

Os projetos fatoriais fracionados, desdobramentos dos projetos fatoriais, por intermédio de Genichi Taguchi, foram difundidos e divulgados nos meios industriais, tendo sido denominados de projetos de Taguchi. Essa contribuição tornou os projetos experimentais mais conhecidos e utilizados, extrapolando os limites de seu campo de desenvolvimento, na área de agricultura e genética (Tay, 1999).

Neste capítulo são abordados os projetos fatoriais com dois níveis, completos e fracionados. Esses projetos são normalmente indicados para as etapas iniciais da experimentação, na identificação dos fatores mais importantes, onde é necessário investigar um grande número de fatores, quando pouca informação é conhecida. Nessas etapas iniciais, é necessário analisar uma ampla gama de fatores controláveis, separando aqueles que apresentarem maior significância (Lucas apud Caten, 1995).

2.3.2.2.7.1 Projetos fatoriais do tipo 2^k

De acordo com Montgomery (1991, p. 270), "Os projetos fatoriais são amplamente utilizados em experimentos envolvendo diversos fatores, onde é necessário estudar o efeito conjunto destes fatores em relação à resposta. (...) Existem diversos casos especiais de projetos fatoriais gerais que são importantes, pois são amplamente utilizados em trabalhos de pesquisa e também porque eles formam a base de outros projetos de considerável valor

prático". Após exposto isto, Montgomery (1991, p. 270) destaca que "O mais importante destes casos especiais é aquele de k fatores, cada qual a somente dois níveis.", ou seja, os projetos fatoriais do tipo 2^k .

Segundo Nanni & Ribeiro (1987) e Montgomery (1991), os projetos fatoriais 2^k são especialmente úteis nos estágios iniciais de um trabalho experimental, quando muitos fatores devem ser investigados. Estes projetos oferecem o menor número de combinações de tratamentos, o que permite o estudo de k fatores em um arranjo fatorial completo.

Mendenhall (1968, p. 62 e 85) caracteriza, conforme apresentando anteriormente no item 2.3.2.2.3 *Projetos em Blocos*, os projetos como "redutores de ruído" e "elevadores de volume". O conceito de redutor de ruído cabe a projetos como quadrado-latino ou em blocos, sendo que o conceito de elevador de volume, e neste caso, volume de informação resultante do projeto, é aplicável aos projetos fatoriais, em particular aos do tipo 2^k . Esta característica vincula-se ao número de variáveis resposta utilizadas, e seu desempenho em proporcionar mais informações (e.g., interpolações) com reduzido número de ensaios.

Apesar da distinção existente entre esta caracterização de Mendenhall (1968), não existe exclusão relacionada a um projeto ser elevador de volume ou redutor de ruído. As duas caracterizações podem estar contidas num determinado arranjo experimental (e.g., projeto fatorial 2^k , bloqueado), entretanto uma dessas caracterizações será sobreposta à outra nessa classificação.

Outro aspecto importante, não só para os projetos do tipo 2^k , mas para todos os arranjos experimentais, refere-se ao tipo de variável investigada. Assim, quando o projeto experimental, genericamente, representar variáveis contínuas (i.e., temperatura, concentração, umidade, etc.), as interpolações podem ser consideradas viáveis, e devem ser entendidas, no caso em que somente dois níveis são ensaiados, como lineares. No entanto, se a referência for feita a uma variável discreta (i.e., número de operadores, turnos operacionais, unidades de manufatura, etc.), a interpolação deixa de ter utilidade.

Algumas definições apresentadas a seguir, estendem-se para todos os projetos fatoriais, mas são mais facilmente entendidas em projetos do tipo 2^k . Por exemplo, o efeito de um fator é a alteração na resposta produzida pela mudança no nível deste fator, sendo que o efeito médio será a média sobre os níveis do outro fator (Nanni & Ribeiro, 1987).

Em projetos fatoriais podem ser identificados quatro elementos (Box, Hunter & Hunter, 1978 e Montgomery, 1991); são eles: combinações de tratamentos, efeitos, contrastes e somas quadradas. Pode-se dizer que as **somas quadradas** (utilizadas na análise de variância) "originam-se" dos **efeitos**, que por sua vez originam-se dos **contrastos** e estes últimos originam-se das **combinações dos tratamentos**. Para exemplificar, não provar, utilizar-se-á um projeto fatorial 2^3 , que possui 8 (oito) combinações de tratamentos, 7 (sete) contrastes, 7 (sete) efeitos e 7 (sete) somas quadradas.

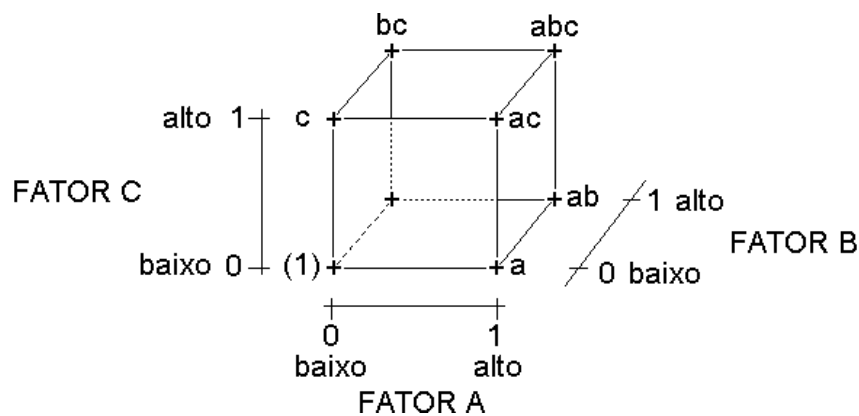


Figura 2.3 - Representação gráfica do projeto fatorial 2^3

(Fonte: Ribeiro, 1996)

Tabela 2.7 - Tabela de Sinais, para auxílio do cálculo

Tratamento	Efeito fatorial							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	+	+	-	-	-	-
c	+	-	-	+	+	-	-	+
ac	+	+	-	-	+	+	-	-
bc	+	-	+	-	+	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+	+

(Fonte: Ribeiro, 1996)

Os vértices do cubo apresentado na Figura 2.3 ou as linhas da Tabela 2.7, representam os tratamentos (oito no total). Os contrastes utilizados para o cálculo dos efeitos, e posterior determinação das somas quadradas, podem ser obtidos através das colunas da Tabela 2.7 (tabela de sinais), que representam os contrastes para os efeitos de interesse. Os contrastes também podem ser obtidos pela expansão do lado direito da seguinte equação genérica:

$$\text{contraste } AB\dots K = (a \pm 1) (b \pm 1) \dots (k \pm 1)$$

onde $AB\dots K$ são todas as combinações de tratamentos possíveis, sendo o contraste para B, por exemplo, igual a

$$\begin{aligned} \text{contraste B} &= (a + 1) (b - 1) (c + 1) \\ &= abc + ab + bc + b - ac - a - c - (1) \end{aligned}$$

conforme pode ser confirmado através da Tabela 2.7, observando-se a coluna B.

Os efeitos, então, são obtidos diretamente a partir dos contrastes, utilizando a seguinte expressão:

$$\text{efeito }_{AB\dots K} = \frac{2}{n 2^k} (\text{contraste}_{AB\dots K})$$

onde n denota o número de repetições realizadas no experimento. Como pode ser visto, o efeito nada mais é que a mudança **média** que ocorre na resposta quando é alterado o nível do fator ou interação correspondente. O termo $[2/(n2^k)]$ é responsável pelo cálculo da média, uma vez que o contraste contempla a soma de vários tratamentos e cada tratamento é na verdade a soma de n repetições.

Desta forma, as somas quadradas, utilizadas para a análise de variância (*ANOVA*), podem ser determinadas, a partir da equação

$$SQ_{AB\dots K} = n 2^{k-1} (\text{efeito}_{AB\dots K})^2$$

ou comumente encontrada como

$$SQ_{AB\dots K} = \frac{1}{n 2^k} (\text{contraste}_{AB\dots K})^2$$

Após calculadas as somas quadradas, já existem dados suficientes para compor a análise de variância (*ANOVA*). O exemplo retirado de Montgomery (1991, p. 232 e 283), sobre um experimento fatorial do tipo 2^k , sendo $k = 3$, é apresentado a seguir, juntamente com sua análise de variância, resumindo os conceitos descritos acima.

Uma companhia envazadora de refrigerantes está interessada em obter alturas de enchimento mais uniformes nos recipientes produzidos pelo seu processo de manufatura. O equipamento de envazar teoricamente enche cada recipiente com uma altura-alvo correta, mas na prática, existe uma variação ao redor deste alvo, e a companhia gostaria de entender melhor as fontes desta variação e a eventual redução da mesma.

O engenheiro de processo pode controlar três variáveis durante o processo de enchimento: a percentagem de carbonatação (A), a pressão de operação (B), e os recipientes produzidos por minuto ou velocidade da linha (C). A pressão e a velocidade são facilmente controláveis, mas o percentual de carbonatação é mais difícil de controlar durante a produção real, pois ele varia com a temperatura do produto. Entretanto, para a realização de um experimento, o engenheiro pode controlar a carbonatação em dois níveis: 10 e 12 por cento. Ele escolheu dois níveis também para pressão (25 e 30 psi) e dois níveis para a velocidade da linha (200 e 250 recipientes/minuto). Ele decidiu executar duas replicações do projeto fatorial do tipo 2^3 , com todas as 16 rodadas executadas de forma aleatória. A variável resposta observada é o desvio médio da altura-alvo de enchimento observada na produção de recipientes, em cada conjunto de condições. (...) Desvios positivos são alturas de enchimento acima do alvo, enquanto desvios negativos são alturas de enchimento abaixo do alvo.

Os resultados obtidos através da utilização das equações anteriormente apresentadas podem ser verificados na Tabela 2.8. Os dados que originaram esta tabela encontram-se na referência bibliográfica mencionada anteriormente.

Tabela 2.8 - Análise de Variância dos Dados da Altura de Enchimento

Fonte de Variação	Somas Quadradas	Graus de Liberdade	Média Quadrada	F_0
Percentagem de Carbonatação (A)	36,00	1	36,00	57,60 ^a
Pressão (B)	20,25	1	20,25	32,40 ^a
Velocidade da Linha (C)	12,25	1	12,25	19,60 ^a
AB	2,25	1	2,25	3,60
AC	0,25	1	0,25	0,40
BC	1,00	1	1,00	1,60
ABC	1,00	1	1,00	1,60
Erro	5,00	8	0,625	
Total	78,00	15		

^a Significativo para 1 por cento

Fonte: Montgomery, 1991, p. 286.

As informações presentes nas colunas da Tabela 2.8 podem ser descritas como:

- fontes de variação: compostas pelos fatores experimentais e suas interações;
- somas quadradas: somas dos quadrados dos fatores e de suas interações;
- graus de liberdade: relacionado aos fatores, representando, segundo Montgomery (1991), o número de elementos independentes em cada soma dos quadrados;
- médias quadradas: resultado da divisão entre as somas quadradas de dado fator ou interação, com seus respectivos graus de liberdade. Valor utilizado para verificação da significância de determinado fator ou interação no experimento;
- F_0 : teste de Fisher, verifica a partir de um valor tabelado, neste caso para uma significância de 1 por cento, se determinado fator ou interação influenciou ou não no resultado do experimento. **Os detalhamentos encontram-se na bibliografia consultada, ou na própria Apostila Eletrônica, no Anexo V.**

Sendo assim, pode-se afirmar, ao nível de significância $\alpha = 0,01$, que os fatores principais A, B, e C interferem na altura de enchimento dos recipientes, mas que a interação dos mesmos não é significativa. A observação dos dados em forma gráfica (Figura 2.4) evidencia que a manutenção da pressão em nível baixo e a velocidade em nível alto resultariam em um melhor atingimento da altura-alvo e uma maior taxa de produção, bem como uma melhor supervisão na temperatura que influencia a carbonatação, manteria o sistema mais estável, com menor variabilidade.

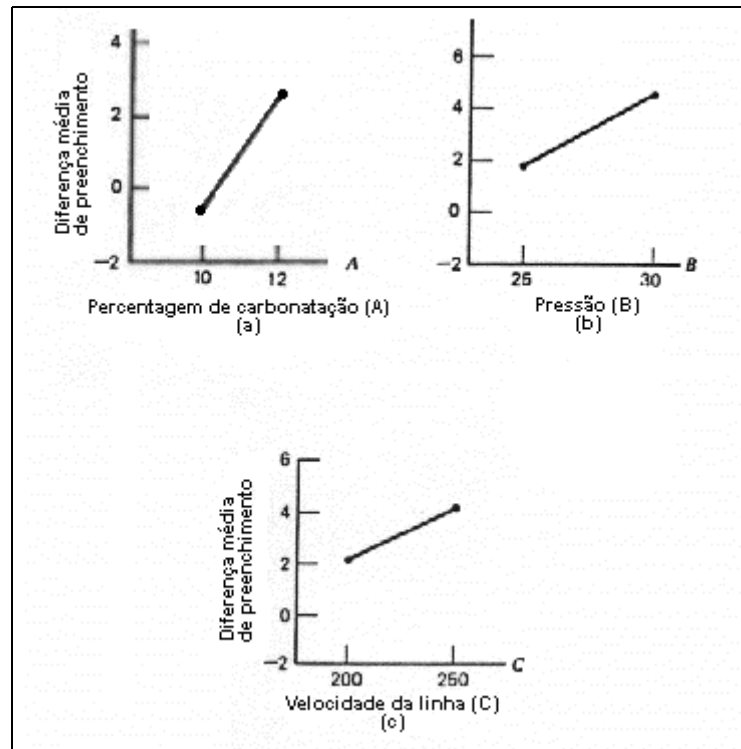


Figura 2.4 - Gráficos dos fatores principais

(Fonte: Montgomery, 1991, p. 235)

2.3.2.2.7.2 Projetos Fatoriais do tipo 2^k Fracionados

Conforme descrição apresentada no início deste tópico (Lucas apud Caten, 1995) sobre a empregabilidade dos projetos fatoriais, a mesma pode ser aplicada na utilização dos projetos fatoriais fracionados. Afim de apresentar as justificativas para o emprego destes projetos nas fases iniciais da experimentação, bem como em etapas de confirmação, onde já são conhecidos, por exemplo, a importância ou não de certas interações, se fez uso de uma descrição sobre um projeto fatorial 2^7 , utilizado por Box, Hunter & Hunter (1978) para exatamente introduzir os projetos fracionados.

O Quadro 2.1 apresenta o número total de testes possíveis em um experimento com 7 (sete) fatores a 2 (dois) níveis cada, sem replicações. Este projeto fatorial do tipo 2^7 , segundo Box, Hunter & Hunter (1978, p. 375), pode apresentar "redundância em relação a um número excessivo de interações que podem ser estimadas, e algumas vezes, em um número excessivo de variáveis que são estudadas". Isto quer dizer que a realização de todos estes ensaios, em certos cenários experimentais, pode resultar em perda de tempo, recursos e mesmo objetividade no tratamento daqueles fatores que são verdadeiramente importantes.

Quadro 2.1 - Número de testes contidos em um Projeto Fatorial Completo do tipo 2^7

Média geral	Efeitos principais	Interações					
		2 fatores	3 fatores	4 fatores	5 fatores	6 fatores	7 fatores
1	7	21	35	35	21	7	1

Montgomery (1991) apresenta um detalhamento interessante sobre o projeto fatorial completo com número elevado de variáveis, que pode ser expandido para o projeto contido no Quadro 2.1. Por exemplo, somente 7 dos 127 graus de liberdade deste projeto correspondem aos efeitos principais. Dos efeitos provocados por interações entre 2 fatores, somente 21 graus de liberdade são necessários para determiná-los, o mesmo ocorrendo para as interações de 3 fatores, onde 35 graus de liberdade são suficientes. Neste sentido, é importante ter em mente que as interações de ordem mais alta (interações de três ou mais fatores), em geral, não são significativas, podendo ser negligenciadas.

Assim, pode-se argumentar que projetos fatoriais com elevado número de variáveis, normalmente utilizados em etapas iniciais de experimentação, podem ser minimizados, ou melhor, fracionados. Este fracionamento, conforme será apresentado a seguir, tem como base três idéias-chave, discutidas por Box, Hunter & Hunter (1978) e Montgomery (1991), e aqui apresentadas:

- princípio da esparcividade (dispersividade) dos efeitos: quando existem muitas variáveis, o sistema ou processo é comandado preponderantemente por alguns dos efeitos principais e interações de baixa ordem;
- propriedade de projeção: projetos fatoriais fracionados podem ser projetados (visualmente) a partir de projetos potentes (grandes), resultando em um subconjunto de fatores significativos¹³;
- experimentação seqüencial: possibilidade de combinação de rodadas de dois (ou mais) projetos fatoriais fracionados para construir seqüencialmente um projeto de maiores dimensões, afim de estimar com maior precisão os efeitos dos fatores e interações de interesse.

¹³ Significa que, se um projeto de três fatores a dois níveis necessitar ser simplificado, pode-se simplesmente projetá-lo, ou seja, observar o cubo que representa este projeto frontalmente, eliminando desta forma um dos fatores. Maiores esclarecimentos desta propriedade podem ser obtidos em Barton (1998).

O detalhamento destas idéias-chave podem ser verificadas na literatura citada anteriormente.

Os projetos fatoriais fracionados apresentam um outro conjunto de conceitos interligados com os anteriores, e que também caracterizam estes arranjos, tanto no que diz respeito ao seu poder de apresentar resultados significativos, como relacionado à nomenclatura específica adotada.

Para melhor apresentar estes conceitos adicionais, tomar-se-á um projeto com 7 (sete) variáveis, como apresentado anteriormente, a dois (2) níveis. Como já fora mencionado, este projeto completo, sem replicações de seus testes, cobre um intervalo de 2^7 observações, ou melhor, 128 ensaios. Se considerado um cenário de manufatura qualquer, onde todo o tempo disponível é utilizado integralmente para a produção, e poucos são os intervalos destinados à investigação, vê-se a impraticabilidade de conduzir este experimento da forma fatorial completa.

Intuitivamente talvez, os gestores destas fábricas fictícias podem suspeitar que um ensaio desta magnitude não seja necessário, corroborando os apontamentos já apresentados dos artigos de Hockman (1995) e Cusimano (1996), sobre o inexpressivo número de usuários das técnicas de PPAE, por vezes provocada pela complexidade e dimensão dos ensaios requisitados. Em vista disto, um projeto alternativo poderia ser gerado, mais precisamente um projeto fatorial fracionado, que seria adequado para este caso.

Assim sendo, parte-se para a construção de um projeto de menor dimensão, porém que ainda seja robusto para identificar as fontes de variação deste cenário fictício. Supondo-se que somente seja de interesse estimar os sete efeitos principais e compreender alguns aspectos relacionados a interações de dois fatores, opta-se por um projeto fatorial fracionado do tipo 2^{7-2} , que reduz o projeto a um quarto (25%) de sua dimensão original. Obviamente, esta redução implica em limitações à análise dos resultados, provocadas pelo confundimento de efeitos principais ou das interações.

O que ocorre neste tipo de projeto, mencionado acima, é o confundimento entre certos fatores ou interações de fatores. Este confundimento é resultado da diminuição do número de ensaios, o que acaba resultado em um efeito indesejável da propriedade de projeção, ou seja, certos fatores ou interações de fatores não poderão ser individualizados para se identificar

quais deles realmente são a fonte de variação. Sendo assim, para se classificar os tipos possíveis de confundimento, emprega-se a nomenclatura de resolução, sendo as de maior interesse, segundo Montgomery (1991), de número 3, 4 e 5, representadas normalmente pelos respectivos números romanos III, IV e V.

No caso apresentado, o projeto apresenta resolução IV, significando que os efeitos principais estão isentos de confundimento entre eles e com qualquer interação de segunda ordem, mas algumas interações de segunda ordem encontram-se confundidas entre si, e outras encontram-se confundidas com interações de terceira ordem. Isto também significa dizer que as interações de maior ordem (3 a 7), encontram-se de alguma forma confundidas umas com as outras. Maiores detalhes sobre confundimento entre fatores de projetos fracionados podem ser encontrados em Montgomery (1991).

Para evidenciar melhor o ganho em adotar estes tipos de projetos, parte-se para uma análise fictícia de seus resultados, ou seja, quais conclusões podem ser obtidas a partir do projeto 2_{IV}^{7-2} (notação normalmente utilizada para representar projetos fatoriais fracionados e a resolução do mesmo). Foram utilizados como base os apontamentos de Montgomery (1991) na construção desta análise.

- efeitos principais: pode-se observar a significância dos mesmos, sem observar confundimento com interações de segunda ordem, como mencionado anteriormente, porém ocorre confundimento com interações de três fatores, que comumente não apresentam influência na variabilidade dos processos, se considerado o princípio da esparcividade;
- os efeitos de interações de segunda ordem, podem ser estimados e verificados com relação à significância. Entretanto, se houver alguma evidência da interação provocar alterações na variabilidade do processo/produto em estudo, novos testes devem ser executados, afim de definir quais das interações confundidas realmente acarretam este efeito;
- para as interações de maior ordem, dado a adoção deste tipo de projeto, nenhuma especulação pode ser feita, entretanto, se houver alguma dúvida quanto a existência ou não de significância, testes adicionais podem ser rodados, sendo que somente alguns experimentos serão necessários serem executados, devido a característica de experimentos seqüenciais poderem ser utilizados nos projetos fracionados.

Uma informação adicional sobre a elaboração dos projetos fatoriais fracionados deve ser discutida, ou seja, de como são formados os projetos fracionados, dado que diversas configurações podem ser utilizadas, pois como visto no exemplo acima, somente um quarto dos experimentos necessários para um projeto 2^7 foram executados, sendo que o quarto utilizado poderia ser qualquer dos existentes. Desta forma, escolhe-se uma combinação de tratamentos para gerar estes projetos, portanto esta combinação de tratamento é chamada "gerador". No caso de se gerar um projeto fracionado a partir de um projeto fatorial 2^3 , pode-se eleger a combinação *ABC* como o gerador. Esta escolha deve levar em consideração o menor impacto para os resultados dos testes, ou seja, o menor confundimento entre fatores possíveis. No caso de um experimento com 3 fatores a dois níveis, onde se deseja entender os efeitos principais e acredita-se que não existem indícios de efeitos das interações, a melhor escolha é o gerador mencionado acima, pois permite estudar os efeitos principais sem confundimento entre eles. O resultado disto é apresentado no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Níveis de um projeto fatorial fracionado do tipo 2^3

observações	Notação
a	+ - -
b	- + -
c	- - +
abc	+ + +

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após apresentados todos os projetos e análises identificados como básicos, pode-se verificar que, partindo do arranjo mais elementar, de um único fator, até os experimentos fracionados em célula, todos nada mais são do que evoluções com agregação de complexidades devidas a restrições experimentais.

Assim sendo, pode-se fazer a seguinte “análise cronológica” de um experimento, baseada na estratégia de planejamento experimental apresentada no tópico 2.3.1.3 *Método de Box, Hunter e Hunter*.

Partindo de um projeto de um único fator, pode-se proceder uma blocagem (arranjo em blocos) do mesmo, aumentando a precisão e atenuando o efeito dos fatores de ruído (heterogeneidade provocada, por exemplo, por turnos de trabalho). Sendo necessário, pode-se aumentar o número de fatores para dois ou mais, com ou sem blocos, e sendo novamente requisitado um aumento de precisão na direção de dois fatores, incorpora-se um duplo-bloco, ou um arranjo do tipo quadrado-latino.

Se forem muitos fatores, procede-se então uma restrição no número de níveis, a fim de focar e tornar o experimento menos dispendioso, processando assim um projeto do tipo 2^k completo ou fracionado.

A realização de uma análise para um projeto aninhado deve ocorrer se os fatores experimentais, por exemplo comparação entre fornecedores de solventes, tiverem comportamento que inviabilize serem considerados tratamentos homogêneos. E ainda, se alguma restrição técnico-econômica ocorrer, tipo testes em fornos industriais ou corpos de prova de difícil preparação, pode-se efetuar um projeto parcionado em células, onde perde-se a aleatorização completa, porém fica facilitada a execução do experimento e pode ser feita a análise apropriada.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA MULTIMEIOS PARA O AUXÍLIO AO APRENDIZADO DA TÉCNICA DE PLANEJAMENTO, PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS

As oportunidades decorrentes da informática, na última década, tornaram evidente a necessidade de sua exploração na construção de formas alternativas e suplementares relacionadas à temática do aprendizado.

A fim de também inserir esse meio computacional no conjunto de ferramentas utilizadas para o ensino de PPAE, foi elaborada esta dissertação, que visa desenvolver uma ferramenta de auxílio ao aprendizado, servindo de suporte tanto para o professor/instrutor quanto para o aluno/usuário.

3.1 ETAPAS PRINCIPAIS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Para melhor fundamentar a elaboração da presente ferramenta de auxílio ao aprendizado de PPAE, é apresentado um breve detalhamento dos estágios de Desenvolvimento de Produtos, que sistematiza os passos utilizados na confecção desta ferramenta.

Os principais estágios sobre desenvolvimento de produtos relacionados a elaboração da Apostila Eletrônica, foram extraídos parcialmente de Dickson (1997). Esses estágios podem ser apresentados na Figura 3.1, sendo descritos a seguir. As informações associadas à

ferramenta multimeios de auxílio ao aprendizado, contidas nos estágios, são explicadas no decorrer deste capítulo.

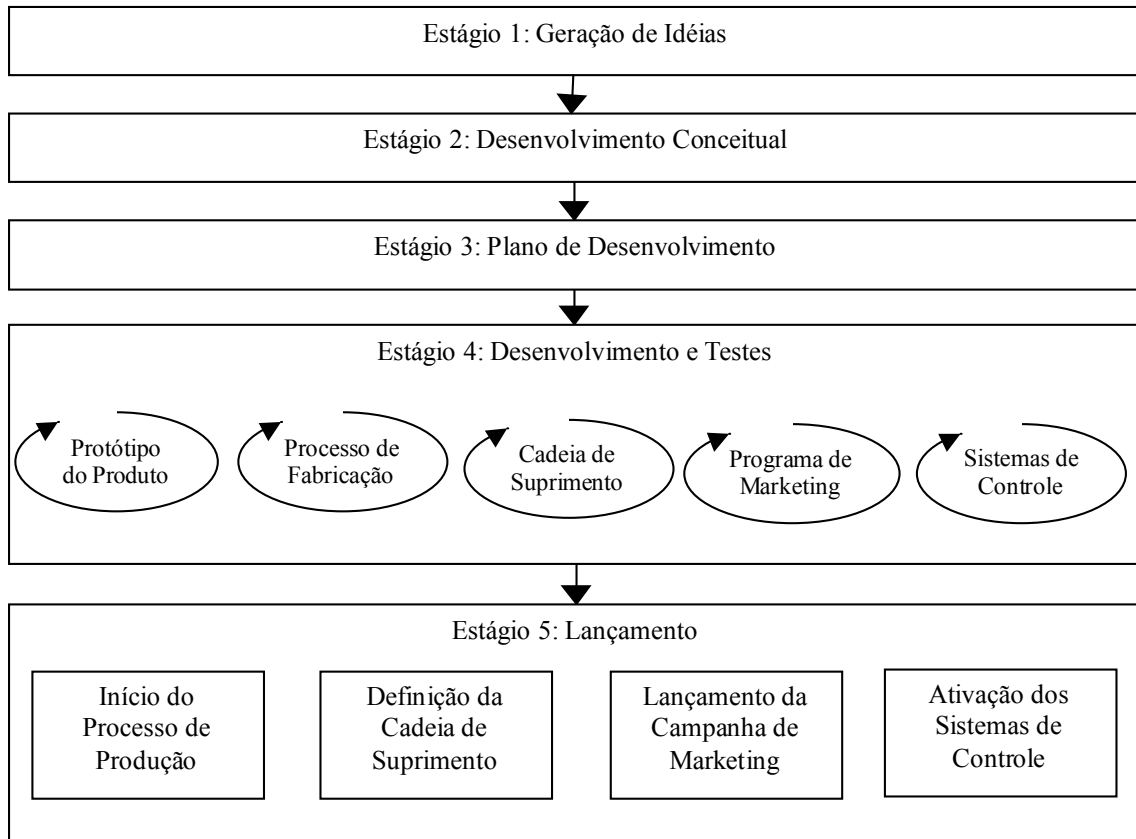


Figura 3.1 - Estágios para o desenvolvimento de produtos.

(Fonte: Dickson, 1997, p. 380)

1º. Geração de Idéias

Estágio onde são geradas as idéias principais para desenvolvimento do produto. Segundo Dickson (1997), especialistas sugerem alguns critérios para a geração de novas idéias: devem ser guiadas por critérios relacionados à missão da corporação e a metas financeiras, e podem derivar das competências de produção e distribuição da organização, compatibilizadas com os mercados atuais e com restrições culturais. Transpondo esses critérios para o meio acadêmico, pode-se sugerir que essas idéias observem: devem apresentar utilidade e inovação acadêmica, bem como adequação as linhas de pesquisa do curso de pós-graduação, e poderiam derivar das competências prévias do mestrando, bem como da estrutura da universidade (i.e., computadores e *software* existentes). O subitem 1.1, *Tema e Justificativa*, desta dissertação apresenta características do presente estágio.

2º. Desenvolvimento Conceitual

O estágio de Desenvolvimento Conceitual representa a etapa onde se desenvolvem o posicionamento competitivo do produto (i.e., mercado, ou segmento foco) e as suas especificações, bem como estudos iniciais de viabilidade econômica. A avaliação e comparação de diferentes projetos conceituais do produto também podem ser adicionados a esse estágio. Para a ferramenta multimeios de auxílio ao aprendizado, esses desdobramentos poderiam ser assim compreendidos: ambiente de aplicação e utilização da Apostila Eletrônica e suas características básicas (i.e., *links*, gráficos, *zoom*). A comparação e avaliação de diferentes *software* que poderiam ser utilizados para elaboração da apostila também pode constituir essa etapa.

3º. Plano de Desenvolvimento

Neste estágio é definido “o quê fazer a seguir” e “como fazê-lo”. De acordo com Dickson (1997), “... pode parecer estranho que um processo de desenvolvimento de produto de alta qualidade tenha um estágio onde a equipe decide como proceder. E por quê este estágio não ocorreu muito anteriormente? “. A explicação, segundo o próprio Dickson (1997), é que seria um desperdício de esforços discutir essas questões na fase de idealização ou conceitual, pois o produto a ser desenvolvido poderia não ultrapassar estas etapas. Entretanto, efetivada a aprovação do processo de desenvolvimento do produto, um imediato e sério planejamento de como avançar deve ser iniciado.

Para tanto, equipes inter-funcionais devem ser criadas¹⁴, a fim de que cada uma possa se encarregar de executar em paralelo as várias atividades remanescentes. Essas atividades podem ser: desenvolvimento do protótipo, planejamento integrado da comunicação com o mercado, projeto do processo de manufatura, atualização das estimativas dos planos de custo e financeiro baseados nas decisões tomadas pelas outras equipes.

Em relação à elaboração do presente trabalho, que passa pelo desenvolvimento da Apostila Eletrônica, esse estágio é responsável por: escolha entre os software (i.e., Internet Explorer e Adobe Acrobat) comparados no estágio anterior e início da atividade de transposição da apostila em papel para o meio eletrônico e criação de seus diferenciais. Como pode ser visto, no caso específico da elaboração desse trabalho, não ocorre o detalhamento proposto para um produto comercial normal.

4º. Desenvolvimento e Testes

Desenvolvimento e Testes é o estágio responsável pela elaboração propriamente dita do produto. Nesse estágio as decisões relacionadas às etapas anteriores são "materializadas", desenvolvendo-se o produto em forma de um protótipo. Esse protótipo é uma forma não finalizada do produto, que irá receber novas idéias e especificações, de acordo com os testes e experimentações empregadas ao protótipo. Os protótipos de produtos como automóveis, aparelhos de som e aviões apresentam diferenças significativas entre si. Podem ser desenvolvidos somente em ambiente computacional (i.e., *Computer-aided design - CAD*), em argila com escala reduzida, ou com os mesmos componentes de produto pronto. Os primeiros tem a intenção de oportunizarem testes e experimentos relacionados às especificações originais, e o protótipo em escala e com materiais de uso, oportuniza testes práticos e impressões mais reais a respeito do produto final, recebendo sugestões de melhoria, algumas vezes, diretas do usuário final.

No caso deste trabalho, a Apostila Eletrônica foi elaborada e submetida a uma avaliação, caracterizando a etapa de desenvolvimento e testes, e em especial, a fase de criação e avaliação do protótipo. Por tratar-se de uma ferramenta instrucional, sem fins comerciais, as demais fases apresentadas na Figura 3.1, contidas no estágio Desenvolvimento e Testes, não foram executadas.

5º. Lançamento

Segundo Dickson (1997), "Neste estágio, engenheiros de manufatura elaboram os processos de produção para a produção em massa do produto." Nesse estágio é iniciada a produção propriamente dita do produto, e as demais áreas responsáveis pela distribuição, vendas e suprimentos começam a operar conforme definido nos estágios 3 e 4. O presente trabalho não abordou esta etapa, pois a Apostila Eletrônica desenvolvida não enquadra-se propriamente nesse estágio.

Em Dickson (1997, p. 377 - 405) pode ser encontrado os estágios completos para o desenvolvimento de produtos, partindo das "Diretrizes da Alta Administração" até as "Características dos Produtos e Serviços em um Mercado Global". Nos tópicos seguintes, que

¹⁴ Verificar em Hartley (1992) o assunto Engenharia Simultânea ou Concorrente, relacionada com esse estágio do desenvolvimento de produtos.

tratam especificamente do desenvolvimento da ferramenta multimeios, foi realizada a identificação dos estágios principais relacionados ao desenvolvimento de produtos.

3.2 PRESSUPOSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA MULTIMEIOS

A ferramenta foi desenvolvida partindo dos seguintes pressupostos, dispostos sem uma ordem de importância. Esse subitem enquadra-se no segundo estágio do desenvolvimento de produtos, Desenvolvimento Conceitual.

- ser fácil de utilizar e difundir, devendo assim ter como base formato e características empregados atualmente. Essa base desdobra-se na necessidade de ser um aplicativo no formato *Microsoft Windows*, e em apresentar características de consulta e navegação com facilidade e funcionalidade idênticas as encontradas na *World Wide Web* - Internet.
- não deveria se desvincular completamente do formato tradicional da apostila atual (tamanho da folha A4), pois deveria ser possível consultá-la (a apostila) em papel, possibilitando a fácil transição do meio virtual para o meio físico.
- possuir conteúdo padrão, que pudesse ser comparado com outros cursos sobre PPAE, bem como com cursos já ministrados, tendo caráter complementar, não reformador.
- ser vista como auxiliar ao aprendizado em sala de aula/treinamento, não como substituta, nem do professor nem do texto físico.
- poder futuramente ser redimensionada para outros formatos diferentes do computador de mesa, como o recente formato do Livro 2.0¹⁵ (Bauer, 1998).
- não constituir um ambiente fechado, ou seja, possibilitar que outras formas de recursos auxiliares ao aprendizado, como experimentos reais, fossem utilizados.

¹⁵ Mídia eletrônica em formato e peso de um livro, porém auto-iluminada, com menor custo por obra técnica ou literária, funcionalidades de marcação no texto sem danificar a obra, entre outras características.

3.3 RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

A base mínima requerida e utilizada para rodar e elaborar a ferramenta, foi um computador com processador Pentium 100 Mhz, com 32 Mb de memória RAM e 200 Mb de memória de disco rígido disponível¹⁶.

3.4 RECURSOS MULTIMEIOS ANALISADOS

Para que a ferramenta fosse desenvolvida e testada de forma satisfatória, e que se enquadrar-se nos pressupostos ou requisitos listados anteriormente, analisaram-se duas plataformas para sua elaboração: a linguagem computacional utilizada na Internet, *HyperText Markup Language - HTML* e o programa de criação de documentos em formato compacto *Adobe Acrobat*. Suas características e limitações são apresentadas a seguir. O estágio de Desenvolvimento Conceitual, relacionado ao subitem 3.1 *Desenvolvimento de Produtos* vincula-se a essa comparação e avaliação.

3.4.1 *HyperText Markup Language – HTML*

- Linguagem de programação para hipertexto;
- Utilização predominante na Internet;
- Executada em *software* de navegação para Internet (i.e., *Internet Explorer*, *Netscape Navigator*), apresentando em alguns, perda de detalhes e objetos, decorrente das características de construção dos mesmos (Weinman, 1996);
- Pode ser aplicada como linguagem de programação tradicional, onde comandos são empregados para representar características gráficas (i.e., tabelas, botões). Em geral, não é possível visualizar em tempo real a formatação proposta, tanto gráfica quanto em texto, pois editores de texto simples são empregados como ambientes para elaborar esta programação. Entretanto, a linguagem de programação também pode ser empregada utilizando-se *software* que auxilie e facilite sua operacionalização. Esse *software* permite a criação de elementos

¹⁶ Neste espaço em disco estão contidos os programas Excel97 e Word97 para Windows, o programa Adobe Acrobat, bem como área de trabalho para executar o desenvolvimento da apostila eletrônica.

gráficos e texto no formato final de utilização. Um exemplo desse tipo de aplicativo é o *Microsoft Front Page*, gerador de arquivos *HTML*;

- Requisita conhecimento específico de objetos a serem utilizados como tabelas, tabulações, *links*, etc., e;
- Os programas de apoio à programação/editoração em *HTML* citados acima, não eram muito disseminados na época da elaboração da ferramenta de auxílio ao aprendizado.

3.4.2 *Adobe Acrobat*

- Programa de auxílio à construção de textos virtuais;
- Formato alternativo ao *HTML*, podendo rodar nos navegadores tradicionais (exemplo, Internet Explorer, Netscape Navigator), bastando anexar um *software* de aquisição gratuita (via Internet), associando-o como um *plug-in*;
- Utiliza menus para realizar as tarefas de configuração de *links*, botões, anotações, etc.;
- De aprendizado e personalização facilitada, bastando seguir seu tutorial, onde são apresentadas todas as características do produto;
- Fácil transformação dos textos utilizados na apostila física para o ambiente virtual, bastando somente transformá-los no formato entendido pelo *software*, a ser esclarecido no tópico seguinte. Esta transformação mantém o modelo virtual no formato do original, respeitando a paginação existente, como se fosse uma mera impressão em formato virtual. Esta facilidade não era ainda oferecida pelos outros programas de criação de páginas virtuais;
- Limita o acesso à atualização e impressão se assim fosse requerido, por meio de senhas;
- Permite que o estudante anexe anotações no corpo do texto, bem como permite que o estudante consulte observações do professor no corpo do texto, se este ali as tivesse feito;
- Formato de arquivo com tamanho reduzido, ocupando pouco espaço do disco rígido;
- Possibilita a associação de vídeos aos documentos, apresentado-os no corpo do texto, recurso este não explorado.

- Permite fácil configuração de objetos ocultos, como observações adicionais e de destaque. Esse recurso possibilita que o estudante perceba a importância daqueles tópicos em destaque.
- Pode ser facilmente aprendido pelo usuário que, de posse da versão de trabalho (*Acrobat Exchange*), poderia ele mesmo criar seus documentos virtuais. Esta facilidade não era ainda oferecida pelos outros programas.

3.4.3 Recurso Escolhido para Realização do Trabalho

O recurso escolhido para a realização do trabalho foi o *Adobe Acrobat*. As características que contribuíram para a escolha desse recurso, foram guiadas parcialmente pelo artigo de Usrey e Dooley (1996), sobre as dimensões para avaliar a qualidade de *software*. Essas características foram resumidas pela palavra “praticidade”, descrita assim:

- Praticidade para o aprendizado do recurso, e suas mais avançadas ferramentas;
- Praticidade para aprendizado de navegação no *software* pelo aluno/usuário, assim como para futura elaboração de documentos;
- Praticidade para divulgação, devido ao formato reduzido dos arquivos e a gratuidade do *software* leitor (*Acrobat Reader*);
- Praticidade em permitir que o aluno/usuário transitasse entre os meio físico-virtual-físico, sem necessitar se adaptar a formatos e localização de conteúdos diferenciados entre eles.

Estes, e outros requisitos como permitir ou não que o usuário modifique/altere certos conteúdos, bem como que ele efetue anotações e as salve, no corpo do texto, foram determinantes para a escolha do *Adobe Acrobat*, como recurso utilizado neste trabalho. O estágio de Desenvolvimento de Produtos que mais se aproxima desse processo de escolha denomina-se *Plano de Desenvolvimento*, localizado no subitem 3.1.

3.5 TRANSFERÊNCIA DO CONTEÚDO EM MEIO FÍSICO PARA O AMBIENTE VIRTUAL

A transferência do meio físico para o meio virtual (etapa 3 do *Desenvolvimento de Produtos*, denominada Plano de Desenvolvimento), bem como a configuração das diferenças exigidas em uma apostila virtual, como botões, *links*, possibilidade de *zoom* e navegação não linear (caraterísticas tipicamente definidas no estágio de Desenvolvimento Conceitual, encontrado no subitem *Desenvolvimento de Produtos*), foram implementadas através do programa *Adobe Acrobat*, versão *Exchange*. A versão *Reader*, disponível gratuitamente na Internet, foi utilizada no estudo de caso, sendo esta versão limitada a executar o conteúdo desenvolvido na versão *Exchange*.

De posse dos arquivos originais da apostila (Ribeiro, 1996), em formato de documento do *Word97* para *Windows*, foi realizada a transposição deste formato para o formato *Portable Document Format* (PDF). Este processo é automatizado, utilizando-se um programa tipo *macro* incorporado ao *Word97* na instalação do *Adobe Acrobat*. Este *macro* possibilita, a conversão de qualquer documento eletrônico, mantendo a aparência e o formato do original (Adobe User Education, *pdfwritr.pdf*, 1996). Devido a utilização da linguagem *PostScript*, os programas neste formato posicionam as imagens (por exemplo, figuras e gráficos) em áreas independentes das de texto, permitindo melhor resolução visual, tanto em *zoom*, quanto em impressões (Adobe User Education, *pdfwritr.pdf*, 1996).

As características adicionadas à apostila eletrônica (estágio 4, Desenvolvimento e Testes, do subitem 3.1 desta dissertação) foram então introduzidas, utilizando os recursos disponíveis no *software*. Estas características, sua utilização e elaboração, bem como as dificuldades e problemas encontrados na configuração das mesmas será apresentado a seguir.

3.5.1 Características Adicionadas

Foram divididas em duas categorias, das Características Globais e das Características Especiais. Esta divisão visa destacar a amplitude de aplicação das mesmas na apostila eletrônica, pois esta aplicação pode ser restrita a uma parte da apostila ou a toda ela.

3.5.1.1 Características Globais

São aquelas aplicadas à maioria dos documentos. Características como atalhos, índices, anotações, etc, exploradas a seguir, enquadram-se nesta classificação.

3.5.1.1.1 Atalhos – ‘Links’

A fim de tornar fácil a navegação, foram adicionados em todas as páginas (Figura 3.2), botões que conectam uma dada página, à página imediatamente anterior e/ou posterior. Estes botões, como foram incorporados à página, caracterizam atalhos ou ‘link’, assim como os existentes na Internet e na própria barra de ferramentas¹⁷ do programa *Acrobat Reader*.

Deve-se salientar que os elementos de ligação realmente utilizados nesta aplicação foram os *forms*, devido à possibilidade de duplicação às outras páginas (característica tipo “copiar e colar”), levando consigo suas ações, como “conectar-se a próxima página”. O elemento *link* real, não permitia este tipo de ganho em produtividade de desenvolvimento, sendo seu uso parcialmente restringido na apostila, ou como sinônimo de *form*, quando este era aplicado para conectar páginas, ou para abrir arquivos externos, como será visto no decorrer do texto. Sempre que a palavra *link* aparecer entre aspas simples, como ‘link’, está se referindo a função de conexão, e ao elemento *form*.

Assim, o ‘link’ foi utilizado para possibilitar o deslocamento à página anterior, recebendo a descrição “Analisar”, e à página posterior, sendo denominado “Projetar”. Foi escolhida esta denominação, em detrimento ao tradicional "Voltar" e "Avançar", a fim de destacar as duas etapas que sucedem o planejamento experimental¹⁸. No rodapé das páginas, podem ser acessados estes ‘links’ com as mesmas funções, facilitando a navegação. Deve-se perceber que tanto na primeira página, quanto na última de cada capítulo, as ligações via ‘links’ se dão à página inicial do capítulo anterior ou posterior.

¹⁷ As funções mais elementares do *Acrobat Reader* podem ser verificadas no arquivo *tutors.pdf*, contido no *cd-rom* que acompanha esta dissertação.

¹⁸ A denominação adotada para caracterizar as páginas de conexão anterior e posterior, simplesmente visa ilustrar a apostila com terminologia corrente em PPAE, não tendo nenhum significado específico.

2. COMPARAÇÃO DE VÁRIOS GRUPOS
(One-way Analysis of Variance)

Experimentos que envolvem:

- 1 Variável de Resposta
- 1 Fator Controlável a vários níveis

Objetivo:
Identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis diferem entre si.

2 tipos de experimentos:

- Fatores Controláveis a níveis fixos (Por ex., 5 valores de temperatura)
- Fatores Controláveis a níveis aleatórios (Por ex., 3 fábricas escolhidas ao acaso)

Disposição dos dados:

Fator A	A1	A2	...	Ak	
	x_{11}	x_{12}	...	x_{1k}	
	x_{21}	x_{22}	...	x_{2k}	
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
	$x_{n1,1}$	$x_{n1,2}$	...	$x_{n1,k}$	
Totais	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.k}$	$T_{..} =$
No.Obs.	n_1	n_2	...	n_k	$N =$
Médias	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.2}$	...	$\bar{x}_{.k}$	$\bar{x}_{..} =$

Detalhamento

PAGEPUBR05 Projetos de Experimentos **Analisar** **Projetar** 2.1

Figura 3.2- Exemplo de uma página da apostila eletrônica

Um 'link' apresentando a inscrição "Menu", traz à tela o índice dos capítulos da apostila. Este 'link' esta presente em todas as páginas, para facilitar o acesso a outros projetos experimentais, bem como ao capítulo Introdução, que apresenta a definição dos conceitos básicos e o formato de um planejamento experimental.

3.5.1.1.2 Índices – *bookmarks* e *thumbnails*

No lado esquerdo da apostila (Figura 3.3), são apresentados os *bookmarks*, que caracterizam-se por apresentar, quando habilitados, partes específicas do texto, outros documentos, etc. Este objeto de ligação, *bookmarks*, que pode ser traduzido, de uma forma livre, como marcação do texto, é configurado pelo desenvolvedor do documento. Existem também os *thumbnails* (Figura 3.4), que “são vistas em miniatura de cada página do documento. Você pode utilizar os *thumbnails* para passar rapidamente a uma página; para ajustar a vista da página atual, ...” (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996). Estes por sua vez, são somente miniaturas das páginas, capturados diretamente por uma função do *Acrobat Exchange* (Menu *Document* | *Create All Thumbnails*), executada pelo desenvolvedor do documento.

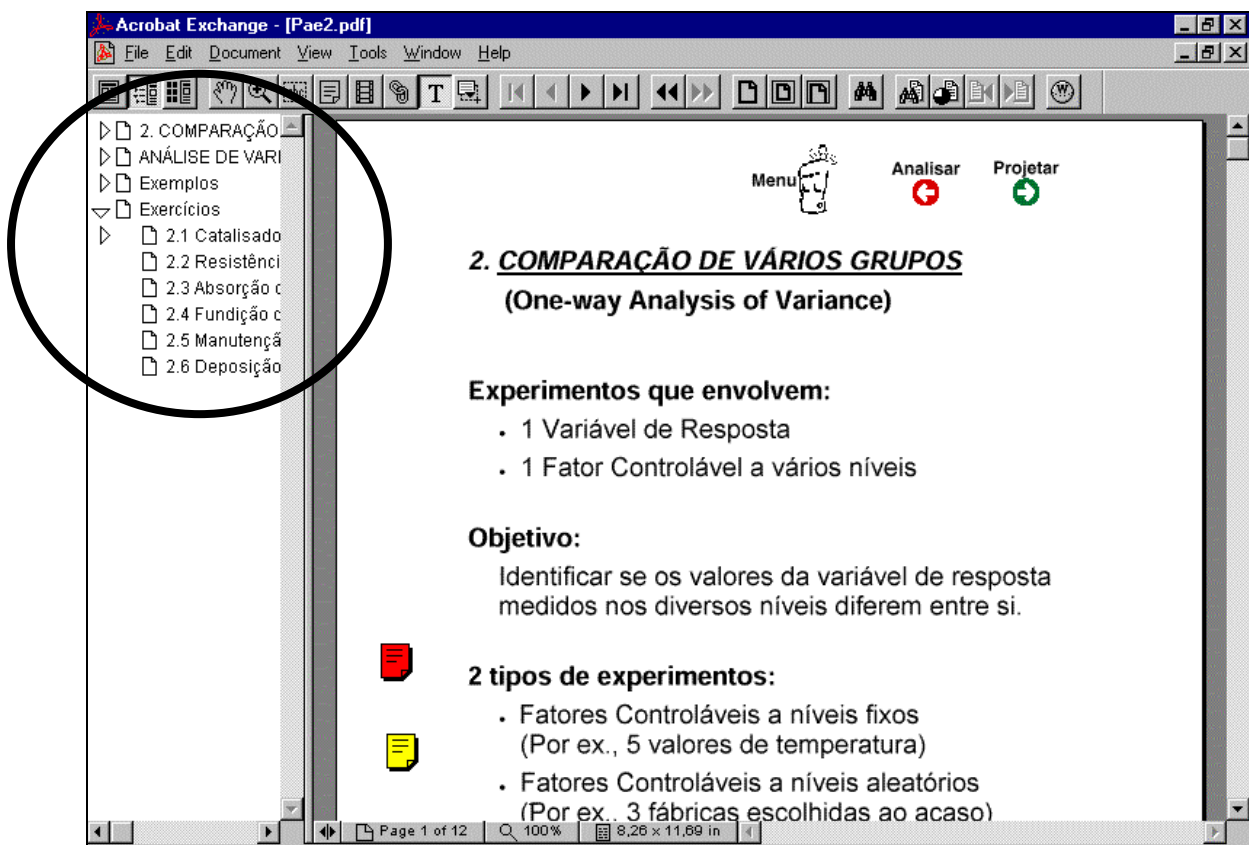


Figura 3.3 - Em destaque, à esquerda, uma margem de *bookmarks*.

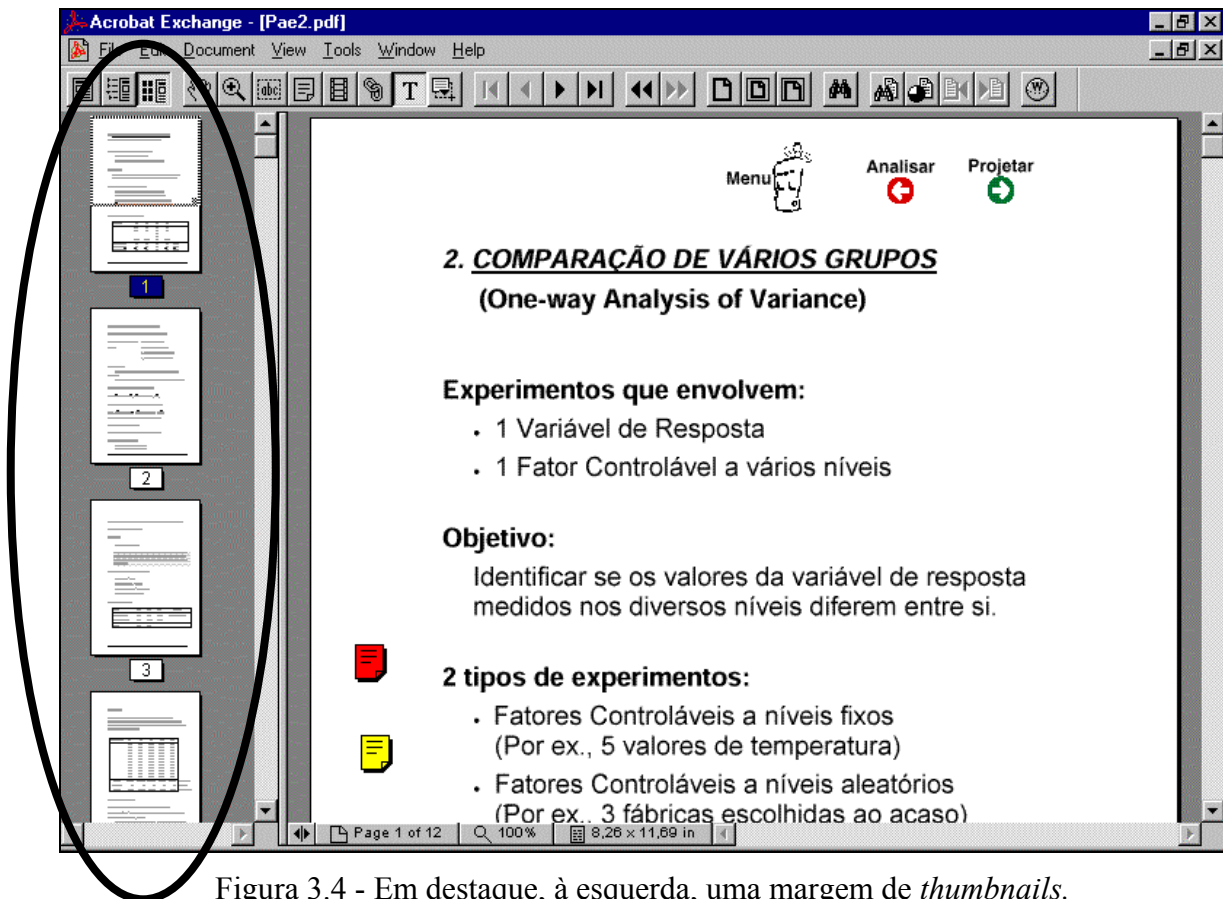


Figura 3.4 - Em destaque, à esquerda, uma margem de *thumbnails*.

3.5.1.1.3 Anotações - Notes

Outro objeto importante, que diferencia a apostila eletrônica da apostila em física, é a possibilidade de anexar ao texto, de forma organizada, anotações especiais (Figura 3.5). Estas anotações podem ser estabelecidas pelo desenvolvedor da apostila, como “comentários especiais” ou no lugar de notas de rodapé tradicionais, aplicação esta sugerida por Tschichold apud Small (1996). Podem também ser editadas ou inseridas *a posteriori*, pelo usuário/aluno da apostila, constituindo anotações individuais, anexadas ao próprio documento. Um outro recurso disponível, é a potencialidade de exportar para um arquivo texto estas anotações, criando aquilo que atualmente é feito no caderno de anotações convencional. Porém o benefício anterior é superior, uma vez que mantém o texto intocado, e ainda permite a localização dos apontamentos no local em que ocorreram.

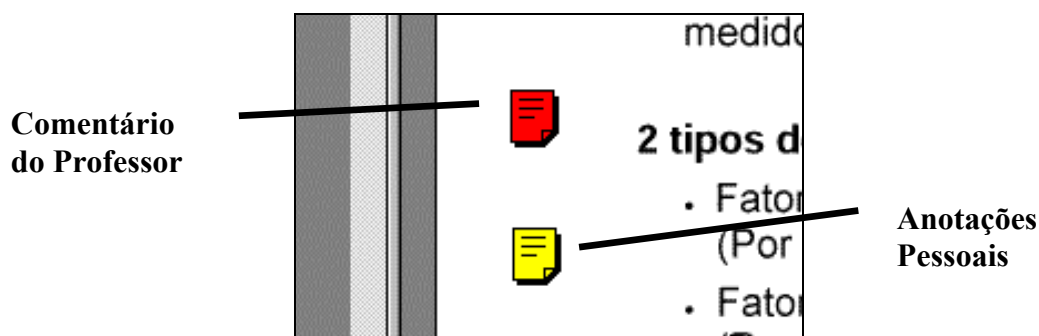


Figura 3.5 - Em destaque, as Anotações da apostila.

Na apostila, a fim de definir o que eram palavras do professor, e o que eram apontamentos do próprio aluno, posicionaram-se estas anotações no centro e a esquerda do documento, possibilitando o acesso fácil as mesmas de qualquer ponto da página. Para distinguir uma anotação de outra, adotou-se o seguinte código de cores e localização: acima e vermelho, o “Comentário do Professor”, e abaixo em amarelo, as “Anotações Pessoais”, como indicado na Figura 3.5.

Existem outros tipos de anotações adotadas, como as anotações de capítulo (por exemplo, página 2.3 da apostila), apresentadas em verde e ao lado ou sobre o tópico a ser caracterizado, onde são apresentados comentários específicos, tipo “notas de rodapé”, porém estas foram somente experimentações especiais, não sendo as mesmas disseminadas por toda apostila.

3.5.1.1.4 Direcionador de texto - Article

Outra característica interessante é a função *Article*, que “conecta partes relacionadas de um documento pela criação de uma trajetória de leitura através do documento. Os *Articles* são usualmente criados para tornar a leitura de documentos com várias colunas, em formato de artigos de revistas, mais fácil.” (Adobe User Education, *index.pdf*, 1996).

No caso da apostila, possuidora de um formato tipo livro tradicional, este elemento foi utilizado para ampliar a página enquadrada, bem como garantir que o fluxo da leitura do texto não fosse truncado. Como o formato de página A4 vertical não é formato de monitor de vídeo padrão, quando esta página é deslizada para permitir a leitura do restante do seu conteúdo,

ocorre um deslocamento, perdendo-se parcialmente a seqüência do texto, sendo necessário atenção para se proceder a leitura.

Com a utilização dos direcionadores - *articles*, assim que é pressionado o botão esquerdo do *mouse* sobre qualquer ponto do texto, este automaticamente se enquadra, é ampliado e uma pequena seta à esquerda da página indica a continuação da parte anterior. Quando for necessário avançar o texto, basta pressionar novamente o botão, e o restante do texto irá ser enquadrado, sem perda de conteúdo.

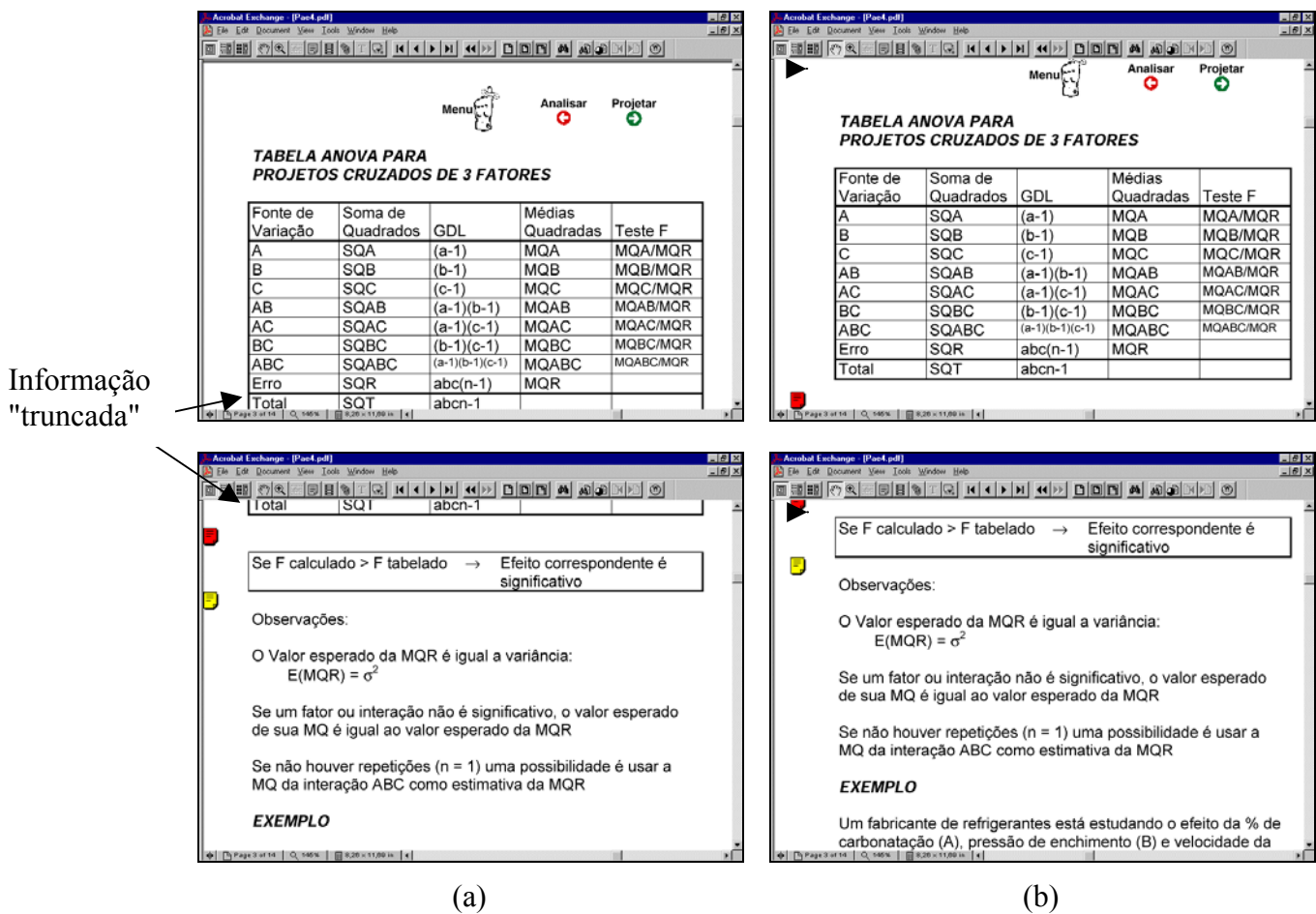


Figura 3.6 - Visualização da página sem a utilização de *articles* (a) e com a utilização de *article* (b).

Este dispositivo facilita também a realização de apresentações em retro-projetores ou canhões de luz, possibilitando o avanço da apresentação de forma organizada. Essa facilidade pode ser verificado na Figura 3.6. A Figura 3.6a apresenta a transição sem a utilização de *article*, e a 3.6b com a utilização do mesmo. Pode-se notar ainda que o texto na Figura 3.6b possui uma visualização mais harmônica, trazendo a atenção do aluno/usuário para o conteúdo e não para o formato.

3.5.1.2 Características Especiais

Até o momento, foram destacadas as características globais, aquelas aplicadas à maioria dos documentos. Deste ponto em diante, serão apresentados as “Características Especiais”, que foram adicionadas em algumas páginas, e que representam um diferencial em relação à apostila física.

3.5.1.2.1 Vínculos - Forms

Este elemento contempla uma gama de funções, que vão da criação de formulários de dados a partir de uma cópia física, como por exemplo, um fax digitalizado via *scanner*, até funções como ‘*links*’ (atalhos); de explicações que não fazem parte do texto, até telas animadas dentro da página. O presente trabalho se fixará mais atentamente nas funções associadas ao segundo grupo, ou seja, as funções de ‘*links*’.

Estes ‘*links*’ podem oportunizar a ligação de uma parte do texto, com outra posterior, auxiliando no entendimento do conteúdo corrente, e como este será associado ao próximo. Isto pode ser visto no exemplo destacado pela Figura 3.7, onde é apresentado o modelo de uma tabela com a disposição dos dados do experimento para posterior elaboração da análise de variância (*ANOVA*). Posicionando-se a seta do *mouse* em cima da mesma, pode-se pressionar o botão esquerdo do *mouse*, e então será mostrado o equacionamento da distribuição dos resíduos e a composição das somas quadráticas. Estas, por sua vez, permitem ao aluno avançar até uma explicação pormenorizada do conteúdo de cada termo apresentado. Sempre o aluno/usuário pode voltar até os conteúdos anteriores, bastando utilizar os comandos da barra de ferramentas do *Acrobat*, ou os *links* intuitivos posicionados nas próprias explicações.

A navegação por *links* ocorre de forma rápida, mesmo partindo-se de uma página no início do documento, e destinando-se a uma página no final do mesmo. Isto é explicado, pois o *Adobe Acrobat* utiliza tabelas de referências cruzadas, chamadas *xref*, possibilitando que o “tempo necessário para visualizar uma dada página possa ser aproximadamente independente do número total de páginas do documento.” (*Adobe User Education, index.pdf, 1996*).

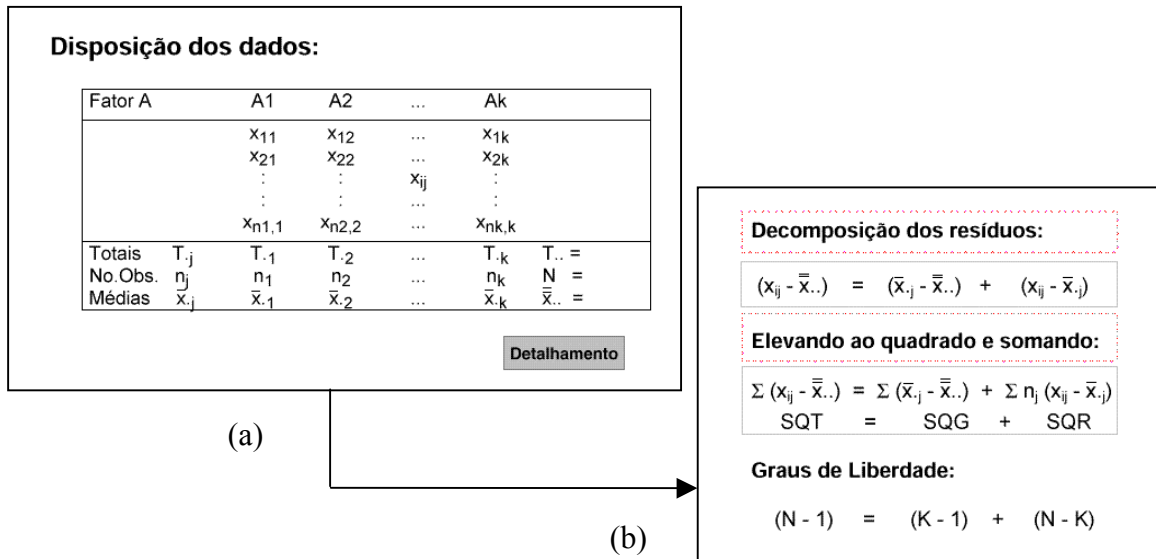


Figura 3.7 - Link não linear, que associa conteúdos relacionados.

Outro detalhe importante diz respeito ao botão hachurado contido na Figura 3.7a (em cinza), que disponibiliza um “Detalhamento”, conforme especificado no mesmo. Este detalhamento é uma indicação do conteúdo existente na tabela apresentada, e pode ser verificado na Figura 3.8.

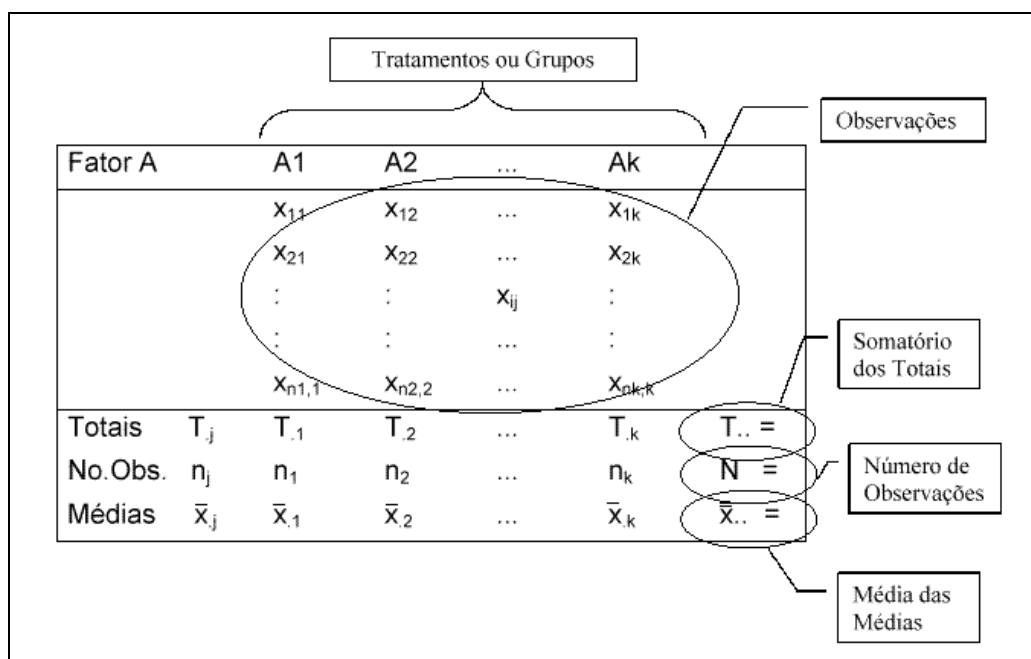


Figura 3.8 - Indicações de conteúdo na tabela.

A explicação extra, desta forma, só é acionada se necessária, não poluindo a tela com informações secundárias, desnecessárias após a compreensão do assunto. Este tipo de aplicação pode ser estendido a outros formatos de arquivo, possibilitando a abertura de documentos tipo planilhas eletrônicas, como Excel97 para Windows, ou arquivos executáveis.


Um exemplo do exposto acima são os exercícios resolvidos 2.1 e 2.3 da apostila eletrônica (Anexo VII). Ao final do enunciado, é apresentado um ícone, visualizado na Figura 3.9, com a inscrição “Exercício 2.1” ou “Exercício 2.3”, que direciona as ações para a abertura de um arquivo do aplicativo Excel. Este arquivo, neste caso, apresenta a resolução do exercício, com apresentação de gráficos criados no próprio Excel. Este tipo de integração favorece a resolução de quaisquer exercícios, dado que é possível consultar o material de estudo (apostila) no mesmo meio da ferramenta de cálculos e desenvolvimento gráfico (Excel). É importante destacar, que o computador do aluno/usuário deve conter também o aplicativo a ser acionado, este não contido na apostila eletrônica.

Ícone de conexão ao Excel

(3) Escrever as médias em ordem crescente ou decrescente e compará-las duas a duas. A diferença será significativa se for maior que o L_d

$X_{(1)} - X_{(2)} =$
 $X_{(1)} - X_{(3)} =$
 $X_{(1)} - X_{(4)} =$
 $X_{(2)} - X_{(3)} =$
 $X_{(2)} - X_{(4)} =$
 $X_{(3)} - X_{(4)} =$

(4) Usar barras contínuas sobre as médias que não diferem entre si



Exercício 2.1

PPGEP/UFRGS Projeto de Experimentos **Analisar** **Projetar** 2.10



 

Figura 3.9 - Visualização do ícone direcionador a outro aplicativo.

Outro benefício deste tipo de ferramenta, é disponibilizar recursos do tipo *zoom*, já mencionados anteriormente. Estes recursos podem ser úteis quando certo destaque ou detalhamento for exigido, sendo que o meio físico não permite esta característica.

Esta aplicação pode ser verificada quando for necessário avaliar um conjunto de equações, permitindo seu enquadramento completo na tela. Isto é disponibilizado por uma ação do próprio usuário/aluno, sendo que o mesmo necessita somente selecionar a “lupa” na barra de ferramentas, ou posicionar a seta do *mouse* sobre o campo indicado pelo desenvolvedor da apostila eletrônica, conforme Figura 3.10.

Acrobat Exchange - [Pae3.pdf]

File Edit Document View Tools Window Help

3. PROJETOS FA
 VANTAGENS DOS
 EXPERIMENTOS
 ANOVA PROJETO
 EXEMPLO 1
 EXPERIMENTO S
 EXEMPLO 2
 EXERCÍCIOS
 3.1
 3.2
 3.3

FORMULÁRIO PARA OS CÁLCULOS DA SIGNIFICÂNCIA DE A, B, AB:

$T_{ij.}$		

$T_{j.}$

Zoom

$TC = \frac{(T_{...})^2}{abn}$

$SQA = \frac{\sum(T_{i.})^2}{bn} - TC$

$SQB = \frac{\sum(T_{.j})^2}{an} - TC$

Área de Zoom

Page 5 of 13 119% 8,26 x 11,69 in

Figura 3.10 (a) - Apresentação da página, sem o destaque às equações

e

Acrobat Exchange - [Pae3.pdf]

File Edit Document View Tools Window Help

3. PROJETOS FA
 VANTAGENS DOS
 EXPERIMENTOS
 ANOVA PROJETO
 EXEMPLO 1
 EXPERIMENTO S
 EXEMPLO 2
 EXERCÍCIOS
 3.1
 3.2
 3.3

Zoom

$TC = \frac{(T_{...})^2}{abn}$

$SQA = \frac{\sum(T_{i.})^2}{bn} - TC$

$SQB = \frac{\sum(T_{.j})^2}{an} - TC$

$SQAB = \frac{\sum(T_{ij.})^2}{n} - TC - SQA - SQB$

$SQR = \sum y_{ijk}^2 - \frac{\sum(T_{ij.})^2}{n}$

$SQT = \sum y_{ijk}^2 - TC$

Verificação:
 $SQT = SQA + SQB + SQAB + SQR$

Page 5 of 13 102% 8,26 x 11,69 in

Figura 3.10 (b) - Destaque das equações, acionados pela área zoom.

Assim como o potencial de destaque, o potencial de detalhamento pode ser necessário quando forem apresentados gráficos ou figuras que exijam uma maior “aproximação” para sua análise. O exemplo desenvolvido na Figura 3.11 ilustra esta aplicação.

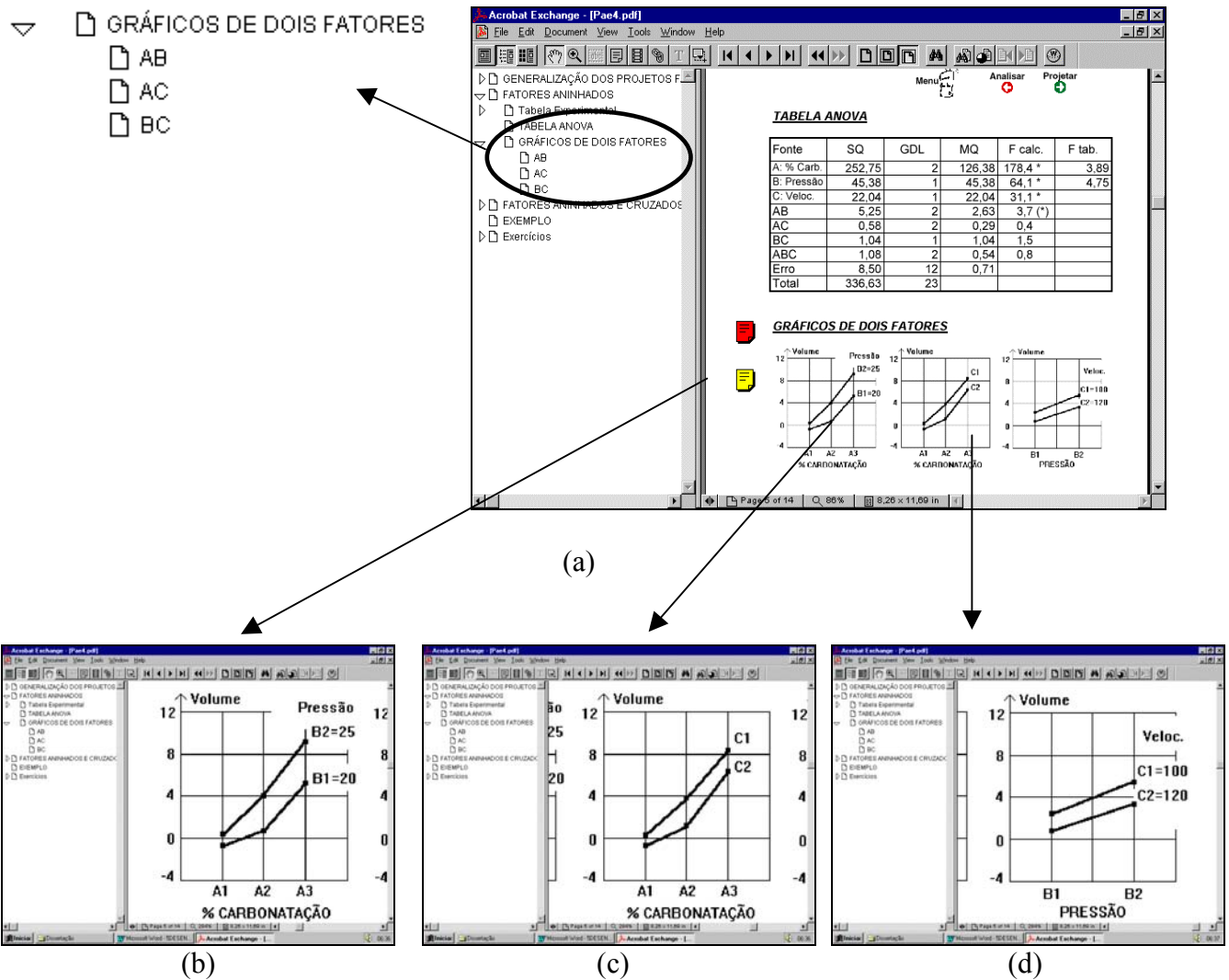


Figura 3.11 - Vista geral e particular

(a) Vista geral dos assuntos abordados na página, apresentando os bookmarks para zoom.

(b) Apresenta o zoom do gráfico AB : % Carbonatação x Pressão;

(c) Apresenta o zoom do gráfico AC : % Carbonatação x Velocidade;

(d) Apresenta o zoom do gráfico BC : Pressão x Velocidade.

Conforme pode ser observado em destaque (circulado) na Figura 3.11a, existem *bookmarks* que são encarregados de aplicar *zoom* aos três gráficos apresentados na mesma figura. Este tipo de recurso pode servir para enfatizar aspectos que o professor/instrutor entenda como importantes, tanto em sala de aula, como em estudo ou consulta posterior.

É importante destacar também os programas para traçado de gráficos, como o *Excel97* (Microsoft, Microsoft Excel 97), *Statgraphics plus* (Statistical Graphics Corp, *Version 2.1*), ou *Statlets* (Disponível na Internet, Statsoft, 04/02/2000) (estes últimos de abordagem especializada em estatística), que permitem os movimentos de rotação vertical e horizontal dos gráficos, com uma visualização de percepção tridimensional. Características como *zoom*, que facilitam e promovem uma análise gráfica de melhor qualidade também está disponível. Se houvesse oportunidade, estes gráficos poderiam ser representados como uma figura bidimensional em uma apostila eletrônica, a qual conteria um *link* para o arquivo específico, onde esta característica pudesse ser verificada e utilizada, da mesma forma como foi realizado para os exercícios resolvidos na apostila eletrônica.

O professor/instrutor tem também outra característica importante, que possibilite a inserção pontos-chave para melhor entendimento do trabalho. Esses ponto-chave seriam conceitos que o professor gostaria de enfatizar, através de um "grifo" dinâmico, que destaca o conceito do restante do texto. Essa característica seria acionada pelo próprio aluno, quando este estiver estudando ou consultando a apostila.

Por exemplo, quando se está destacando o aglutinamento da soma quadrada da interação, digamos AB, ao fator B, o qual está aninhado a A, com intenção de proceder o cálculo da *ANOVA*, pode-se utilizar o artifício de "colorir" esta operação, processo apresentado na Figura 3.12a e 3.12b retiradas da apostila eletrônica.

		Projeto Fatorial A e B cruzados		Projeto Fatorial Aninhado B aninhado em A				
		SQ	GDL	SQ	GDL	MQ	F	
Aglutinar SQ		SQA	(a-1)	SQA	(a-1)	MQA	MQA/MQR	
		SQB	(b-1)	} (SQB + SQAB)	SQB(A)	a(b-1)	MQB(A)	MQB(A)/MQR
		SQAB	(a-1)(b-1)					
		SQR	ab(n-1)	SQR	ab(n-1)	MQR		
		SQT	abn-1	SQT	abn-1			

Figura 3.12 (a) - Modelo de tabela ANOVA, com ícone de “grifo”.

e

		Projeto Fatorial A e B cruzados		Projeto Fatorial Aninhado B aninhado em A				
		SQ	GDL	SQ	GDL	MQ	F	
		SQA	(a-1)	SQA	(a-1)	MQA	MQA/MQR	
		SQB	(b-1)	} (SQB + SQAB)	SQB(A)	a(b-1)	MQB(A)	MQB(A)/MQR
		SQAB	(a-1)(b-1)					
		SQR	ab(n-1)	SQR	ab(n-1)	MQR		
		SQT	abn-1	SQT	abn-1			

Figura 3.12 (b) - “Grifo” de aglutinação habilitado.

A aplicação deste tipo de “grifo”, pode servir de forma inversa, como para ocultar, em um procedimento para obtenção das estimativas das médias quadradas – $E(MQ)$ – por exemplo. Este procedimento, apresentado em Montgomery (1991), e transcrito para a apostila eletrônica, visa estabelecer os componentes de variação para os diversos fatores relacionados em um experimento.

O procedimento, em um de seus passos (na Apostila Eletrônica, Passo 6), caracteriza-se pela exclusão de colunas, no caso fatores, na composição dos valores estimados para as médias quadradas. Esta exclusão normalmente se consuma pela cobertura da mesma, conforme descrito no procedimento na apostila, a fim de eliminá-la do cálculo de um certo componente de variação. Assim, optou-se por obstruir sua aparição, conforme pode ser visto na Figura 3.13, e também por apresentar o processo de realização do presente procedimento,

através de uma animação interativa do mesmo. Esta animação pode ser observada consultando-se a apostila eletrônica, no Anexo V - “Apostila Eletrônica”.

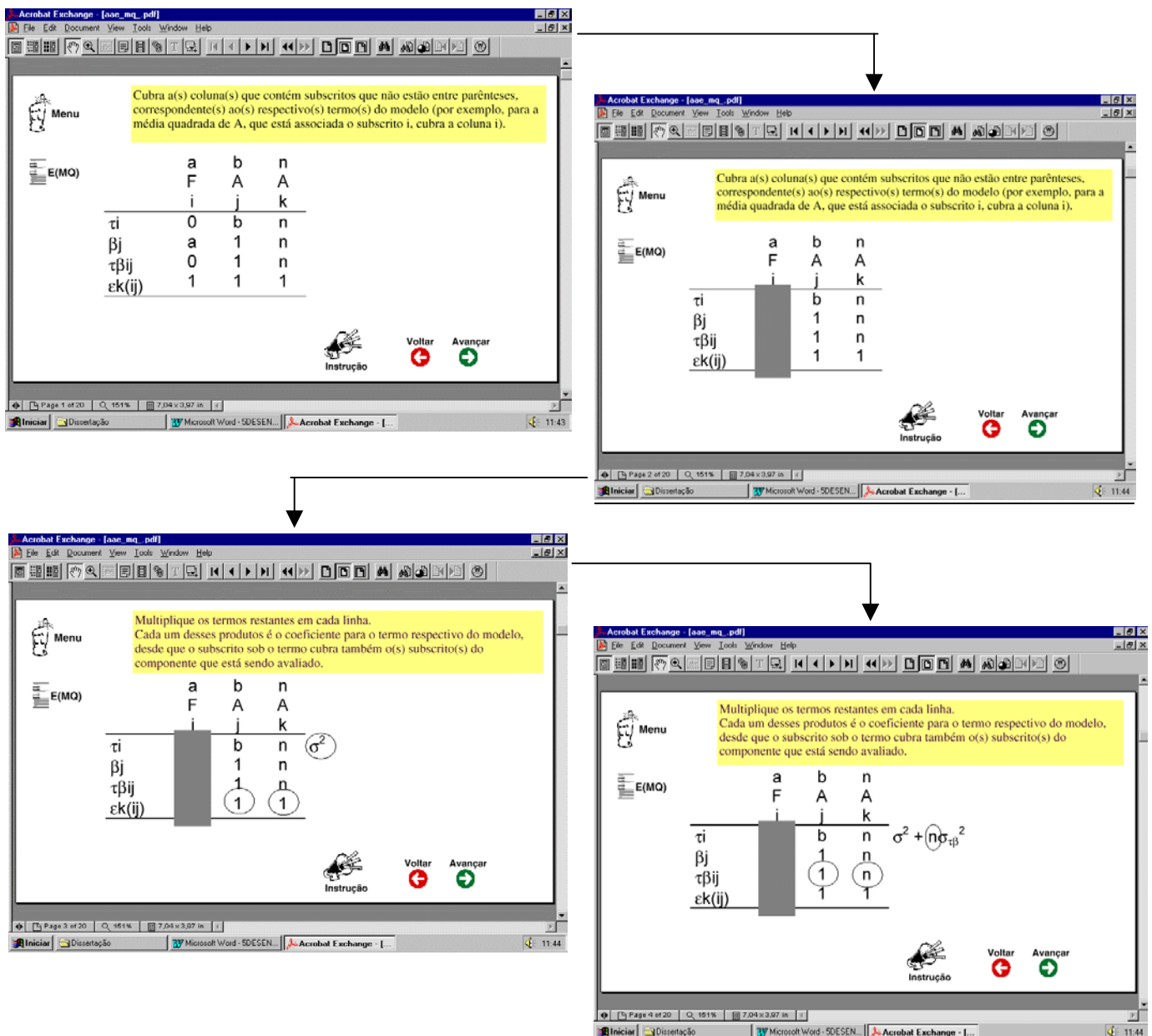


Figura 3.13 - Fluxo parcial do Procedimento para Determinação das $E(MQ)$.

Como pode-se perceber, há em uma caixa de texto amarela contida na página da apostila, algumas instruções para acompanhar o procedimento. Estas instruções também se encontram no corpo do texto principal da apostila eletrônica.

As próximas aplicações baseiam-se nos gráficos desenvolvidos por Box, Hunter e Hunter (1978) para projetos fatoriais 2^2 e 2^3 . O entendimento inicial dos cálculos dos efeitos (ou dos contrastes), em especial para os projetos de três fatores a dois níveis cada, pode ser

aumentado se o estudante observar geometricamente onde se localizam os efeitos dos fatores principais, bem como das interações entre dois fatores e os três fatores.

Para facilitar esta visualização, criaram-se dois elementos distintos: (a) evidenciar os sinais das observações nos oito vértices do cubo experimental, e (b) mostrar os planos paralelos responsáveis pela determinação dos efeitos principais, dos planos diagonais responsáveis pela determinação das interações entre dois fatores, e dos pontos responsáveis pela interação entre os três fatores.

Assim, no caso de (a), deve-se posicionar a seta do *mouse* sobre a observação de interesse, e verificar, como são apresentados na Figura 3.14, os sinais relativos a mesma. Este mesmo resultado é observado quando a seta é posicionada sobre os tratamentos apresentados na ordem padrão (no caso, (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc).

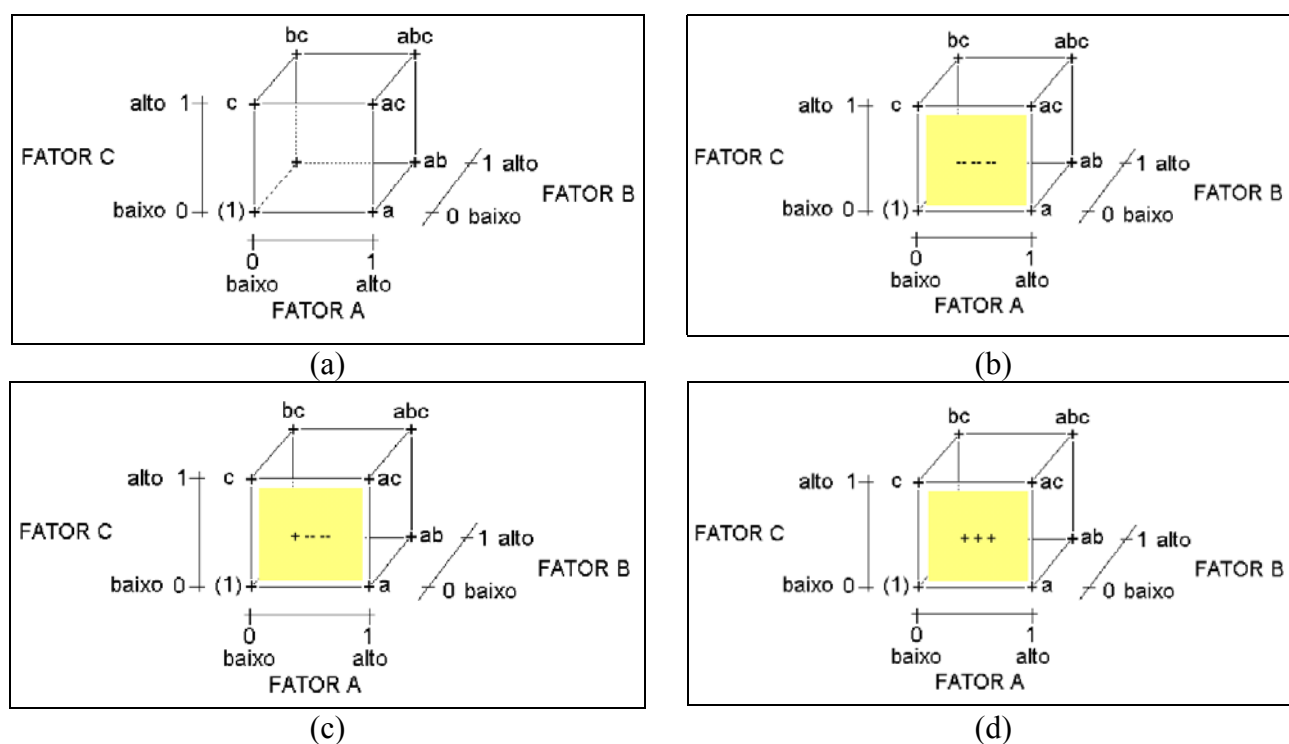


Figura 3.14 - Representação gráfica do posicionamento dos sinais.

- (a) Apresenta o cubo sem a indicação dos sinais.
- (b) Apresenta a observação (1), cujos sinais representam o nível *baixo* para todos os fatores.
- (c) Apresenta a observação *a*, cujos sinais representam o nível *alto* para o Fator A e nível *baixo* para B e C.
- (d) Apresenta a observação *abc*, cujos sinais representam o nível *alto* para todos os fatores.

No caso de (b), posiciona-se a seta sobre os cálculos dos efeitos principais ou das interações, pressionando-se o botão esquerdo do *mouse*, sendo então apresentado, a representação geométrica do respectivo efeito ou interação. Algumas destas representações podem ser observadas na Figura 3.15.

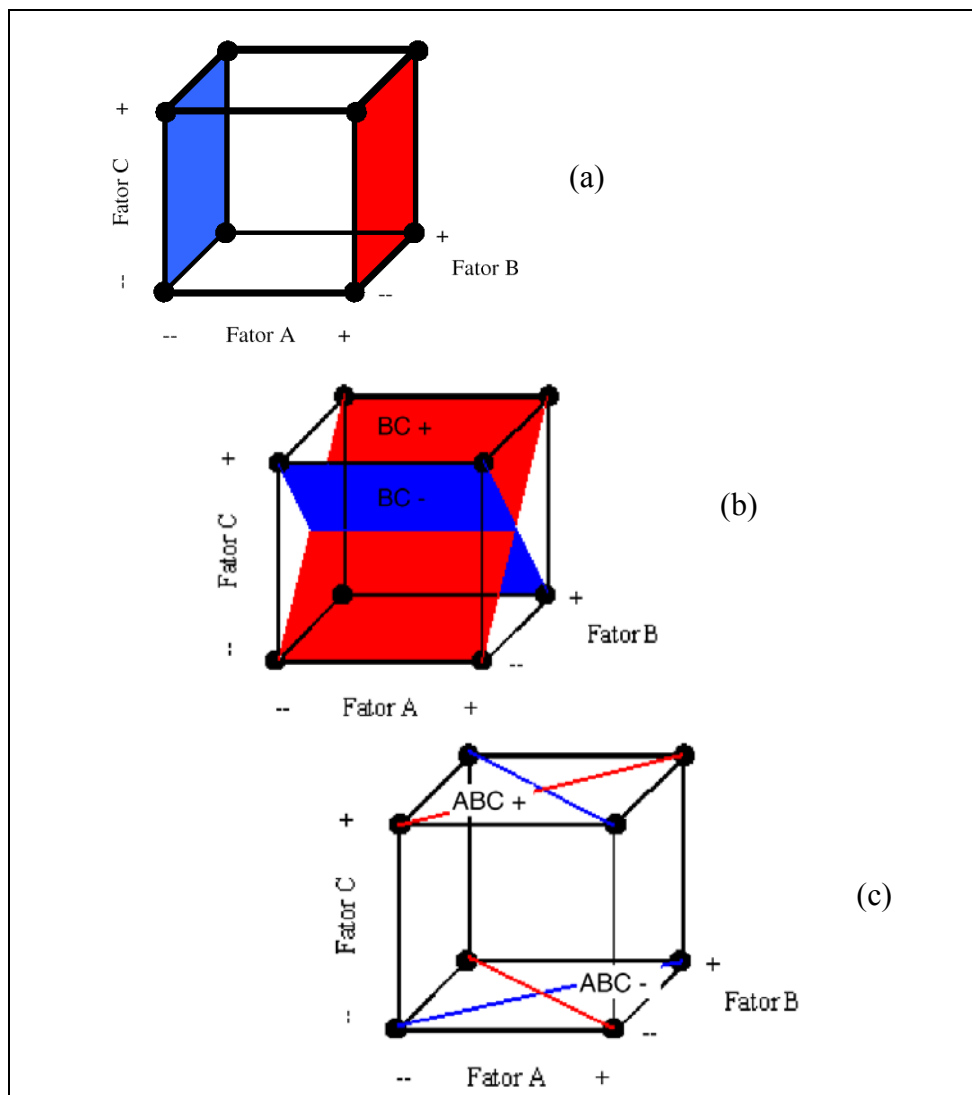
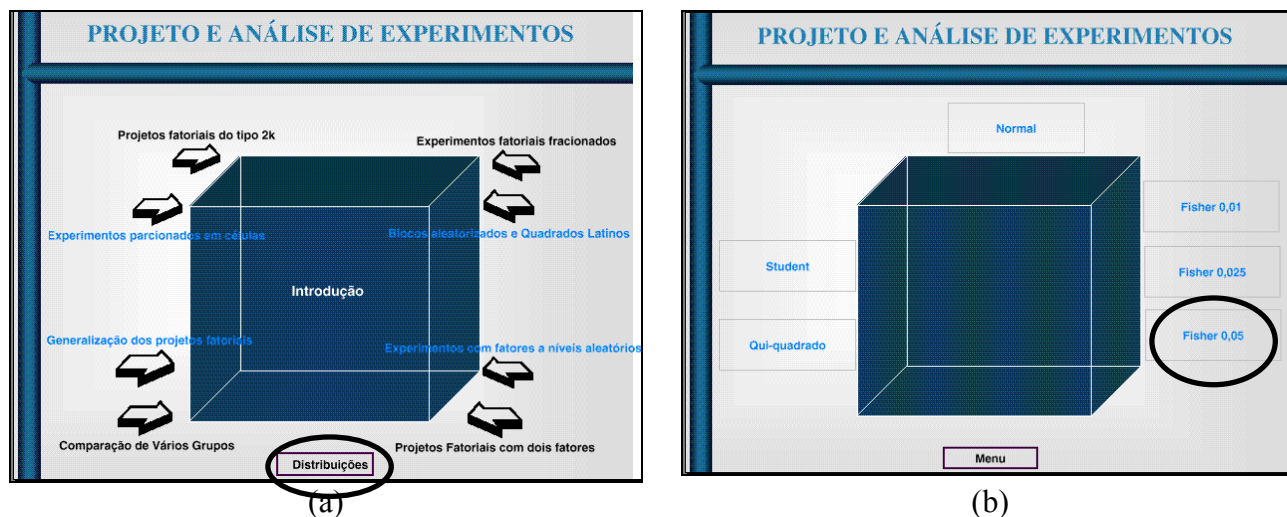


Figura 3.15 - Representação geométrica dos efeitos

- (a) Apresenta a representação geométrica do efeito principal A, onde o contraste positivo (nível alto) está em vermelho e o negativo em azul.
- (b) Apresenta a representação geométrica da interação BC, com o mesmo padrão de cores positivo-vermelho e o negativo-azul.
- (c) Apresenta a representação geométrica da interação ABC, com o mesmo padrão de cores positivo-vermelho e o negativo-azul, observado nas linhas que conectam os pares positivos e negativos.

A última aplicação a ser destacada, é apresentada no início da apostila eletrônica, e pode ser acessada através do botão “Distribuições”, conforme Figura 3.16, posicionado no

centro abaixo na página de entrada da apostila, cujo arquivo é denominado *Menupae.pdf*. Esta página trás o índice por capítulos, bem como apresenta um ‘link’ para tabelas que contém as distribuições mais utilizadas: *Normal*, *Student*, *Qui-quadrado*, e *Fisher 0,01*, *Fisher 0,025*, *Fisher 0,05*¹⁹. A possibilidade de consultar estas distribuições digitalmente, facilita a utilização das tabelas, minimizando a necessidade de manuseio físico das mesmas, podendo-se ainda realizar uma pesquisa como “localizar determinado número”, ou mesmo enquadrar com *zoom* o intervalo de interesse na tabela apropriada.



Acrobat Exchange [Fisher050.pdf]

Distribuição F - cauda da direita
 $Pr(F > F_{\alpha}(n_1, n_2)) = \alpha$

Nível de significância - $\alpha = 0,05$

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80

(c)

Figura 3.16 - Apresentação dos Índices e Distribuições

- (a) Índice: Apresenta botão “Distribuições” em destaque (circulado).
- (b) Índice de Distribuições, em destaque distribuição $F \alpha = 0,05$.
- (c) Distribuição F, para nível de significância $\alpha = 0,05$

¹⁹ Os valores decimais apresentados após a palavra "Fisher" correspondem ao nível de significância ou confiança, representando respectivamente um nível de confiança de 1%, 2,5% e 5%.

Finalizado o desenvolvimento e apresentação da ferramenta para auxílio ao aprendizado de PPAE, procede-se, no Capítulo 4, *Avaliação da Ferramenta de Auxílio ao Aprendizado (FAE)*, a apresentação dos elementos de avaliação da presente apostila eletrônica, bem como análise das informações coletadas e as posteriores observações a respeito das vantagens ou não da utilização da mesma.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo considerou os aspectos relacionados à avaliação e escolha do aplicativo utilizado para elaborar a Apostila Eletrônica, bem como descreveu, etapa por etapa, sua criação, apresentando todos os elementos que foram empregados para tornar esta apostila eletrônica diferente da impressa em papel. Este desenvolvimento auxiliou na criação de uma ferramenta de auxílio ao aprendizado da técnica de Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos, com características que proporcionam a configuração de um ambiente mais atrativo e visual para o ensino e emprego da técnica experimental.

Objetos e elementos foram incorporados ao texto original da apostila eletrônica, como atalhos, destaques, explicações, *zoom*, etc. Esses elementos visam oportunizar ao professor/instrutor e ao aluno/usuário, experiências diferenciadas, possibilitando aos primeiros um meio auxiliar à tarefa de ensinar e aos segundos, um elemento adicional para o aprendizado em sala de aula e nos estudos extra-classe.

Desta forma, o Capítulo 4, *Avaliação da Ferramenta de Auxílio ao Aprendizado*, apresentado a seguir neste trabalho, objetiva verificar a utilização da apostila eletrônica como ferramenta auxiliar de ensino a técnica de Projeto de Experimentos.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO APRENDIZADO

Após elaborados, tanto os capítulos de *Revisão Bibliográfica* como de *Desenvolvimento da Ferramenta Multimeios*, procede-se a apresentação do capítulo de avaliação da apostila eletrônica, feita com base em um estudo de caso realizado. Este capítulo vincula-se ao estágio 4 - Desenvolvimento e Testes, do subitem 3.1, Desenvolvimento de Produtos, mais explicitamente a fase de testes do protótipo desenvolvido.

Este estudo de caso desenvolveu-se na disciplina de Projeto de Experimentos, oferecida pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da UFRGS – PPGEP, no segundo trimestre de 1998, para alunos de mestrado do próprio programa e de outros programas de pós-graduação da universidade.

A avaliação foi realizada através do emprego de um questionário, e teve a intenção de verificar a aceitação da presente apostila eletrônica como ferramenta de auxílio ao aprendizado, bem como evidenciar alguns pontos críticos que podem ser considerados para aperfeiçoamentos futuros.

Para auxílio nos cálculos e gráficos utilizados na avaliação, empregaram-se os *software Statgraphics Plus* (Statistical Graphics Corp, Version 2.1) e o *Microsoft Excel97* (Microsoft, Microsoft Excel 97), ambos para Windows.

4.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A fim de detalhar o estudo de caso realizado, serão apresentados a seguir alguns dados que caracterizaram o mesmo.

4.1.1 Ambiente e Materiais utilizados

O presente estudo de caso foi realizado nas dependências do PPGEP, especificamente no Laboratório de Micro-informática do mesmo. Havia à disposição para cada três alunos, 1 microcomputador com processador Pentium 200 ou maior.

Os *software Adobe Acrobat Reader* e *Microsoft Excel97*, utilizados respectivamente para leitura da apostila e para execução dos exemplos e exercícios resolvidos, foram previamente instalados. Foram disponibilizados em um diretório nos computadores, a partir do segundo encontro, cópias compactadas do *software* e da apostila eletrônica, para que os alunos pudessem copiá-los e utilizá-los em outros ambientes que não o laboratório. Os alunos também possuíam a cópia-papel da apostila, a fim de que pudessem acompanhar os assuntos, bem como estudar, da forma como melhor lhes conviessem.

A disciplina foi ministrada pelo professor titular da mesma, com os recursos audiovisuais de retro-projeção baseados na mesma apostila (Ribeiro, 1996) que originou a apostila eletrônica.

4.1.2 Desenvolvimento e Aplicação do Questionário

Foi desenvolvido um questionário com 11 perguntas objetivas e 2 dissertativas, apresentado em sua íntegra no Anexo I. Estas perguntas tinham o caráter de verificar qualitativamente se os usuários da apostila a aprovaram como ferramenta de auxílio ao aprendizado, observando alguns quesitos como estética e conteúdo, o interesse do aluno pela disciplina, seu conhecimento prévio, sua percepção sobre a utilidade da técnica, e ainda verificar se o aluno visualizava um ambiente onde o meio digital substituiria o físico, ou seja, se “o papel poderia ser substituído pelo computador”.

Após decorridos 6 encontros, dos 9 previstos, foi aplicado o questionário para avaliação da Apostila Eletrônica (Anexo V). Foram determinados 6 encontros, pois os

mesmos agrupavam a maioria das técnicas definidas como básicas e garantiam a suficiente exposição dos alunos à apostila eletrônica.

Não foi possível elaborar uma estratégia experimental detalhada. Um projeto experimental mais preciso, contendo blocagem, repetição, paracionamento, ou mesmo aleatorização na condução do experimento de utilização da apostila, seria de difícil aplicação. A determinação de algumas restrições quanto à organização dos grupos de alunos em sala de aula, mesmo que fosse realizado um amplo esclarecimento desta circunstância, poderia acarretar prejuízos reais e de percepção aos estudantes, interferindo assim nos resultados a serem coletados. Fica, entretanto, aberta a possibilidade de se realizar um experimento controlado, onde algumas delimitações experimentais pudessem ser testadas, como grupos com número diferente de alunos, alunos de formações e idades diferentes, etc. Uma experiência neste sentido, sobre a aplicação de estatística multivariada para avaliação de um ambiente de ensino, pode ser verificada em Almeida e Gomes (1997).

4.1.3 Análise dos Resultados

Após coletados os questionários, estes foram inseridos na planilha eletrônica *Excel97*, quando procederam-se as análises dos mesmos, utilizando-se tanto esta planilha como o programa *Statgraphics Plus*. A tabela construída com as respostas dos questionários pode ser vista no Anexo II.

Para simplificar o manuseio das informações, foram introduzidas as seguintes legendas para representar as questões objetivas, que podem ser visualizadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Legendas utilizadas para representar simplificadaamente as questões.

Legenda	Questão
Aspecto visual	1. Como está o aspecto visual?
Facilidade de navegação	2. Como está a navegação?
Conteúdo	3. Como está o conteúdo?
Qualidade dos exemplos	4. Como estão os exemplos?

Tabela 4.1- Legendas utilizadas para representar simplificadaamente as questões. (continuação)

Qualidade dos exercícios	5. Como estão os exercícios?
Impressão geral	6. Qual foi sua impressão geral da apostila eletrônica?
Uso do computador	7. Você utiliza computadores em suas atividades diárias (trabalho/estudo/lazer)? Onde?
Auxílio nos estudos	8. De que forma a apostila eletrônica auxiliou seus estudos extra-classe?
Aplicação de projeto de experimentos	9. Na sua opinião, o conteúdo da disciplina é aplicável em sua área de interesse? Por favor, informe sua área de interesse (trabalho, mestrado, etc).
Conhecimento anterior em projeto de experimentos	10. Qual o seu conhecimento anterior sobre o assunto discutido nesta disciplina?
Uso da Internet	11. Se a apostila possibilitasse endereços na Internet sobre o conteúdo (atualizações) e/ou exercícios e estudos de caso adicionais, você os acessaria? Se não, porquê?

A seguir serão apresentadas as informações e observações que puderam ser constatadas a partir da verificação destes dados e de gráficos resultantes.

4.1.3.1 Informações básicas

Os dados coletados representam a opinião de uma amostra de 31 alunos da disciplina de Projeto de Experimentos, do curso de pós-graduação em Engenharia da Produção. As onze (11) questões objetivas, mais as duas (2) dissertativas, constituem o número de fatores a serem analisados. Em um primeiro momento, serão verificadas somente as 11 questões objetivas, e posteriormente, serão incluídas na análise as demais questões dissertativas.

São portanto, 31 x 11 as observações coletadas, que resultam em 341 respostas no total. Como algumas parcelas foram perdidas, devido ao não preenchimento de algumas questões, foram utilizadas para comporem os resultados 333 respostas. O *software Statgraphics Plus* considera algoritmos para tratar do problema de parcelas perdidas em seus cálculos. Para uma descrição e detalhamento deste tratamento de dados, consultar Montgomery (1991).

4.1.3.2 Questões Objetivas

4.1.3.2.1 Cálculos preliminares

A fim de mapear previamente as estatísticas descritivas das questões, foram realizados os cálculos das mesmas, apresentados na Tabela 4.2, (a) para avaliação das questões e (b) para avaliação dos questionários. A seqüência de apresentação das questões na avaliação é esta exposta, porém faz-se necessário diferenciar aquilo que é decorrente da avaliação da apostila propriamente dita, daquilo que são questões sobre, ou aplicáveis, ao aluno. Para tanto, adotou-se: colunas em cinza para questões sobre a apostila, e colunas vazadas para questões aplicáveis ao aluno. A escala empregada para avaliar estes quesitos varia de 1 (um) a 5 (cinco), onde 1 representa *péssimo, nunca, nada, nenhum ou não* e 5 representa *excelente, sempre, muito, profundo ou sim*.

Tabela 4.2 (a) - Estatística Descritiva das Questões

	Aspecto visual	Facilidade de navegação	Conteúdo	Qualidade dos exemplos	Qualidade dos exercícios	Impressão geral
Número de respostas	31	30	30	30	30	31
Média	4,26	3,83	3,83	3,67	3,77	3,94
Variância	0,265	0,902	0,557	0,368	0,461	0,462
Desvio-padrão	0,514	0,950	0,747	0,606	0,679	0,680
Mínimo	3	2	3	2	2	2
Máximo	5	5	5	5	5	5
Somatório	132	115	115	110	113	122

Tabela 4.2 (a) - Estatística Descritiva das Questões

	Uso do computador	Auxílio nos estudos	Aplicação de projeto de experimentos	Conhecimento anterior em projeto de experimentos	Uso da Internet
Número de respostas	31	30	30	30	30
Média	4,65	2,1	4,1	2,17	4,77
Variância	0,303	2,02	1,06	1,11	0,323
Desvio-padrão	0,551	1,42	1,03	1,05	0,568
Mínimo	3	1	2	1	3
Máximo	5	5	5	4	5
Somatório	144	63	123	65	143

Tabela 4.2 (b) - Estatística Descritiva dos Questionários.

Questionários	Observações Válidas	Média das Médias	Média dos Desvios-padrão
31	182	3,88	0,696

Tabela 4.2 (b) - Estatística Descritiva dos Questionários.

Questionários	Observações Válidas	Média das Médias	Média dos Desvios-padrão
31	151	3,56	0,924

4.1.3.2.2 Apresentação Gráfica e Análise

Apresentados os resultados preliminares, pode-se proceder a apresentação gráfica dos mesmos, para simples comparação entre as médias e desvios dos fatores, conforme Figura 4.1.

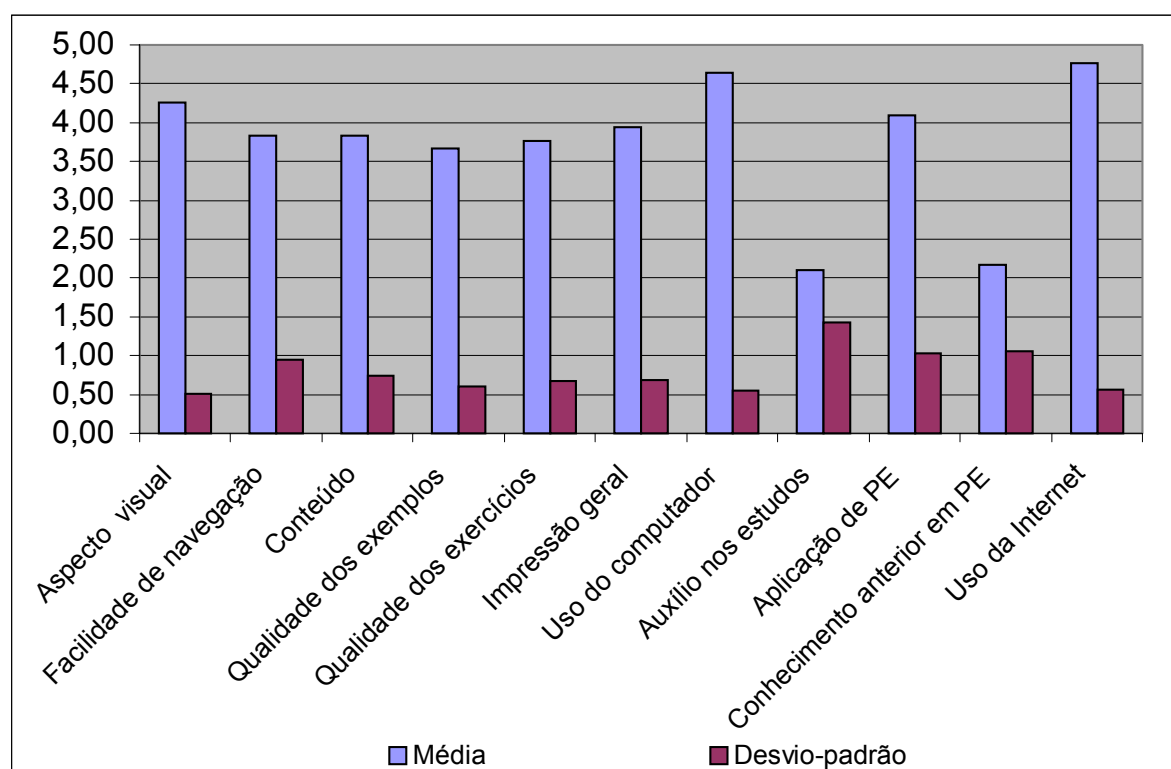


Figura 4.1 - Apresentação gráfica dos resultados: Avaliação x Fatores

Como pode ser visualizado no gráfico, dentre todos os fatores, aqueles que se comportam de forma diversa são *auxílio nos estudos* e *conhecimento anterior em PE*. A mesma constatação pode ser verificada pela comparação múltipla de médias (CMM) de

Duncan, calculada com auxílio do *software Statgraphics*, realizada após a análise de variância (*ANOVA*), para detecção de diferenças significativas entre os fatores. Entretanto, será priorizada a apresentação somente da Figura 4.1, dado que a diferença é evidente na mesma. Os cálculos envolvendo a *ANOVA* e a CMM²⁰ de Duncan podem ser encontrados no Anexo III - Cálculos Auxiliares.

O fator *auxílio nos estudos* refere-se à utilização da apostila eletrônica no auxílio aos estudos extra-classe, evidenciando que a mesma não foi utilizada desta forma. Com uma média 2,1, pode se dizer que a mesma de acordo com o questionário, obteve avaliação entre *satisfatória e nada*. O histograma deste fator, apresentado na Figura 4.2, evidencia que 17 dos 30 alunos (56,67%) responderam que a apostila não auxiliou em *nada* o estudo extra-classe.

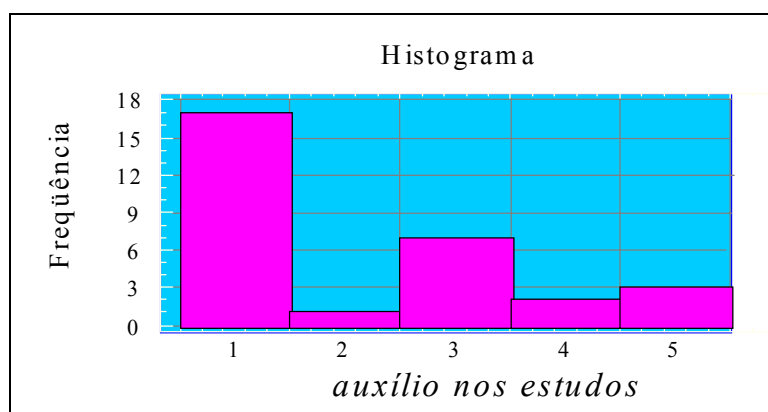


Figura 4.2 - Histograma para o fator *auxílio nos estudos*.

O fator *conhecimento anterior em PE*, por sua vez, apresentou marcação baixa, 2,17, quanto ao conhecimento dos alunos sobre a disciplina de projetos de experimentos. Este resultado pode ser interpretado de pelo menos duas formas: (1) os alunos obviamente não conheciam o assunto, por isto cursavam a disciplina; (2) os alunos de mestrado, com formação superior em áreas correlatas à engenharia, possuem pouco conhecimento em relação ao projeto de experimentos (PE), técnica indispensável em ambientes de procura permanente pelo conhecimento e pelas melhorias de processos e produtos. De acordo com o histograma apresentado na Figura 4.3, 63,33% dos alunos possuíam, baseados em seu julgamento, conhecimentos inferiores a *médios* no assunto.

²⁰ É importante salientar que o uso da ANOVA ou da CMM assume que as variáveis tenham distribuição normal, não sendo este o caso. Então, a interpretação desses resultados deve ser feita com reservas.

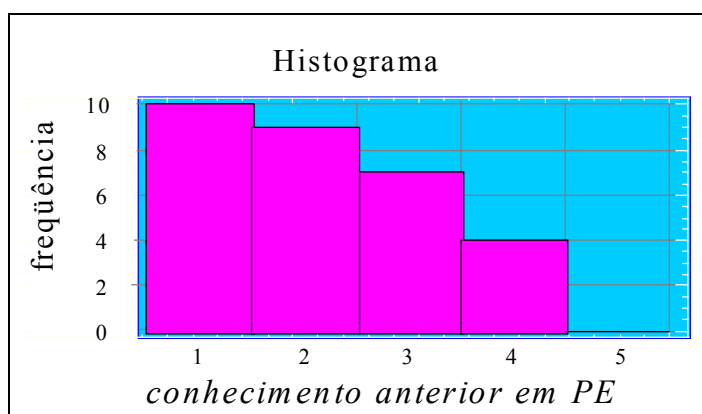


Figura 4.3 - Histograma para o fator *conhecimento anterior em PE*.

Deve-se observar que não foi feito nenhum “teste” anterior para comprovar o conhecimento prévio dos alunos em projetos de experimentos. Assim, mesmo o suposto conhecimento indicado pelos alunos no questionário, aplicado no 6 encontro, seja somente uma distorção de percepção provocada pelos assuntos abordados no curso. Esses assuntos podem, devido ao caráter aplicado à engenharia, evidenciar nos alunos um sentimento de aparente conhecimento intuitivo pré-existente. A segunda interpretação, do baixo conhecimento sobre a técnica, sem mencionar sua aplicação prática, pode apresentar um atenuante, retirado de uma pesquisa comparativa (Schulz, 1997) realizada entre 1992 e 1994. Nessa pesquisa, 167 fornecedores de componentes automotivos foram consultados, no Japão, Europa, e EUA, sendo os resultados apresentados na Figura 4.4. Esses resultados permitem verificar uma estatística quanto à aplicação de projeto de experimentos nos departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (R&D) nestas companhias investigadas:

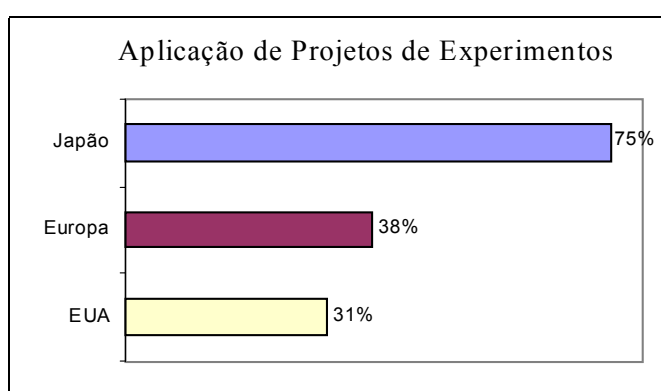


Figura 4.4- Comparação da aplicação de Projeto de Experimentos nas companhias pesquisadas. (Fonte: PTW/McKinsey, 1993)

A comparação, evidencia que até mesmo em países desenvolvidos tecnologicamente, e segundo Tay (1999), pioneiros na criação (EUA e Europa) e no desenvolvimento (Japão) destas técnicas, ainda se observa uma sub-utilização da técnica de Projeto de Experimentos. Exceção esta feita apenas ao Japão, que consistentemente diminuem o tempo de pesquisa e desenvolvimento de produtos e processos, como exposto nesta mesma investigação.

Assim sendo, após realizada a análise preliminar dos fatores mais discrepantes, procede-se a avaliação dos fatores de maior pontuação, fatores em sua maioria relacionados diretamente com a avaliação da apostila (fatores “em cinza” na Tabela 4.2a). Feita esta análise, serão utilizados métodos de comparação e correlação entre os fatores, a fim de avaliar uma possível incidência de algum comportamento associativo entre os mesmos.

O cálculo da média das médias e do desvio dos fatores relacionados à apostila (Tabela 4.2a), apresentam os seguintes valores: 3,88 e 0,696, respectivamente. Pode-se perceber, que a apostila apresentou uma avaliação entre *média* e *excelente*, e que existe homogeneidade parcial relacionada a essa avaliação, devido ao baixo desvio. Uma classificação da média e do desvio dos fatores, relativos ao desempenho da apostila, pode ser observada no Quadro 4.1. A seta apresentada aponta para a melhor posição de classificação. Para acompanhar os valores numéricos, consultar Tabela 4.2.

Quadro 4.1- Classificação dos fatores quanto à média e desvio-padrão

média		desvio-padrão	
Aspecto visual	maior	Aspecto visual	menor
Impressão geral	↑	Qualidade dos exemplos	↑
Facilidade de navegação		Qualidade dos exercícios	
Conteúdo	↑	Impressão geral	↑
Qualidade dos exercícios		Conteúdo	
Qualidade dos exemplos	menor	Facilidade de navegação	maior

Utilizando a comparação múltipla de médias de Duncan (Tabela 4.3), com auxílio do *Statgraphics*, pode-se verificar, com um risco de erro 5%, de que *aspecto visual* e *impressão geral* não apresentam diferenças significativas, o mesmo podendo ser dito entre *impressão geral* e os outros fatores. Sendo assim diz-se que *aspecto visual* apresenta diferença significativa com *facilidade de navegação*, *conteúdo*, *qualidade dos exercícios*, *qualidade*

dos exemplos, porém estes últimos não diferem-se entre si, e nem com *impressão geral*, como observado na Tabela 4.3²¹.

Tabela 4.3 - Teste Múltiplo de Médias

Método: 95,0 por cento Duncan			
	Contagem	Médias	Grupos Homogêneos

qualidade dos exemplos	30	3,67	X
qualidade dos exercícios	30	3,77	X
conteúdo	30	3,83	X
facilidade de navegação	30	3,83	X
impressão geral	31	3,94	XX
aspecto visual	31	4,26	X

Informações extras podem ser obtidas confrontando-se questões (fatores) diferentes, no tocante à avaliação da apostila eletrônica e do próprio aluno. Analisando-se, por exemplo, *facilidade de navegação* e *uso do computador*, a fim de verificar se não houve interferência da facilidade de navegação com o uso cotidiano do microcomputador (hipótese nula). A correlação encontrada entre estes fatores foi **-0,054**, levando-se em consideração 30 observações, para um valor *P* de **0,755** (aceita-se a hipótese nula).

De acordo com o diagnóstico apresentado pelo programa *Statgraphics*, não existe correlação entre estes fatores. Se a mesma existisse, o *valor P* seria menor que 0,05, ou 5%, para um intervalo de confiança de 95%. A mesma análise de correlações foi feita para os demais fatores, sendo na Tabela 4.4 apresentado as correlações encontradas:

²¹ A interpretação da Tabela 4.3 pode ser realizada da seguinte forma: Quando em *Grupo Homogêneo* os *Xs* ocupam a mesma coluna, não há diferença entre os fatores relacionados à esquerda, assim, quando o *X* ocupar outra coluna, este indica uma diferença significativa com relação aos fatores que não possuem *X* ocupando esta coluna.

Tabela 4.4 - Correlações entre os fatores do questionário

Fator A e Fator B	valor	valor <i>P</i>
<i>aspecto visual e facilidade de navegação</i>	0,441	0,0146
<i>aspecto visual e impressão geral</i>	0,526	0,0024
<i>aspecto visual e auxílio nos estudos</i>	0,447	0,0132
<i>aspecto visual e aplicação de projeto de experimentos</i>	0,419	0,0212
<i>facilidade de navegação e auxílio nos estudos</i>	0,433	0,0190
<i>qualidade dos exemplos e qualidade dos exercícios</i>	0,726	0,0000
<i>impressão geral e auxílio nos estudos</i>	0,463	0,0100
<i>uso do computador e uso da internet</i>	0,375	0,0414

Baseado nestes cálculos, e na ligação intuitiva entre fatores como *aspecto visual* e *aplicação de PE* ou *facilidade de navegação*, há evidências de que o aspecto visual, ou a facilidade de se acompanhar o texto devido à disposição dos conteúdos na apostila, correlaciona-se com a percepção da utilidade da técnica experimental. Pode-se também perceber, que aspecto visual correlaciona-se com facilidade de navegação pela apostila eletrônica, podendo-se inferir que a aplicação de elementos (e.g., *links*) e objetos (e.g., botões) à apostila conduziram à uma compreensão facilitada da disposição dos conteúdos apresentados.

As demais correlações indicadas também devem ser consideradas importantes. Todas essas correlações mostraram-se positivas, indicando que as variáveis tendem a mesma direção. Pode-se perceber no entanto, que algumas correlações esperadas, como a mencionada anteriormente entre *facilidade de navegação* e *uso do computador*, não apresentaram-se existentes. Essa inexistência de correlação não elimina sua possível significância, em outras amostras. Não existem portanto, conclusões definitivas e generalizáveis quanto a correlações entre os fatores. Porém pode-se afirmar que, para a amostra pesquisada, as correlações apresentadas na Tabela 4.4 devem ser observadas, quando forem implementadas ações para melhoria da presente ferramenta de auxílio ao aprendizado.

4.1.3.3 Questões Dissertativas Opcionais

Algumas considerações podem ser feitas com relação as questões dissertativas opcionais apresentadas no questionário, que serviram para avaliar o posicionamento dos alunos a respeito das seguintes questões:

1. Caso a apostila eletrônica fosse aprimorada, você acredita que ela poderia substituir a apostila em papel?

2. Alguma sugestão de melhoria para a apostila eletrônica? Qual?

A instrução que encabeçava estas questões dizia o seguinte: “Para as questões a seguir, responda sim ou não e, se possível, acrescente comentários.”, o que deixou o aluno livre para responder de forma sintética (*sim* ou *não*) ou mais completa. A primeira questão gerou observações mais completas em 22 dos 31 questionários, sendo que ninguém se negou a responder. A segunda questão apresentou 13 respostas em branco, sendo que somente 11 das 18 respostas preenchidas apresentaram-se mais completas.

A fim de tornar a análise mais objetiva, transpondo-a do formato de impressões pessoais para um formato quantificável, ou melhor, categorizando as respostas obtidas, optou-se por utilizar uma escala similar a escala das questões objetivas anteriores, a fim de representar as respostas da primeira pergunta dissertativa, conforme Tabela 4.5:

Tabela 4.5 - Escala para categorizar respostas da primeira pergunta do questionário.

Resposta	Escala
Sim	5
Complementar	3
Não	1

Verificando as respostas obtidas, pode-se evidenciar a ocorrência, em alguns questionários, da caracterização da apostila como ferramenta complementar, de auxílio ao aprendizado. Não surpreende, mas chama a atenção, dado que em nenhum momento foi exposto aos alunos qual seria a intenção da apostila eletrônica em aplicações futuras. Portanto, a escala intermediária 3 corresponderá a esta resposta. As respostas geraram o perfil que aparece na Figura 4.5:

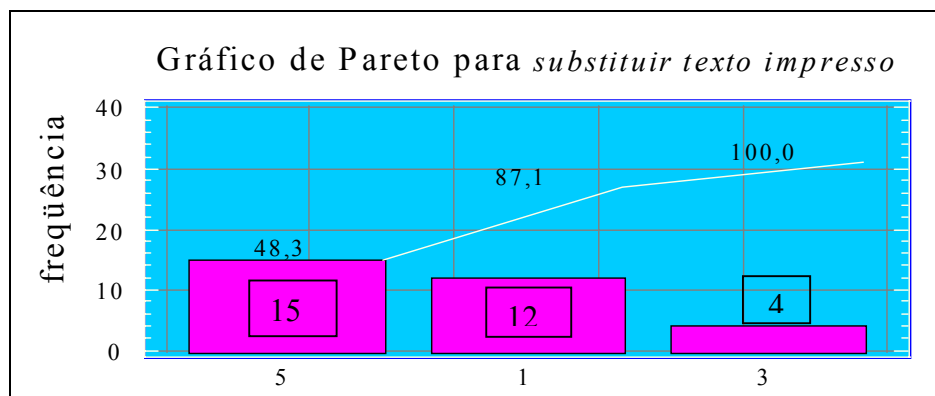


Figura 4.5 - Gráfico de Pareto para as respostas coletadas sobre as questões dissertativas.

A expressão *substituir texto impresso* foi utilizada para designar a primeira pergunta na construção da Figura 4.5, sendo as respostas obtidas apresentadas na mesma. Para o fator de escala 5, *Sim*, quanto a utilização da apostila eletrônica como substituta do papel, se a mesma for aperfeiçoada, obtiveram-se 15 respostas positivas, das 31 possíveis. Para a escala 1, *Não*, quanto ao mesmo questionamento anterior, obtiveram-se 12 respostas coincidentes com esta análise, resultando em 4 respostas para a escala 3 (três), que relaciona a apostila eletrônica como *Complementar* no auxílio ao aprendizado de projetos de experimentos.

Não se pode afirmar, com base na amostra pesquisada, que a apostila eletrônica poderia substituir a apostila em papel, nas circunstâncias atuais e para este grupo de usuários. A intenção que permeava esta avaliação visava a utilização da apostila eletrônica como meio auxiliar e facilitador ao aprendizado. Se neste cenário, fosse constatado a oportunidade de substituir a apostila em papel pela eletrônica, poder-se-ia assim incrementá-la com outras características, somente disponíveis no ambiente virtual. Essa substituição poderia potencializar o aprendizado e utilização futura da técnica de suporte ao aprendizado em projeto de experimentos.

Alguns apontamentos adicionais serão discutidos no tópico *Comentários Realizados*, a fim de trabalhar melhor a falta de aderência na aceitação da apostila, ou na utilização parcial da mesma, somente para alunos que se sentem confortáveis com seu manuseio e utilidade. A análise destes apontamentos é importante, pois para 61% dos questionários, a apostila poderia assumir um caráter complementar ou substituto, se somadas as escalas 5 e 3.

A segunda questão dissertativa não possibilita uma análise como a apresentada acima, pois pode-se presumir que aqueles que não responderam, não tem sugestão alguma para

melhoria da apostila eletrônica. Mesmo para aqueles que registraram uma resposta, grafaram *Não*, resultando em somente 11 sugestões para melhoria da apostila. Estas sugestões, conjuntamente com os comentários da primeira questão, serão apresentados e discutidos a seguir.

Desta forma, as respostas obtidas podem ser verificadas no Anexo II, entretanto algumas das mesmas serão aqui abordadas, a fim de posicionar percepções importantes quanto a utilização da apostila eletrônica como ferramenta auxiliar ao aprendizado em projeto de experimentos.

4.1.3.3.1 Comentários realizados

Os **comentários** contidos nas respostas às questões dissertativas foram listados e discutidos, **analisando-se** a percepção do aluno/usuário, e posicionando a apostila quanto a possíveis **soluções**. Os comentários aqui descritos, realimentam o estágio de *Desenvolvimento de Produtos*, Desenvolvimento e Testes, oportunizando melhorias futuras à Apostila Eletrônica.

Para realizar essa etapa da avaliação, recorreu-se a técnica denominada "Análise de Conteúdo" apresentada em Roesch (1999). Essa técnica baseia-se na análise de textos, no caso, as respostas dissertativas dos questionários, e "...busca classificar palavras, frases, ou mesmo parágrafos em categorias de conteúdo." (Weber, 1990 apud Roesch, 1999). No caso específico deste trabalho, as palavras-chave Portabilidade, Interatividade e Facilidade (no uso) foram destacadas, sendo todos os apontamentos vinculados a elas enumerados a seguir.

Comentário 1:

Portabilidade da apostila eletrônica, relacionada a:

- (a) facilidade de utilizá-la em qualquer lugar; e
- (b) flexibilidade para facilitar as anotações na mesma, de forma mais dinâmica.

Análise 1:

A questão portabilidade é aparente em qualquer aplicativo computacional, sendo acentuada nos que apresentam texto como conteúdo principal, associado a comodidade de leituras extensas no monitor do computador.

Os alunos, como apresentados anteriormente, tiveram que dividir os microcomputadores de mesa (três em cada "micro"), o que prejudicou a utilização mais dinâmica da apostila. Mesmo para aqueles que a utilizaram para estudos extra-classe (avaliado com pontuação 2,1 em 5), certamente tiveram dificuldades, pois a postura corporal utilizada para leitura e estudo no próprio monitor muitas vezes é desconfortável e não flexível, mesmo para quem utiliza computadores portáteis.

Outro ponto importante, diz respeito a possibilidade de se efetuar anotações no corpo do texto (*Comentários do Professor e Anotações Pessoais*), disponibilizadas para serem utilizadas e salvas diretamente na apostila. Entretanto, o mesmo foi dificultado, pois como foi apresentado acima, existiam 3 usuários em cada "micro", o que prejudicava os apontamentos individuais e do professor, provocado talvez pela capacidade não balanceada dos alunos em acompanhar os conteúdos abordados.

Solução 1:

Algumas propostas podem ser elencadas, como disponibilizar mais microcomputadores, um por aluno, a fim de possibilitar o acesso de todos, bem como facilitar as anotações na própria apostila.

Outra alternativa, seria a utilização de livros virtuais (InfoExame, 1998), desenvolvidos para portarem-se como livros normais, porém com características mais avançadas, e que possuem como ponto de maior destaque o tamanho e o tipo de tela, mais adaptados às necessidades dos usuários. Alguns detalhes sobre este meio inovador podem ser obtidos em Wildstrom (1998), Hickman (1998) e Kirschner (1999).

Comentário 2:

Maior **interatividade**, associada a diversos aspectos como:

- (a) acréscimo no número de *links* para explicação de conceitos,
- (b) maior número de exercícios e exemplos,
- (c) acesso a Internet e a *sites* correlacionados.

Análise 2:

A interatividade em forma ampla permite ao usuário explorar os conteúdos apresentados de forma livre e personalizada, potencializando situações que a apostila impressa não possibilitaria. As limitações quanto ao *software* escolhido e a disponibilidade de tempo e recursos para criação, por exemplo, de vídeos e simuladores que explorassem os conceitos apresentados na apostila impossibilitou a utilização potencial de maior interatividade. Como o escopo do trabalho era a criação de uma apostila eletrônica como meio auxiliar ao aprendizado, e não explorar todo o potencial da interatividade multimeios, torna-se compreensível que esta deva ser explorada em trabalhos futuros.

Solução 2:

Apesar do exposto acima, se for relacionado a interatividade aos três requisitos listados pelos alunos, torna-se mais fácil a adequação a esta interatividade requerida. Com relação aos *links* para explicação de conceitos, estes poderiam ser facilmente inseridos e extraídos das publicações existentes, apresentando o texto dos autores na íntegra, com referência bibliográfica. O mesmo poderia ser feito com relação ao acréscimo de exercícios e exemplos, a ainda poderiam ser agregados, ano após ano, aqueles trabalhos realizados por alunos de anos anteriores, tornando cada vez mais próxima a real utilidade da técnica experimental. O último requisito, quanto a acesso a Internet e *sites* correlacionados ao conteúdo da apostila é o de mais fácil implantação, pois uma lista com *links* pode ser associada a apostila e o acesso, uma vez conectado o *micro* a Internet, seria imediato. Este último requisito pode ser verificado no Anexo IV - *Lista de Sites Relacionados*.

Comentário 3:

Melhorias no *Help*, **facilitando o uso** da apostila e dos recursos existentes no *software* na qual ela foi elaborada.

Análise 3:

Este comentário se refere a navegação pela apostila eletrônica, o uso de seus mecanismos de localização, *zoom*, entre outras características do *software Adobe Acrobat*, no qual a apostila foi baseada.

Solução 3:

Poderia ser elaborado um tutorial mais detalhado para auxiliar o usuário a utilizar o *software*, dado que anteriormente um tutorial básico (arquivo *tutors.pdf*) foi desenvolvido, conforme pode ser verificado nos arquivos do Anexo V - Apostila Eletrônica. Entretanto, esta atividade escapa às delimitações desta dissertação, e a propósito, como pode ser verificado pela avaliação do quesito ***facilidade de navegação*** pela apostila, que obteve pontuação média igual a 3,83 em 5, denotando que não é grande a dificuldade de utilização da mesma. Outro ponto que diminuiria o problema, seria o uso cotidiano do *software* em questão, que certamente, assim como acontece com outros produtos da informática, rapidamente seria aprendido pelos usuários.

4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas conclusões podem ser elaboradas a partir dos dados e análises expostos no presente capítulo, entretanto, devido a dimensão da amostra utilizada, será feita uma descrição particularizada, que se refere exclusivamente a esta amostra, sem o intuito de estabelecer conclusões definitivas, aplicáveis a toda a população. No entanto, é possível que algumas dessas observações venham a ser confirmadas em outros estudos e possam, então, ser consideradas gerais.

Dois fatores observados, conforme pode ser verificado na Figura 4.1, relacionados propriamente aos alunos/usuários, tiveram pontuação baixa: ***auxílio nos estudos*** e ***conhecimento anterior em PE***. Estes resultados evidenciam que para esta amostra, esses fatores não foram satisfatórios.

Apesar destes reveses, a apostila eletrônica ainda obteve uma pontuação geral satisfatória, conforme pode ser observado na Tabela 4.2a, com avaliação média de 3,88 e desvio-padrão de 0,696. Estes resultados deixam abertos os caminhos para a utilização e melhoria da apostila eletrônica, principalmente aos aspectos listados no item 4.1.3.3.1 *Comentários Realizados*, comentados a seguir.

O teste comparação múltipla de médias apresentado na Tabela 4.3 evidencia conforme já mencionado, que as características relacionadas à apostila eletrônica, ***aspecto visual*** e ***impressão geral*** se comportaram de acordo com a pontuação dos alunos, de maneira quase idêntica, sem presença de diferenças significativas. Ou seja, na avaliação geral e visualmente, a apostila teve um desempenho similar, próximo a 4 sobre 5 (entre 3,94 e 4,26), de graduação boa. As outras características (Tabela 4.3) também não apresentaram diferenças entre elas, e nem com ***impressão geral***, tornando consistente a avaliação, dado que impressão geral deve servir como uma "média" da pontuação das demais características. Já com relação ao aspecto visual, ocorreram diferenças significativas, o que evidencia que visualmente a apostila é melhor do que em relação aos outros quesitos, como exemplos e exercícios apresentados, todos certamente passíveis de melhoria e adequação.

Foi realizada então uma análise de correlação, com intenção de verificar quais fatores tinham comportamento similar com relação a seus efeitos. A Tabela 4.4, apresenta os resultados obtidos.

Algumas observações já haviam sido feitas sobre estes resultados, porém uma análise pormenorizada se faz necessária nestas considerações finais. Todos estes resultados permitem destacar pontos de melhoria, bem como evidenciam tendências interessantes, que podem auxiliar na compreensão destes resultados. A facilidade de navegação também obteve correlacionamento com estudo extra-classe, sendo observado o mesmo comportamento citado anteriormente.

Estes resultados indicam que deve-se observar, por exemplo, a facilidade de navegação e os aspectos gerais para se melhorar a utilização da apostila como auxiliar nos estudos, porém sem descuidar-se das observações feitas na questão dissertativa 1, evidenciando a melhoria dos aspectos de portabilidade e facilidade de utilização, fatores importantes na ampliação do uso desta ferramenta multimeios.

Ante o exposto acima, se faz necessário apresentar agora, resumidamente, os apontamentos realizados no item 4.1.3.3.1 *Comentários Realizados*, para que possa ser finalizada as considerações finais deste capítulo.

Este item apresentou apontamentos retirados dos questionários, relacionados aos comentários elaborados pelos alunos nas questões dissertativas. A essência destes apontamentos pode ser resumida em três quesitos: portabilidade, interatividade e facilidade de uso. Os comentários, em linhas gerais, evidenciavam certas falhas nestas características, que sofreram uma análise e consequente sugestão de solução. Estas podem ser assim resumidas, seguindo a ordem original apresentada dos três quesitos:

- Aumento no número de micro-computadores disponíveis, individualizando-os, ou mudança do meio empregado para utilização da apostila eletrônica, como o formato descrito em Wildstrom (1998), Hickman (1998) e Kirschner (1999), relacionado ao conceito de livro virtual;
- Inserção de *links* para explicação de conceitos, extraídos de publicações da área, apresentando citações dos autores na íntegra, com referência bibliográfica. O mesmo poderia ser feito com relação ao acréscimo de exercícios e exemplos. Disponibilizar uma lista de *sites* correlacionados ao conteúdo da apostila, incrementando a apostila eletrônica com informações de outros pesquisadores, autores, investigadores ao redor do mundo; e
- Elaboração de um tutorial mais detalhado para auxiliar o usuário a utilizar a apostila, melhorando em relação ao tutorial básico desenvolvido (arquivo *tutors.pdf*) contido no Anexo V - Apostila Eletrônica. Outra solução seria o uso rotineiro de programas de auxílio ao aprendizado, que facilitaria o uso, pois como acontece com outros produtos da informática, rapidamente seria aprendido pelos usuários.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Esse capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, o qual constituiu-se do desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta computacional multimeios utilizada no auxílio ao aprendizado de projetos de experimentos básicos. Destaca também, de forma ampla, todas as etapas utilizadas para a elaboração do presente trabalho. Finaliza apresentando sugestões para futuros trabalhos.

5.1 CONCLUSÕES FINAIS SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO

O principal objetivo desta dissertação foi a elaboração de uma ferramenta multimeios de auxílio ao aprendizado (FMAA) da técnica de Planejamento, Projeto e Análise de Experimentos (PPAE), visando disponibilizar e promover maiores recursos para o ensino nesta área. Essa atividade foi realizada, tendo culminado no desenvolvimento de uma Apostila Eletrônica - Anexo V. A fim de avaliar a aplicabilidade da mesma, foi realizado um estudo de caso, sendo então analisados os resultados obtidos, convergindo para a conclusão do trabalho.

O trabalho que culminou na elaboração da Apostila Eletrônica e na sua avaliação perante um estudo de caso, teve como pontos de partida uma revisão nos assuntos relacionados à Engenharia da Qualidade, mais precisamente à técnica conhecida por Projetos de Experimento. Buscou-se nesta revisão, além de descrever e discutir os conceitos implícitos à técnica mencionada, como o planejamento experimental, o projeto ou arranjo empregado e a análise das observações, também a investigação e identificação dos projetos experimentais básicos, dada a necessidade de delimitar o assunto discutido na Apostila Eletrônica.

Assim sendo, iniciou-se pela investigação do conceito de planejamento experimental, e a identificação na literatura da área, dos métodos ou regras empregados para executar esta etapa do roteiro experimental. Verificou-se que é dada pouca ênfase a este assunto, se considerado o espaço destinado à discussão dos projetos e da análise de experimentos. Estes métodos ou regras em sua maioria são passos pelos quais uma investigação experimental deveria passar, como pode ser visto nos sub-itens do *item 2.3.1 Métodos ou Regras para o Planejamento de Experimentos*. O que pode-se extrair dos mesmos é que um mapeamento inicial mais pormenorizado pode economizar recursos e tempo ao final do processo experimental, bem como ajudar a verbalizar todos os pontos de conflito entre fatos e percepções dos envolvidos na concepção e condução do experimento.

O projeto e a análise de experimentos inserem-se na ampla perspectiva da abordagem conhecida como *Design of Experiments* (Projeto de Experimentos), como os assuntos mais discutidos. Essa maior discussão deve-se à focalização aplicada aos projetos e análises, em períodos de reduzidos recursos computacionais (i.e., cálculos e gráficos). A literatura apresenta então uma gama de projetos e suas respectivas análises, dada a existência de um relacionamento íntimo entre os mesmos, sendo a sua dissociação impossível em um ambiente prático. Desta forma, os projetos e análises básicos foram investigados e identificados. Um conjunto de projetos básicos foi determinado: **projetos com 1 único fator, projetos com 2 ou mais fatores, projetos em blocos, projetos aninhados, projetos do tipo quadrado-latino, projetos parcionados em células, projetos fatoriais do tipo 2^k e 2^k fracionados**.

A revisão dos pontos mais importantes relacionados a esses projetos e respectivas análises foi desenvolvida através da utilização de uma abordagem diferenciada e diferenciadora. Diferenciada porque não foram apresentados cálculos ou configurações pormenorizadas dos projetos, material este amplamente discutido na literatura e apresentado na Apostila Eletrônica (Anexo V). Optou-se assim, pela utilização um experimento, detalhando-o, descrevendo-o e evidenciando suas particularidades. Diferenciadora porque, quando possível, destacou as diferenças existentes entre os diversos projetos básicos, indicando o seu melhor emprego nos diversos cenários experimentais.

Após concluída a revisão bibliográfica, iniciou-se a elaboração da Apostila Eletrônica propriamente dita, utilizando-se dos recursos computacionais escolhidos nessa etapa do trabalho. Através da identificação de ferramentas computacionais que suportassem características multimeios adequadas à elaboração da Apostila, foram investigadas duas

opções: *HyperText Markup Language* – HTML, linguagem de programação para hipertexto, e *Adobe Acrobat*, programa de auxílio à construção de textos virtuais.

Listadas as características positivas e negativas de ambos, foi escolhido, devido ao critério de "praticidade" adotado, o programa *Adobe Acrobat*. Esta praticidade está associada a(ao): aprendizado do recurso; aprendizado de navegação no *software* pelo aluno/usuário; divulgação, devido ao formato reduzido de seus arquivos e à gratuidade do *software* leitor (*Acrobat Reader*); oportunizar ao aluno/usuário que transite entre os meio físico-virtual-físico, sem necessitar se adaptar a formatos e localização de conteúdos diferenciados entre eles.

Foram inseridos na Apostila Eletrônica atributos ou características do recurso multimeios escolhido, a fim de diferenciá-lo da apostila física. Essas características dividiram-se entre Globais e Especiais. As características globais inseridas são: **Atalhos** (*links*), **Índices** (*bookmarks* e *thumbnails*), **Anotações** (*Notes*) e **Direcionador de texto** (*Article*). Já as características especiais apresentaram-se das seguintes formas: como vínculos entre a Apostila Eletrônica e outros arquivos e para detalhar elementos gráficos pela função *zoom*.

A avaliação do presente trabalho, foi realizada por um estudo de caso, cujo objetivo foi aplicar em um ambiente prático a Apostila Eletrônica. Essa aplicação ocorreu no curso de Pós-Graduação de Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na disciplina de Projeto de Experimentos. A avaliação foi realizada pelo emprego de um questionário, encontrado no Anexo I.

Os resultados observados (Anexo II), evidenciaram alguns aspectos importantes, com relação aos objetivos contidos neste trabalho. Com respeito às questões objetivas elaboradas, estas conduziram à discussão de dois pontos: (1) questões relacionadas à avaliação da Apostila; (2) questões relacionadas ao aluno/usuário. Questões dissertativas foram aplicadas, visando coletar impressões subjetivas dos alunos/usuários, a fim serem tabuladas e analisadas.

Os resultados relevantes relacionados aos alunos vinculam-se principalmente a dois questionamentos efetuados: quanto à utilização da apostila como auxiliar nos estudos extra-classe (*auxílio nos estudos*) e quanto ao conhecimento anterior sobre o assunto discutido na disciplina (*conhecimento anterior em PE*). As análises realizadas evidenciaram que esses dois quesitos foram pontuados de forma insatisfatória, com grau aproximadamente 2, sobre 5 pontos possíveis.

Essa pontuação conduziu a não aceitação da ferramenta multimeios como auxiliar ao aprendizado de projeto de experimentos. Entretanto, algumas justificativas descritas pelos alunos, esclarecem a questão relacionada ao *auxílio nos estudos*. Para que houvesse uma ampliação da utilização da Apostila, esta deveria receber melhoramentos, relativos a algumas sugestões. Essas sugestões, extraídas das questões dissertativas, apontaram para os seguintes pontos de melhoria: **portabilidade**, ou potencialização do uso da Apostila Eletrônica em qualquer lugar; **interatividade**, ou aumento nas características de apoio à compreensão e estudo, como exercícios e exemplos; **facilidade de utilização**, ou maior e melhor utilização de ferramentas multimeios em outras disciplinas, aumentando a compreensão e funcionalidade de Apostilas Eletrônicas. Esses pontos oportunizariam uma melhor utilização da Apostila, aumentando seu caráter de auxiliar aos estudos extra-classe.

A avaliação geral da Apostila, apresentou uma pontuação positiva (aproximadamente 4 sobre 5), mesmo tendo sido demeritada sua utilização como *auxiliar nos estudos*. Pontos de avaliação como *aspecto visual* e *impressão geral* apresentaram, respectivamente, pontuação 4,26 e 3,94. Outras questões que desdobravam *impressão geral*, como *qualidade dos exercícios* e *dos exemplos*, *facilidade de navegação* e *conteúdo*, pontuaram acima de 3,5. O que pode ser destacado nessa avaliação, foram as correlações encontradas, que aponta para o foco das melhorias futuras que devem ser incorporadas.

Conclui-se assim que, uma ferramenta de auxílio ao aprendizado possui um espaço importante no futuro do ensino da técnica de Projeto de Experimentos, porém aprimoramentos devem ser efetuados. Esses aprimoramentos devem ser tanto meramente estético e funcional (aspecto visual e navegação, respectivamente), quanto relacionado ao emprego de um meio de difusão mais flexível que o computador de mesa ou mesmo portáteis.

5.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Alguns trabalhos deveriam ser realizados, para ampliar a utilização de ferramentas para o auxílio ao aprendizado, bem como de difusão das técnicas relacionadas ao Projeto de Experimentos. São eles:

- Implementar a Apostila Eletrônica como ferramenta de auxílio ao aprendizado, aperfeiçoando-a, tendo como base a realização de uma pesquisa mais ampla, com

relação a apresentação gráfica multimeios, bem como os apontamentos feitos no presente trabalho pelos alunos. Essa implementação enquadra-se no estágio de Lançamento proposto no subitem 3.1, Desenvolvimento de Produtos.;

- Elaborar um estudo mais amplo, comparando métodos tradicionais de ensino meramente expositivos, como métodos mais interativos, participativos, e que requisitassem dos alunos a realização de experimentos reais, avaliando os resultados.;
- Desenvolver um aplicativo voltado ao Planejamento Experimental, que realizasse um mapeamento conjuntamente como os usuários das características do cenário experimental, oportunizando uma melhor compreensão da tarefa da experimentação. Testar e validar o aplicativo em questão.;
- Desenvolver uma abordagem de inserção das técnicas experimentais no ambiente de micro e pequenas empresas, minimizando o senso comum, de que lugar de pesquisa e experimentação são as grandes empresas e centros de pesquisa acadêmica.;
- Desenvolver uma abordagem experimental para ambientes industriais dotados com a Técnica da Manufatura Sincronizada, utilizando-se dos recursos da mesma para planejar e executar experimentos sem interferir nos períodos de produção, aproveitando a ociosidade de equipamentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOBE USER EDUCATION. **Index.PDF**. 1996. CD-ROM, Adobe Acrobat Reader 3.0.

ADOBE USER EDUCATION. **Pdfwritr.PDF**. 1996. CD-ROM, Adobe Acrobat Reader 3.0.

ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. **ACROBAT 3.0**. Residente no disco rígido. Aplicativo executável. Sistema operacional Windows 95.

AKAO, YOJI. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**. Belo Horizonte, Brasil: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. 1996. 187 p.

ALMEIDA, T. L.; GOMES, L. V. N. Aplicações de Estatística Multivariada na Qualidade em Sala de Aula. *In: Anais ENEGEP 97*. CD-ROM, Adobe Acrobat Reader, 1997.

BARTON, R. R. *Design-Plots for Factorial and Fractional-Factorial Designs*. *Journal of Quality Technology*. January, v. 30, n. 1, 1998. p. 40 - 54.

BEMOWSKI, K. *The Quality Glossary*. *Quality Progress*. February, 1992, p. 20- 29.

BISGAARD, S. *The Early Years of Designed Experiments in Industry: Case Study References and Some Historical Anecdotes*. *Quality Engineering*. v. 4, n. 4, 1992, pp. 547-562.

BISGAARD, S. *The Importance of Graphics in Problem Solving and Detective Work*. *Quality Engineering*. v. 9, n. 1, 1996-1997, pp. 157-162.

BLACK, M. *New Life for Old Tools*. *Industrial Engineering*. November, 1993, p. 61 - 63.

BORBA, G. S. **Desenvolvimento de uma abordagem para a inserção da simulação no setor hospitalar de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1998. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BOX, G. *Must We Randomize Our Experiments?* *Quality Engineering*. v. 2, n. 4, 1990a, pp. 497-502.

- BOX, G. *Do Interactions Matter?*. **Quality Engineering**. v. 2, n. 3, 1990b, pp. 365-369.
- BOX, G. *Scientific Statistics, Teaching, Learning and the Computer*. **CQPI Reports**. n. 146, June, 1996. 7 p.
- BOX, G. *Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations*. **Technometrics**. February, v. 30, n. 1, 1988, p. 1 - 40.
- BRAGG, GORDON M. **Principles of Experimentation and Measurement**. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall, Inc. 1974.
- BAUER, M. Vem aí o Livro 2.0 - Antena Digital. **InfoExame**. n. 149, Agosto, 1998, p. 18 - 19.
- BURNHAM, R. *A Better Way to Design Experiments*. **Machine Design**. v. 18, April, 1996, p. 106 - 109.
- BURNS, A. *Multimedia as a Quality Solution*. **Quality Progress**. February, 1997, p. 51 - 54.
- CATEN, C. S. **Método de otimização de produtos e processos medidos por múltiplas características de qualidade**. Porto Alegre, 1995. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CHATFIELD, C. **Statistic for Technology - A course in Applied Statistics**. 2nd ed. London: Chapman and Hall. 1978.
- CLEMENTS, RICHARD B. **The Experimenters Companion - A guide and reference to the aspects of research and experimentation**. Milwaukee, WI: ASQC Quality Press. 1991.
- COCHRAN, WILLIAM G.; COX, GERTRUDE M. **Experimental Design**. 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1960. 611 p.
- COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment*. **Technometrics**. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 1 - 12.

COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. Technometrics*. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 25 - 27.

CUSIMANO, J. *Understanding and Using Design of Experiments. Quality*. April, 1996, p. 78-86.

DICKSON, P. *Marketing Management*. 2nd edition. Fort Worth. The Dryden Press, 1997.

ECHEVESTE, M. E. **Planejamento da otimização experimental de processos industriais**. Porto Alegre, 1997. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Exame. Indicadores - Os Números Globais. **Exame/The Economist**. ed. 704, n. 26, Dezembro. 1999. p. 150 - 166.

GAUDARD, M.; SCHOOF, J.; PATERNO, J. J. *Small Companies Learn How to Design in Quality. Quality Progress*. February, 1996, p. 51 - 56.

GOLDRATT, E. M. **Mais que sorte: ... um processo de raciocínio**. Educator Editora: São Paulo. 1994.

GUNTER, B. H. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. Technometrics*. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 13- 14.

GUTTMAN, IRWIN; HUNTER, J. STUART; WILKS, S. S. **Introductory Engineering Statistics**. 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1971. 549 p.

HAALAND, P. D.; O'CONNELL, M. A. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. Technometrics*. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 18 - 20.

HAHN, G. J. *Some Things Engineers Should Know About Experimental Desing. Journal of Quality Technology*. v. 9, n. 1, January, 1977, p. 13 - 20.

HAHN. G. J. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. Technometrics*. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 15 - 16.

- HARTLEY, J. R. *Concurrent Engineering: Shortening Lead Timesraising Quality, and Lowering Costs* . Cambridge, MA: Productivity Press, 1992.
- HICKMAN, A. *The Electronic Book Club. PC Magazine Online*. June 24, 1998, 2 p
- HICKS, C. R. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. 4th Edition, New York. Saunders College Publishing, 1993, 509 p.
- HOADLEY, A. B.; KETTENRING, J. R. *Communications Between Statisticians and Engineers/Physical Scientists. Technometrics*. v. 32, v. 3, 1990, p. 243 - 247.
- HOCKMAN, K.; BERENGUT, D.. *Design of Experiments. Chemical Engineering*. November, 1995, p. 142 - 147.
- IIDA, ITIRO. **Pequena e média empresa no Japão**. 2 ed., São Paulo, Brasil: Editora Brasiliense, 1984. 278 p.
- ISHIKAWA, KAORU. **TQC, Total Quality Control: estratégia e administração da qualidade**. São Paulo, Brasil: IMC Internacional Sistemas Educativos. 1986.
- KEEVES, J. P. *A Lexicon and Concordance of Terms Used in Statistics and Empirical Research in Education*. Disponível na Internet. <http://sparc10.fmi.uni-sofia.bg/Lexicon/lexicon.htm>. 04/02/2000.
- DELTA GROUP. *Glossary of Quality-related Terms*. Disponível na Internet. <http://www.deltagr.com/glossary.htm>. 19/04/2000.
- KISCHNER, S. K. *Diary of an Online Reader : An Electronic Book Creates Space - and Peace - at Home. Popular Science*. _____, 1999, 3 p.
- KNOWLTON, J.; KEPPINGER, R. *The Experimentation Process. Quality Progress*. February, 1993, p. 43 - 47.
- LAPIN, LAWRENCE L. *Probability and Statistic for Modern Engineering*. 2nd ed. Boston: PWS-KENT. 1990.

- LEON, R. V.; SHOEMAKER, A. C.; TSUI, K. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. Technometrics*. February, v. 35, n. 1, 1993, p. 21 - 24.
- LIPSON, CHARLES; SHETH, NARENDRA J. *Statistical Design and Analysis of Experiments*. New York: McGraw-Hill Book Company. 1973. 518 p.
- LUFT, C. P.; et al. **Novo manual de português**. 13 ed. São Paulo, Brasil: Editora Globo, 1990. 845 p.
- MARASH, A. *Du Pont's Quality Improvements Steward. Quality*. August, 1992, p. 26 - 27.
- MARTINS, I. A destruição criativa chegou às fábricas. 1995. *In: Exame - A enciclopédia de negócios dos anos 90*. CD-ROM. 1997.
- MELO, R. Admirável (e duro) mundo novo. 1994. *In: Exame - A enciclopédia de negócios dos anos 90*. CD-ROM. 1997.
- MENDENHALL, WILLIAM. *Introduction to Linear Models and the Design and Analysis of Experiments*. Belmont, CA.: Wadsworth Publishing Company, Inc. 1968. 465 p.
- MICROSOFT. **Microsoft Excel 97**. Brasil. Residente no disco rígido. Aplicativo executável. Sistema operacional Windows 95.
- MILLER, IRWIN; FREUND, JOHN E. *Probability and Statistics for Engineers*. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall, Inc. 1977.
- MINITAB INC. *Meet MINITAB - Release 12*. State College, PA.: MINITAB INC. 1997.
- MINITAB INC. **MINITAB**. State College, PA. CD-ROM. Aplicativo Executável. Demo. Sistema operacional Windows 95.
- MONTGOMERY, D. C. *The Use of Statistical Process Control and Design of Experiments in Product and Process Improvement. IIE Transactions*. November, v. 24, n. 5, 1992, p. 4 - 17.

- MONTGOMERY, DOUGLAS C. *Design and Analysis of Experiments*. 3rd Ed. New York: John Wiley & Sons. 1991. 649 p.
- NANNI, L. F.; RIBEIRO; J. L. D. **Planejamento e avaliação de experimentos**. Porto Alegre, Brasil. Caderno de engenharia. CPGEC/UFRGS. 1987. 228 p.
- OPÇÃO INFORMÁTICA. **DIC - Dicionário Eletrônico & Michaelis Soft 1.2**. Belo Horizonte, MG, Brasil. Residente no disco rígido. Aplicativo executável. Sistema operacional Windows 95.
- OLIVEIRA, N. M.; PONTES R. B. **Normas para referência bibliográfica de documentos convencionais e eletrônicos**. Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, Brasil: FPE, 1998. 48 p.
- PARKER, K. *Advanced Stats for Manufacturing: Beyond SPC. Manufacturing Systems*. June, 1993, p. 32 - 37.
- PASA, G. S. **Método de Otimização Experimental de Formulações**. Porto Alegre, 1996. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PENG, K. C. *The Design and Analysis of Scientific Experiments*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company. 1967. 252 p.
- ROESCH, S. M. A. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**. 2ª Edição. São Paulo, Brasil: Editora Atlas. 1999. 301 p.
- REGIS, L. *Driving Quality Up and Cycle Time Down with Desing of Experiments. Industrial Engineering*. February, 1993, p. 54 - 58.
- RIBEIRO, J. L. D. **Projeto de experimentos na otimização de produtos e processos**. Porto Alegre, Brasil. Notas de aula. PPGEU/UFRGS. 1996.
- ROSS, PHILLIP J. **Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia da qualidade**. 1 ed.. São Paulo, Brasil: Makron, McGraw-Hill. 1991, 333 p.

SARIN, S. *Teaching Taguchi's Approach to Parameter Design*. **Quality Progress**. May, 1997, p. 102- 106.

SCHEFFÉ, H. *The Analysis of Variance*. New York, NY: Wiley, 1959.

SCHIMIDT, S.; CASE, K. *Communicating Design of Experiments (DOE) to Non-Statisticians*. Disponível na Internet. <http://www.airacad.com/comdoe.htm>. 25/06/1998.

SCHULZ, H. *The Change in the Automotive Industry - A Comparison Between Europe, USA, Japan*. **Produção**. Julho. v. 7, n. 1, 1997, p. 57 - 67.

SILVERMAN, L. L.; PROPST, A. L. *Quality Today: Recognizing the Critical Shift*. **Quality Progress**. February, 1999, p. 53 - 60.

SMALL, D. *Navigating Large Bodies of Text*. **IBM Systems Journal**. v. 35, n. 3/4, 1996, p. 515 - 525.

Special Advertising Section. *Software Showcase Directory*. **Quality Progress**. January, 2000, p. 95 - 105.

STATISTICAL GRAPHICS CORP. *STATGRAPHICS Plus for Windows Version 2.1*. USA. Disketes 3.5". Aplicativo executável. Sistema operacional Windows 95.

STATPOINT, LLC. *Glossary of Terms*. Disponível na Internet. <http://www.statlets.com/usermanual/glossary.htm>. 04/02/2000.

STATSOFT. *Technical Description*. Disponível na Internet. <http://www.statsoft.com/toc.html>. 04/02/2000.

TAY, K.; BUTLER, C. *Methodologies for Experimental Design: A Survey, Comparison, and Future Predictions*. **Quality Engineering**. v. 11, n. 3, 1999, p. 343 - 356.

THOMAS, L.; KREBS, C. J. *A Review Of Statistical Power Analysis Software*. Disponível na Internet. <http://sustain.forestry.ubc.ca/cacb/power/review/powrev.html>. 04/02/2000.

- USREY, M. W.; DOOLEY, K. J. *The Dimensions of Software Quality*. **Quality Management Journal**. v. 3, n. 3, 1996, p. 67 - 86.
- VICK JUNIOR, J. E. *Design of Experiments and the Waste of Subjectivity*. **Industrial Engineering**. November, 1992, p. 58 - 61.
- WATANABE, M.; PETIT, T. A poeira erguida pelas carroças ainda não baixou. 1990. In: **Exame - A enciclopédia de negócios dos anos 90**. CD-ROM. 1997.
- WEINMAN, LYNDA. **Designing Web Graphics**. Indianapolis, IN.: New Riders Publishing. 1996. 258p.
- WERKEMA, M. C. Planejamento e análise de experimentos. Brasil: Editora FCO / Escola de Engenharia de UFMG. 1996.
- WILDSTROM, S. H. *A New Chapter for E-Books*. **BusinessWeek**. November 2, 1998, 2 p.
- WOODING, W. M. *The Split-Plot Design*. **Journal of Quality Technology**. January, v. 5, n. 1, 1973, p. 16 - 33.
- YATES, F. *The Analysis of Replicated Experiments When the Field Results are Incomplete*. **Emp. Jour. Exp. Agr.** 1, 129 - 142, 1933.

ANEXO I
QUESTIONÁRIO

Questionário elaborado por Timóteo Kühn e Fábio Leitão (1998), para ser utilizado na Avaliação da Apostila Eletrônica.

PPGEP - AVALIAÇÃO DA APOSTILA ELETRÔNICA/PAE

Por favor, responda a cada uma das seguintes questões com conceitos de 1 (pior possível) a 5 (melhor possível). A seguir, para cada uma, anote suas sugestões de mudanças ou o que está bom e não deve mudar.

1. Como está o aspecto visual?

excelente médio péssimo



5 4 3 2 1

2. Como está a navegação?

excelente média péssima



5 4 3 2 1

3. Como está o conteúdo?

excelente médio péssimo



5 4 3 2 1

4. Como estão os exemplos?

excelentes médios péssimos



5 4 3 2 1

5. Como estão os exercícios?

excelentes médios péssimos



5 4 3 2 1

6. Qual foi sua impressão geral da apostila eletrônica?

excelente média péssima



5 4 3 2 1

7. Você utiliza computadores em suas atividades diárias (trabalho/estudo/lazer)? Onde?

sempre às vezes nunca



5 4 3 2 1

8. De que forma a apostila eletrônica auxiliou seus estudos extra-classe?

muito razoável nada



5 4 3 2 1

9. Na sua opinião, o conteúdo da disciplina é aplicável em sua área de interesse? Por favor, informe sua área de interesse (trabalho, mestrado, etc).

muito razoável nada



5 4 3 2 1

10. Qual o seu conhecimento anterior sobre o assunto discutido nesta disciplina?

profundo médio nenhum



5 4 3 2 1

11. Se a apostila possibilitasse endereços na Internet sobre o conteúdo (atualizações) e/ou exercícios e estudos de caso adicionais, você os acessaria? Se não, porquê?

sim talvez não



5 4 3 2 1

Para as questões a seguir, responda sim ou não e, se possível, acrescente comentários:

1. Caso a apostila eletrônica fosse aprimorada, você acredita que ela poderia substituir a apostila em papel?

2. Alguma sugestão de melhoria para a apostila eletrônica? Qual?

ANEXO II
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO

Questões Questionários	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total Questões
1	4	3	5	5	5	4	5	1	5	1	5	11
2	4	4	5	4	5	4	5	1	5	4	5	11
3	3	3	4	4	4	3	5	1	2	3	3	11
4	5	5	5	4	4	5	4	5	5	2	5	11
5	4	2	3	4	4	4	5	1	5	2	5	11
6	4	4	4	4	4	4	3	3	4	2	4	11
7	5	4	4	4	3	4	4	3	5	2	4	11
8	5	4	4	3	4	4	4	4	5	2	5	11
9	4	4	4	4	4	4	5	1	3	4	5	11
10	4	3	3	4	3	4	5	3	3	1	5	11
11	4	3	3	2	2	4	5	1	5	1	5	11
12	4	4	4	4	4	4	4	1	3	1	5	11
13	4	4	4	3	4	3	5	2	3	3	5	11
14	4	4	3	4	4	2	4	1	4	3	5	11
15	4	4	3	3	4	4	5	1	4	1	5	11
16	4	4	4	3	3	5	5	3	3	1	5	11
17	4	3	4	4	4	4	5	3	4	1	5	11
18	4	2	4	3	3	4	4	1	5	3	3	11
19	4	2	4	3	3	3	5	1	2	3	5	11
20	4	5	3	3	3	3	5	1	5	4	5	11
21	5	5	3	4	5	5	5	1	5	2	5	11
22	5	5	3	4	4	5	5	5	5	1	5	11
23	5	4	4	4	4	4	4	1		2	5	10
24	5	5	3	3	3	4	5	1	2	2	5	11
25	5	3	5	4	4	4	5		5	3	5	10
26	4	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	11
27	4	5	4	3	3	3	5	3	4	1	5	11
28	4	5	3	4	4	4	4	3	4	2	4	11
29	4					4	5	1	4	1		6
30	4	3	3	4	4	4	4	1	4		5	10
31	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	11
Total Questões	31	30	30	30	30	31	31	30	30	30	30	333
Somatório	132	115	115	110	113	122	144	63	123	65	143	
Média	4,26	3,83	3,83	3,67	3,77	3,94	4,65	2,10	4,10	2,17	4,77	
Desvio	0,51	0,95	0,75	0,61	0,68	0,68	0,55	1,42	1,03	1,05	0,57	

Questões Dissertativas

1. Caso a apostila eletrônica fosse aprimorada, você acredita que ela poderia substituir a apostila em papel?

1	Não, ela pode ser um complemento mas mesmo quem mexe sempre com computador prefere estudar lendo em papel
2	Sim.
3	Não, porque é muito mais fácil estudar (interagir) com a apostila de papel. Só utilizaria a apostila eletrônica caso ela fosse enriquecida com conteúdo relevantes e diferenciados da apostila de papel.
4	Sim, o acesso é mais rápido.
5	Sim, desde que estivesse a disposição p/ todos no começo do semestre.
6	Depende das possibilidades de acesso ao PC que se tenha.
7	Sim. Só que neste caso, nós teríamos que ter a possibilidade de tê-la em disquete.
8	Não. Ela serve como complemento.
9	Não, somente quando houverem computadores realmente portáteis.
10	Não.
11	Não. É melhor ler no papel do que na tela.
12	Não, porque a apostila em papel é mais dinâmica, podendo ser levada facilmente para qualquer lugar de estudo.
13	Com certeza é mais cômodo termos a apostila em papel, pois não podemos levar o "micro" a qualquer parte. Apostila eletrônica deve auxiliar, mas não substituir.
14	Não.
15	Sim, totalmente!!
16	Sim.
17	Sim.
18	Sim.
19	Não, pois tem alunos que têm dificuldades p/ acessar.
20	Não, porque é mais prático estudar com a apostila em papel.
21	Sim, só que todos devem ter a versão do programa atualizada para poder rodar o programa em casa.
22	Sim.
23	Sim, mas não gostaria. Não gosto de estudar na tela do computador.
24	Sim, pois além da economia que haveria com matéria-prima do papel, seria menos polígrafos a serem carregados e acumulados em casa.
25	Não, uma complementa a outra (Internet possibilita isso).
26	Sim.
27	Não, pois é melhor ter ao menos a apostila impressa.
28	Sim, seria mais prático.
29	Não. Porque é mais demorado p/ tomar anotações.
30	Não, devido ao manuseio e acesso.
31	Sem dúvida. Entretanto há necessidade de se ter computador em casa.

2. Alguma sugestão de melhoria para a apostila eletrônica? Qual?

1.	Não
2.	
3.	Melhorar o aspecto visual dela com enriquecimento através de um conteúdo mais interativo.
4.	
5.	
6.	Não.
7.	Não.
8.	Explicitar mais alguns índices utilizados na nomenclatura.
9.	Não.
10.	Sim, possibilitar o arquivamento dos trabalhos realizados.
11.	Mais exemplos, mais explicações, mais teoria.
12.	
13.	Colocar mais exemplos, diferenciados da apostila impressa.
14.	
15.	Melhorar a qualidade dos Help. Detalhe de informações dos textos.
16.	Não.
17.	Não. Apenas deveria estar na Internet.
18.	Não.
19.	
20.	Não.
21.	Sim, poderia ter comentários com a bibliografia dos livros que melhor expliquem os conceitos básicos estudados naquele tópico.
22.	Correção dos erros.
23.	
24.	
25.	
26.	
27.	
28.	Introdução de um número maior de exemplos e exercícios, se possível exemplos sobre todos os tópicos tratados.
29.	
30.	
31.	Há necessidade (talvez) de uma lista de exercícios resolvidos.

ANEXO III
CÁLCULOS AUXILIARES

Cálculos Auxiliares

Relacionado à avaliação da Apostila Eletrônica (Questões 1 até 6 do Questionário - Anexo I)

Tabela ANOVA

Análise de Variância

Fonte	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrada	razão F	Valor P
Entre Grupo	6,4038	5	1,28076	2,56	0,0292
Dentro Grupo	88,1731	176	0,500984		
Total (Corr.)	94,5769	181			

StatAdvisor

A tabela ANOVA decompõe a variância dos dados em dois componentes: o componente entre-grupo e o componente dentro-grupo. A razão F que neste caso é igual a 2,55649, é a razão entre a estimativa entre-grupo e a estimativa dentro-grupo. Já que o valor P e o teste F são menores que 0,05, existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das 6 variáveis, com um nível de confiança de 95,0%. Para determinar quais médias são significativamente diferentes, utiliza-se o Teste Múltiplo de Médias.

Teste Múltiplo de Médias

Método: Duncan 95,0 %

	Contador	Média	Grupos Homogêneos
Col_4	30	3,66667	X
Col_5	30	3,76667	X
Col_3	30	3,83333	X
Col_2	30	3,83333	X
Col_6	31	3,93548	XX
Col_1	31	4,25806	X

Contraste

Diferença

Col_1 - Col_2	*0,424731
Col_1 - Col_3	*0,424731
Col_1 - Col_4	*0,591398
Col_1 - Col_5	*0,491398
Col_1 - Col_6	0,322581
Col_2 - Col_3	0,0
Col_2 - Col_4	0,166667
Col_2 - Col_5	0,0666667
Col_2 - Col_6	-0,102151
Col_3 - Col_4	0,166667
Col_3 - Col_5	0,0666667

Col_3 - Col_6	-0,102151
Col_4 - Col_5	-0,1
Col_4 - Col_6	-0,268817
Col_5 - Col_6	-0,168817

 * denota uma diferença estatisticamente significativa.

Relacionado à avaliação da Aluno/usuário (Questões 7 até 11 do Questionário - Anexo I)

Tabela ANOVA

Análise de Variância

Fonte	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrada	razão <i>F</i>	Valor <i>P</i>
Entre Grupo	211,122	4	52,7806	55,03	0,0000
Dentro Grupo	140,03	146	0,95911		
Total (Corr.)	351,152	150			

The StatAdvisor

 A tabela ANOVA decompõe a variância dos dados em dois componentes: o componente entre-grupo e o componente dentro-grupo. A razão *F* que neste caso é igual a 55,0307, é a razão entre a estimativa entre-grupo e a estimativa dentro-grupo. Já que o valor *P* e o teste *F* são menores que 0,05, existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das 6 variáveis, com um nível de confiança de 95,0%. Para determinar quais médias são significativamente diferentes, utiliza-se o Teste Múltiplo de Médias.

Teste Múltiplo de Médias

 Método: Duncan 95,0 %

	Contador	Média	Grupos Homogêneos
Col_8	30	2,1	X
Col_10	30	2,16667	X
Col_9	30	4,1	X
Col_7	31	4,64516	X
Col_11	30	4,76667	X

Contraste

	Diferença
Col_10 - Col_11	*-2,6
Col_10 - Col_7	*-2,47849
Col_10 - Col_8	0,0666667
Col_10 - Col_9	*-1,93333
Col_11 - Col_7	0,121505
Col_11 - Col_8	*2,66667

Col_11 - Col_9	*0,666667
Col_7 - Col_8	*2,54516
Col_7 - Col_9	*0,545161
Col_8 - Col_9	*-2,0

* denota uma diferença estatisticamente significativa.

ANEXO IV
LISTA DE *SITES* RELACIONADOS

Extraído de Leitão (1999), disponível na Internet, <http://www.logic.com.br/~fbl>

Clauson (1999), na seção CYBERQUALITY, do periódico mensal *Quality Progress*, publicou eletronicamente em Setembro, 1999, uma listagem de *links* intitulada "Utilizando a Internet para o entendimento de projeto de experimentos".

Esta listagem é reproduzida a seguir, traduzida e com os *links* respectivos ativos, ou seja, os *sites* associados podem ser acessados com um simples *click* do *mouse*.

"Livro Virtual " sobre PPAAE

www.ic.polyu.edu.hk/posh97/general/Download/Statistics_textbook/stexdes.html

Este livro virtual é apresentado em uma página *web* única, e inclui pontos-chaves e tabelas e gráficos completos, tornando-o perfeito para um iniciante em PPAAE.

Projeto de Experimentos na Perspectiva da Vantagem Competitiva

mijuno.larc.nasa.gov/dfc/doe.html

Apresenta uma discussão de Edwin B. Dean sobre PPAAE. Outros tópicos incluem tecnologias de engenharia, projetos de avaliação e seu papel nos custos da qualidade.

Vinte Elementos-chaves do Processo de Elaboração de um Produto

www.prosci.com/prp1.htm

Lista de 20 elementos-chaves de um dado processo de elaboração de um produto, muitos dos quais ferramentas relacionadas ao PPAAE.

Escolha em Projeto, Qualquer Projeto

www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/pickadesign.htm

Os autores deste artigo descrevem e comparam diferentes arranjos de PPAAE e o impacto que estes arranjos têm no número de repetições e na amplitude dos fatores.

Ensinando Projetos de Experimentos Utilizando uma Ferramenta de Auxílio e o *software* MINITAB

www.minitab.com/resources/whitepapers/crowder.htm

Este artigo oferece um detalhado estudo de caso sobre a criação de um curriculum de PPAAE e o ensino em um curso sobre o assunto.

MathSoft em Educação

www.mathsoft.com/education

Este *site* é perfeito para qualquer um envolvido em ensino de estatística no segundo grau ou após o segundo grau.

Math Options Inc.

www.mathoptions.com

Math Options oferece um experimento gratuito (você envia-lhes os dados e eles executarão o experimento para você).

Um Iniciante Experimenta um *Software* de Projeto de Experimentos

www.statease.com/PCI1198.html

Rich Burnham, uma pessoa com limitado entendimento de PPAAE, explica o que ele aprendeu sobre o método.

Métodos de Taguchi na Perspectiva da Vantagem Competitiva

mijuno.larc.nasa.gov/dfc/tm.html

Estes *site* compara a utilização dos métodos de Taguchi no Japão e nos EUA, e brevemente discute custos.

A Melhoria de Processos e Produtos com PPAE

www.quality2.com/qi2_doe.htm

Oferece um curso sobre PPAE com ênfase nos métodos de Taguchi.

Download software de Avaliação sobre PPAE da Quality America

www.qa-inc.com/dload-evals.htm

Quality America oferece seu pacote *DOE-PC IV*, para uma avaliação de 30 dias. Este *software* gera projetos de uma lista de diferentes projetos, incluindo Taguchi, Plackett-Burman e compósitos centrais..

Projetos de Plackett-Burman

www.qualitypublishing.com/DOETopics/DOEsware/index.htm

Este é o glossário sobre PPAE da Quality America, no qual são definidos os projetos de Plackett-Burman e Taguchi *ratios*.

Matrizes de Hadamard

www.research.att.com/~njas/hadamard/index.html

A biblioteca de matrizes de Hadamard é um grande recurso quando considera-se projetos de Plackett-Burman.

ANEXO V
APOSTILA ELETRÔNICA

ANEXO VI
ESTRUTURA PARA PLANILHA GUIA E TUTORIAL DE
APRESENTAÇÃO DAS INTERAÇÕES

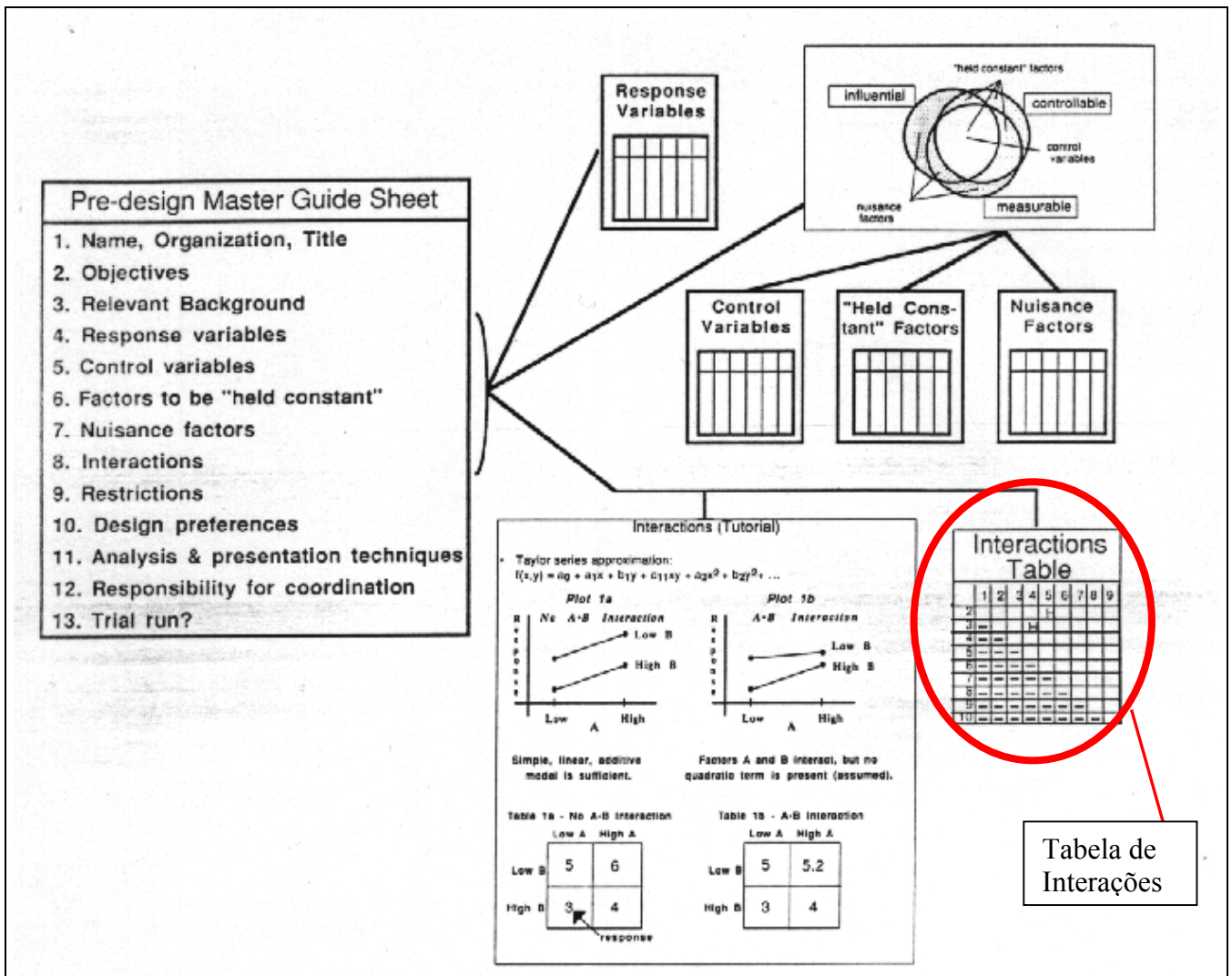


Figura VI.1 - Estrutura para Planilha Guia

(Fonte: Coleman e Montgomery, 1993.)

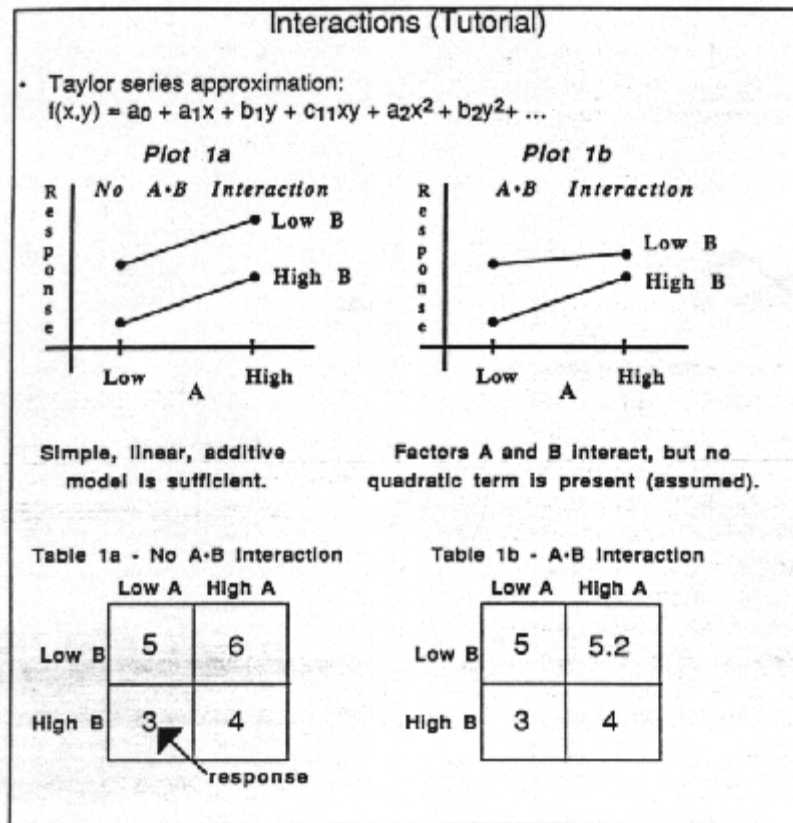


Figura VI.2 - Tutorial de apresentação das interações
 (Fonte: Coleman e Montgomery, 1993.)

ANEXO VII
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

Exercícios extraídos de Planilhas desenvolvidas por Ribeiro e Caten (1998) para auxiliar no acompanhamento dos conteúdos da disciplina de Projeto de Experimentos, e utilizados na Apostila Eletrônica - Anexo V.

Exercício 2.1

Catalisadores			
1	2	3	4
56,7	56,3	53,0	54,4
58,2	55,9	51,2	53,0
57,2	54,5	54,2	51,4
58,4	57,0	53,2	51,5
55,8	55,3		53,3
54,9			
48,89	46,83	42,92	44,60

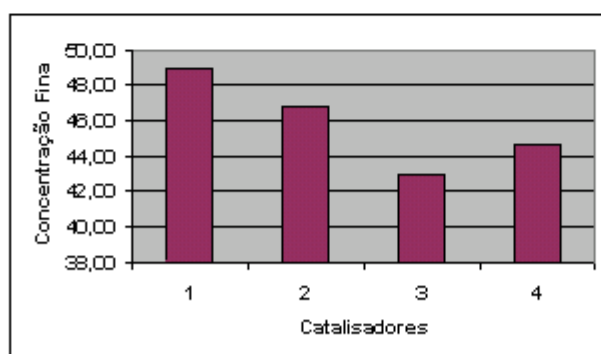
Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
1	6	341,20	56,87	1,85
2	5	279,00	55,80	0,91
3	4	211,60	52,90	1,56
4	5	263,60	52,72	1,62

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	66,68	3	22,23	14,78	0,000071	3,24
Within Groups	24,06	16	1,50			
Total	90,74	19				



Exercício 2.3

A1	A2	A3
141	132	135
112	115	122
128	98	158
122	121	143
102	108	155
	139	
	126	
121,0	119,9	142,6

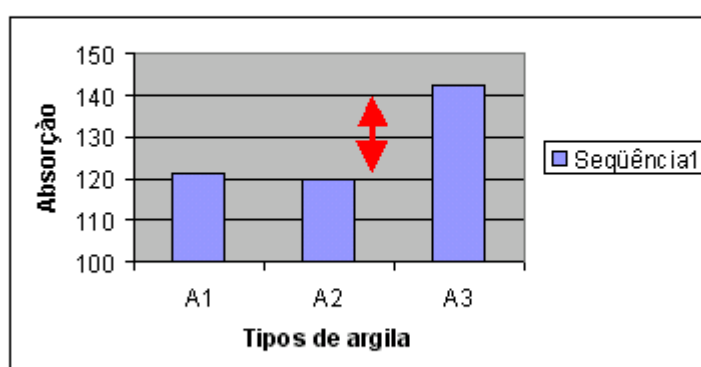
Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
A1	5	605,0	121,0	223,0
A2	7	839,0	119,9	199,1
A3	5	713,0	142,6	218,3

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1753,7	2	876,9	4,15	0,038506	3,74
Within Groups	2960,1	14	211,4			
Total	4713,8	16				



Exercício 3,2

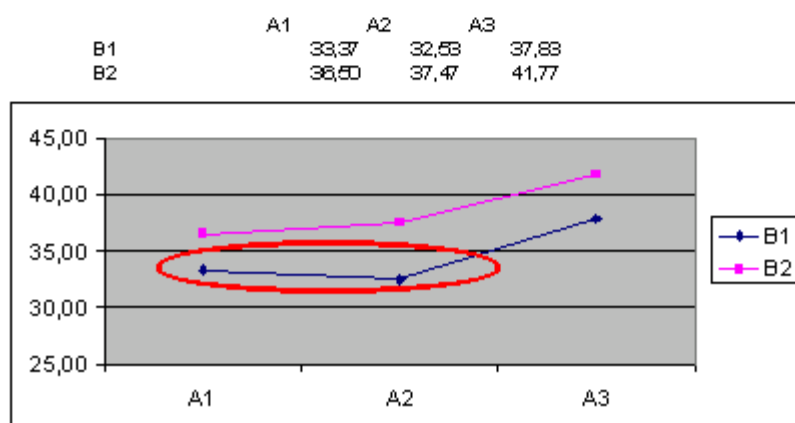
		Máquinas			
		A1	A2	A3	
Velocidades	B1	33,2	32,7	38,3	311,2
		32,6	33,4	38,6	
		34,3	31,5	38,7	
B2		36,6	37,2	39,6	347,2
		35,5	38,6	42,6	
		37,4	36,6	43,1	
		209,6	210,0	238,8	658,4

Anova: Two-Factor With Replication

SUMMARY	A1	A2	A3	Total
B1				
Count	3	3	3	9
Sum	100,10	97,60	113,60	311,20
Average	33,37	32,53	37,88	34,58
Variance	0,74	0,92	1,77	6,95
B2				
Count	3	3	3	9
Sum	109,50	112,40	125,30	347,20
Average	36,50	37,47	41,77	38,58
Variance	0,91	1,05	3,58	7,28
Total				
Count	6	6	6	18
Sum	209,60	210,00	238,80	658,40
Average	34,93	35,00	39,80	36,58
Variance	3,61	8,09	6,78	6,16

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	72,00	1	72,00	48,1	1,58E-05	4,75
Columns	93,46	2	46,73	31,2	1,76E-05	3,89
Interaction	2,44	2	1,22	0,8	0,465895	3,89
Within	17,97	12	1,50			
Total	185,87	17				



Exercício 3.3

Layouts	Operadores			
	A1	A2	A3	
B1	17,4	18,8	16,8	158
	18,3	17,8	15,7	
	18,2	17,5	15,7	
B2	16,8	15,2	15	138,1
	15,5	16,4	13,6	
	15,7	16,2	13,7	
	101,9	101,7	90,5	294,1

Anova: Two Factor With Replication

SUMMARY	A1	A2	A3	Total
B1				
Count	3	3	3	9
Sum	53,90	53,90	48,20	156,00
Average	17,97	17,97	16,07	17,33
Variance	0,24	0,52	0,40	1,19

B2				
Count	3	3	3	9
Sum	48,00	47,80	42,30	138,10
Average	16,00	15,93	14,10	15,34
Variance	0,49	0,41	0,61	1,25

Total				
Count	6	6	6	
Sum	101,90	101,70	90,50	
Average	16,98	16,95	15,08	
Variance	1,45	1,61	1,57	

ANOVA						
Source of Variatk	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Layout	17,80	1	17,80	39,80	3,9E-05	4,75 Signif.
Operadores	14,19	2	7,10	15,87	4,3E-04	3,89 Signif.
Interaction	0,0044	2	0,0022	0,00	1,0E+00	3,89 Não
Within	5,37	12	0,45			
Total	37,36	17				

Layouts	Operadores		
	A1	A2	A3
B1	17,97	17,97	16,07
B2	16,00	15,93	14,10

