Rovilson Mafalda

**EFEITOS DO USO
DE DIFERENTES MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
NO DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE
DE VISUALIZAÇÃO ESPACIAL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia**

**SÃO PAULO
2000**

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Rovilson Mafalda

**EFEITOS DO USO
DE DIFERENTES MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
NO DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE
DE VISUALIZAÇÃO ESPACIAL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia**

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Alexandre Kawano

SÃO PAULO
Setembro de 2000

FICHA CATALOGRÁFICA

Mafalda, Rovilson

Efeitos do uso de diferentes métodos de representação gráfica no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial.

São Paulo, 2000.

74p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Desenho para Engenharia 2. Habilidade de visualização espacial-Desenvolvimento 3. Processos cognitivos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Construção Civil. II. t.

Aos meus pais, e ao meus irmãos
pelo apoio que me deram no decorrer deste trabalho.

Agradecimentos

Agradeço sinceramente ao Prof. Dr. Alexandre Kawano pela orientação deste trabalho, dedicação à minha formação pessoal, amizade e paciência.

Aos Professores, Dr. Cheng Liang Yee e Dr. Marcos M.S.G. Tsuzuki, pelo convívio estimulante e pelos ensinamentos.

Ao Sr. J. Takao Shirahata da empresa Roland DG Brasil pela participação no programa **PARCEIROS DA POLI**, do qual se beneficiou este estudo.

À **FAPESP** - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo por apoiar o autor no Processo nº 97/09825-8, e aos alunos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que participaram voluntariamente dos mini cursos experimentais.

Aos professores João R. D. Petreche, Eduardo Toledo Santos, Sergio Leal Ferreira, Luiz Reynaldo de Azevedo Cardoso, Andrea Piccini e Leonardo R. de Oliveira pelo apoio dado durante o trabalho.

Ao Sr. Henrique e a D. Elza pela acolhida calorosa, ao amigo Marcio e seu irmão Luis (*in momemoriam*) pela amizade, e a D. Lina pela sua grande bondade.

Aos amigos, Edson, Eliza, Cátia, Vinícius e Luiz pelos estímulos e disposição, para discussão de assuntos relativos ao estudo. Ao amigo Ricardo pelo auxílio na preparação de imagens utilizadas na apresentação do exame de qualificação.

À Ana Magda e a Marcia Regina pela ajuda nas correções do texto final, e aos colegas do **LAB CAD** pela convivência estimulante.

À Fátima, Cristina, Alcione, Rogério e a Patricia pela paciência e pronto auxílio nos assuntos relacionados ao **PCC - Departamento de Construção Civil**.

À *Dr^a* Irai Bocatto do **Instituto de Psicologia da USP** pelos preciosos esclarecimentos.

À Ms. Kathy Huckfeldt do Instituto de Genética do Comportamento da Universidade do Colorado pela colaboração na obtenção do teste *MRT*.

Agradeço à Deus pela realização deste trabalho.

Sumário

Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
1 Introdução	1
1.1 Introdução	1
1.1.1 Objetivos do estudo	4
2 Revisão bibliográfica	5
2.1 Introdução	5
2.2 Dificuldades no aprendizado de desenho	6
2.2.1 Aptidão e aprendizagem	9
2.3 Estudos sobre visualização espacial	10
2.4 Melhorias no ensino de desenho	14
2.4.1 Novos recursos	18
2.4.2 Metodologias	19
2.5 Observações gerais	22
3 Representações gráficas e a habilidade de visualização espacial	24
3.1 Introdução	24

3.2	Métodos de representação gráfica	25
3.2.1	Construção e interpretação	27
3.2.2	O processo perceptivo	28
3.2.3	Imagens mentais	31
3.3	Habilidade de visualização espacial	32
3.3.1	rotações mentais	33
3.3.2	Aspectos de desempenho e avaliação	36
3.4	Proposição de estudo	36
4	Planejamento e estudo experimental	38
4.1	Introdução	38
4.2	Mini cursos	39
4.2.1	Atividade (A): Aplicações de desenho técnico	39
4.2.2	Atividade (B): Aplicações de modelos de arame	41
4.2.3	Atividade (C): Aplicações de modelos de sólidos e máquina com comando numérico	43
4.3	Método dos experimentos	46
4.3.1	Instrumentação	47
4.3.2	Condições de Aplicação	49
4.3.3	Hipóteses auxiliares	49
4.4	Condução dos experimentos	50
5	Análise de dados	51
5.1	Introdução	51
5.2	Dados obtidos	52
5.2.1	Totais das atividades e dos períodos	53
5.3	Análise Bayesiana	54
5.3.1	Resumo da análise dos dados	63

6	Discussão e conclusão	64
6.1	Introdução	64
6.2	Discussão	64
6.2.1	Conclusão	66
6.2.2	Limitações para generalização	66
6.3	Considerações finais	66
	Referências bibliográficas	68
A	Máquinas com comando numérico	1
A.1	Introdução	1
A.2	Tipos de controle de usinagem	3
A.3	Parâmetros de usinagem	3
A.4	Peça bruta e fixação	5
A.5	A realização da usinagem	5
B	Resultados dos exercícios	7
B.1	Aplicações de desenho técnico	7
B.2	Aplicações de modelos de arame	9
B.3	Aplicações de modelos de sólidos e máquina com comando numérico .	12
B.4	Recursos utilizados nas atividades	15
C	Análise de dados clássica	16
C.1	Introdução	16
C.2	Quadrados latinos	17
C.3	Análise dos dados	20
C.3.1	Efeitos ajustados	21
C.3.2	Valores esperados e variâncias	22
C.4	Análise de variância	24
C.5	Resumo da análise de dados	28

Lista de Figuras

2.1	Exemplo de questão do teste <i>SPT:I</i> - Reproduzido de MILLER (1992)	11
2.2	Exemplo de questão do teste <i>GZ-Parte V</i> - Reproduzido de SEXTON (1992)	12
2.3	Exemplo de questão do teste <i>PSVT:R</i> - Reproduzido de SORBY; BAARTMANS (1996)	17
2.4	Exemplo de questão do teste <i>MCT</i> - Reproduzido de OHTSUKI et.al (1996)	18
2.5	Sequência de imagens:Simulação de um processo de animação	19
2.6	Hierarquia da aprendizagem visual - Parte I: Estágios primários - Reproduzido de WILEY (1990a)	20
2.7	Hierarquia da aprendizagem visual - Parte II: Estágios secundários - Reproduzido de WILEY (1990a)	20
2.8	Currículo para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial - Reproduzido de WILEY (1990b)	21
3.1	Representações gráficas	27
3.2	Processo perceptivo - Adaptado de MAFALDA; KAWANO (1998)	30
3.3	Níveis perceptuais em relação a um objeto - Reproduzido de MAFALDA; KAWANO (1998a)	30
3.4	Esforços das estruturas cognitivas - Reproduzido de MAFALDA; KAWANO (1998a)	31

3.5	(A) As formas são as mesmas mas diferem de uma rotação de 80° nos planos das figuras; (B) As formas são as mesmas mas diferem de uma rotação de 80° em relação às suas posições no espaço; (C) As formas não são as mesmas. Rep. de SHEPARD; METZLER (1971)	34
4.1	Planta do primeiro pavimento	40
4.2	Planta do segundo pavimento	40
4.3	Lista de exercícios - Reproduzidos de KAWANO et al. (1997)	41
4.4	Aplicação de faces sobre estruturas de arame	42
4.5	Modelo de arame: Extração de informações	42
4.6	Construção de um modelo de uma edificação	43
4.7	Lista de exercícios - Reproduzidos de KAWANO et al. (1997)	43
4.8	Lista de exercícios - Reproduzidos de LUZADDER; DUFF (1993)	44
4.9	Modelamento sólido: Projeto de uma cadeira	45
4.10	Usinagem: Reentrância (a) e trajetória (b)	45
4.11	Representação gráfica de um caminho de corte	45
4.12	Questões do teste <i>MRT</i> : Reproduzido de VANDENBERG; KUSE (1978)	48
5.1	Histograma de distribuição dos dados obtidos	54
5.2	Densidades de probabilidade “a posteriori” dos efeitos principais	62
A.1	Usinagem paralela ao contorno e paralela a uma direção	1
A.2	Máquina com comando numérico: Eixos controláveis	3
A.3	Controle de usinagem $2^1/2D$: Reproduzido de HELD (1991)	4
A.4	Parâmetros de usinagem - programa de comando numérico	4
A.5	Usinagem: Fixação da peça bruta	5
A.6	Exemplos de exercícios: Usinagem de trajetórias	6
B.1	Exemplo 1: vista C	7
B.2	Exemplo 2: vista C	8
B.3	Exemplo 1: vista A	8

B.4	Exemplo 2: vista A	8
B.5	Exemplos: (1)corte A-A; (2) corte B-B	9
B.6	Dados quantitativos	9
B.7	Representação realística(1)	10
B.8	Representação realística(2)	11
B.9	Modelos de arame: Exercícios	11
B.10	Modelo de arames: Aplicação de faces sobre arestas	12
B.11	Dados quantitativos	12
B.12	Maquete construída	13
B.13	Histórico de construção - Programa <i>Microstation SE: Modeler</i>	13
B.14	Modelo de sólido e histórico de construção	14
B.15	Modelo de sólido (1), Esboços de idéias (2) e (3)	15
B.16	Usinagem de trajetórias	15

Lista de Tabelas

4.1	Julgamentos cruzados: Arranjo genérico	47
5.1	Dados obtidos: primeiro grupo experimental - primeira aplicação . . .	52
5.2	Dados obtidos: segundo grupo experimental - primeira aplicação . . .	52
5.3	Dados obtidos: terceiro grupo experimental - primeira aplicação . . .	52
5.4	Dados obtidos: primeiro grupo experimental - segunda aplicação . . .	53
5.5	Dados obtidos: segundo grupo experimental - segunda aplicação . . .	53
5.6	Dados obtidos: terceiro grupo experimental - segunda aplicação . . .	53
5.7	Estatísticas das atividades	54
5.8	Totais dos períodos	54
5.9	Valores esperados dos efeitos das atividades	57
A.1	Parte de um programa CN em formato texto	5
C.1	Blocagem dos dados obtidos nos experimentos	17
C.2	Totais das atividades	20
C.3	Totais das períodos	21
C.4	Totais dos efeitos das atividades	21
C.5	Médias dos efeitos ajustados das atividades	22
C.6	Análise de variância dos desempenhos	27

RESUMO

Neste estudo são avaliadas três atividades com relação à seus efeitos no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Elas são baseadas respectivamente em aplicações de desenho técnico, modelos de arame e modelos de sólidos. Na terceira atividade há também exercícios em que são utilizadas máquinas com comando numérico. A avaliação foi realizada com base em pontuações obtidas por estudantes no teste *MRT*, após a prática das atividades em mini cursos experimentais, os quais foram aplicados segundo o método de planejamento experimental chamado Julgamentos Cruzados, e os dados obtidos, analisados de acordo com um método Bayesiano. Concluiu-se que a atividade em que foram utilizadas aplicações de desenho técnico tem maior potencial para desenvolver a habilidade de visualização espacial, quando comparada com as outras, em que foram utilizadas respectivamente aplicações de modelos de sólidos e de arame.

ABSTRACT

The effects of three pedagogical activities concerning their effects on the development of spatial visualization skills are presented in this study. Those activities are based respectively on the interpretation and generation of technical drawings, wire-frame models, and finally on the generation and interpretation of solid models. In the third activity it has also exercises where numerical controlled machines are used. The activities were applied to a group of under-graduate students in the form of short courses, and the results were measured by MRT testing. The crossover experimental design was used to organize the order of activities and to facilitate the drawing of meaningful conclusions. The statistical analysis was performed according by Bayesian methods. It is concluded that the activity that uses applications of technical drawings has more potential to develop spatial visualization skills.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Introdução

A comunicação gráfica é utilizada em várias atividades de práticas de Engenharia, por exemplo, no desenvolvimento de projetos e no planejamento de processos de produção. Ela se dá por meio de representações gráficas, tais como esboços, desenhos de execução e modelos geométricos, conhecidos genericamente como desenhos. A importância destes meios para estas atividades pode ser compreendida a partir da necessidade que diferentes agentes têm de compartilhar informações como detalhes de formas e especificações de materiais, visando a realização de um produto final.

Representações gráficas são construídas de acordo com determinados métodos que contêm especificações de como elementos geométricos devem ser combinados para formar conjuntos; e também, como estes devem ser manipulados para a interpretação de informações. A principal diferença entre métodos de representação gráfica está relacionada com as características das informações modeladas, as quais induzem representações gráficas também com características diferentes.

Métodos de representação gráfica são aplicados em atividades para descrever ou interpretar informações, e nestes casos os indivíduos o fazem com mais ou menos precisão e velocidade. Os desempenhos obtidos são chamados de níveis de uma ha-

bilidade (PROCTOR;DUTTA,1985). Em geral, manipulações de informações sobre elementos construtivos, são realizadas. Nelas, procedimentos como as rotações mentais são aplicados para verificar como tais elementos estão relacionados em uma determinada posição. Este procedimento e outros, como inverter e transladar imagens mentais a partir de estímulos visuais são características da habilidade de visualização espacial (MARR,1982). No ensino de desenho, atividades que proporcionam o exercício destes procedimentos, são desenvolvidas e aplicadas através do estudo de tópicos como Vistas Ortográficas e Geometria Descritiva, e têm como objetivo geral capacitar os estudantes para a comunicação gráfica, o que os torna aptos à descrever e interpretar informações sobre artefatos, aplicando métodos de representação gráfica.

Muitos estudantes das carreiras de Engenharia e Tecnologia ao iniciarem cursos de desenho, já estão aptos para resolver problemas que exigem certo nível desta habilidade, enquanto outros apresentam dificuldades, por exemplo, quando é necessário compreender projeções de retas. Tais dificuldades são atribuídas a baixos desempenhos desta habilidade, cujas principais causas apontadas são: diferenças de aptidão perceptiva, que se refletem nos diferentes estilos de aprendizado, e a falta de oportunidades adequadas no conjunto das experiências anteriores para desenvolvê-la. Por esses motivos, os tópicos aplicados em disciplinas de desenho, assim como a sua profundidade, podem ser um obstáculo ou fator de desestímulo a eles. Os resultados mais freqüentes disto são: destinar parte das cargas horárias dos cursos à explicação de fundamentos e a criação de disciplinas introdutórias, que são ambas, medidas para nivelamento dos conhecimentos dos estudantes.

Preocupações sobre como desenvolver de modo mais eficiente esta habilidade tem início no final da década de 30, quando foi criado um grupo de trabalho para analisar a precisão e confiabilidade de testes para medir os rendimentos desta habilidade alcançados pelos cursos de desenho (MILLER,1996). A inclusão de atividades baseadas no uso de sistemas computacionais trouxe novamente às discussões o objetivo

e o escopo de disciplinas de desenho, devido principalmente a dois fatores: as possibilidades que o uso deles podem ter para o desenvolvimento desta habilidade e a necessidade de experiência prática no uso de recursos tecnológicos, que é um aspecto do exercício das profissões.

Revistas especializadas como o *Engineering Design Graphics Journal*, eventos como o GRAPHICA (Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho) e o ICECGDG (*International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry*), têm tratado com frequência deste tema. Pode-se observar que, conciliar o desenvolvimento desta habilidade ao uso de recursos computacionais é o principal objetivo a ser alcançado nas disciplinas de desenho. Em muitos trabalhos, têm-se argumentado à favor de métodos de ensino, cuja aplicação pode desenvolver adequadamente nos estudantes esta habilidade. Eles têm sido desenvolvidos a partir da seleção e organização de tópicos dentre os pertinentes à disciplinas de desenho. Como pode ser visto na revisão bibliográfica entretanto, não está claro como cada um deles individualmente, podem contribuir para esta finalidade, o que em sentido geral, é o que se objetiva neste estudo.

De acordo com LÜCK (1995), o termo disciplina é utilizado neste estudo para indicar um conjunto de conhecimentos e o modo como são organizados para promover a aprendizagem. Desenho para Engenharia refere-se a uma modalidade das disciplinas de desenho de carreiras de Engenharia, e cursos às suas aplicações. Ensino de Desenho, refere-se à uma generalização de disciplinas que tem como objetivo o ensino de tópicos relativos à construção e interpretação de representações gráficas. O termo Desenho Técnico refere-se à representações gráficas constituídas por vistas ortográficas e perspectivas, nas quais são utilizados elementos gráficos de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

1.1.1 Objetivos do estudo

São objetivos neste estudo: avaliar três atividades com relação a seus efeitos no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, e a partir dos resultados obtidos discutir a utilização de recursos computacionais gráficos na disciplina Desenho para Engenharia. As atividades são baseadas em aplicações de diferentes métodos de representação gráfica, respectivamente, de desenho técnico, de modelos de arame e de modelos de sólidos. Na última atividade, há também exercícios em que são utilizadas máquinas com comando numérico. As atividades foram desenvolvidas e aplicadas em mini cursos experimentais, e as avaliações realizadas a partir das medidas de desempenho obtidas por estudantes no teste *MRT* (*Mental Rotations Test*).

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

O principal objetivo das disciplinas de desenho desde a década de 40 tem sido desenvolver a habilidade de ler desenhos, isto é, visualizar a forma tridimensional de um objeto a partir de vistas ortográficas. Este também era o modo como era descrita e conceituada a habilidade de visualização espacial (HEACOK,1938) apud (MILLER,1996). Em geral, a necessidade ou o objetivo a ser alcançado pelo desenvolvimento desta habilidade através do ensino de desenho é tornar eficiente a comunicação gráfica.

Com a disponibilidade de sistemas computacionais, e sua aplicação no ensino, devido principalmente a aspectos do exercício de profissões, como experiências práticas no uso de tecnologias, a estrutura de disciplinas de Desenho tem sido modificada, como pode ser visto em várias propostas de currículo, por exemplo nas de JURICIC; BARR (1996) e BARR et al.(1998). Além das facilidades oferecidas neles, para criar e editar representações gráficas, outro aspecto que tem sido enfatizado, por exemplo na proposta de LEACH; MATTHEWS (1992), é que o uso deles possibilita construir e manipular representações gráficas em um ambiente que simula a característica tridimensionalidade, o que a primeira vista exclui a necessidade de interpretação de

objetos a partir de vistas ortográficas. O risco que se assume com a condução do processo de ensino baseado no uso destes sistemas é que os estudantes podem se tornar competentes nestes usos, sem no entanto desenvolver adequadamente a habilidade de mentalmente visualizar objetos em três dimensões (ROSS,1986). O que se observa atualmente, é que mesmo com a utilização de aplicações de métodos de representação gráfica computacionais, um dos objetivos continua a ser o desenvolvimento desta habilidade (MILLER,1991), (DEVON et al.,1994), (LEOPOLD; MULLER, 1998).

Em muitos trabalhos publicados, profissionais de ensino tem argumentado a favor de alguns métodos de ensino, segundo os quais é possível desenvolver esta habilidade, através da seleção de tópicos e sua organização. Entretanto como pode ser visto nos trabalhos revisados não está claro como as aplicações de cada um dos tópicos pode contribuir para este objetivo, o que de maneira geral é o que se objetiva neste estudo. Nesse capítulo é dado ênfase à revisão de trabalhos cuja preocupação seja a busca por evidências sobre influências de métodos e recursos de ensino, no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial.

2.2 Dificuldades no aprendizado de desenho

Várias causas podem contribuir para que os estudantes tenham dificuldades nos cursos de desenho. No aspecto visualização espacial, o conjunto das experiências anteriores, em especial, contém elementos aos quais se pode associar fatores que contribuem para os desempenhos desta habilidade.

DENO (1995) procurou identificar tais fatores, estabelecendo correlações entre os níveis de habilidade dos estudantes ao ingressarem nos cursos de Engenharia com as atividades praticadas por eles durante a infância e a adolescência. O autor realizou um estudo no qual participaram 396 alunos ingressantes, sendo 324 do sexo masculino e 72 do feminino.

Foram utilizados dois instrumentos, o teste *MRT*, desenvolvido por VANDENBERG; KUSE (1978), para avaliar a habilidade de visualização espacial, e o questionário *SEI* (*Spatial Experience Inventory*), desenvolvido pelo autor, para identificar as atividades e posteriormente, sua ordem de importância através de correlações com os resultados obtidos no teste, relacionados com os períodos da vida escolar. O questionário *SEI* é dividido em três grupos de atividades, acadêmicas, não-acadêmicas e esportivas. Os grupos de atividades são relacionados por períodos, que vão do período *Pre-school* até o *Postsecondary*.

Na análise geral dos três grupos de atividades, o que apresentou maior correlação com a habilidade de visualização espacial foi o das atividades não acadêmicas, mas somente para os estudantes. Análises período a período mostraram que: Durante o período *Pre-school* brincar com *legos*, brinquedos de montar, artes e ginásticas organizadas têm correlação para os estudantes, enquanto que para as estudantes atividades visuais como assistir programas de televisão. Durante o período *Elementary school* brincar com *legos*, realizar reparos de bicicletas e outros brinquedos têm correlação somente para os estudantes. Durante o período *Junior high school* reparos de pequenos equipamentos e brincar com conjuntos de montar tem correlação para os estudantes. Para as estudantes, têm correlação brinquedos de montar e andar de automóvel. Neste período, aumenta a frequência com que elas participam de atividades táteis como as brincadeiras de trenzinho, e estas apresentaram correlação. Durante o período *High School* apresentou correlação para os estudantes os conjuntos de montar, jogar xadrez, e atividades esportivas como a prática de arco e flecha e esqui. Para as estudantes os jogos de vídeo. No período *Postsecondary* não é citado nenhuma atividade.

A estas causas evidenciadas pode-se acrescentar outras que fazem parte do conjunto de experiências anteriores, e que colaboram para seu enriquecimento ou empobrecimento, como as expostas por CAMPOS (2000). O autor chama à atenção que as modificações introduzidas pela Lei de Diretrizes e Bases, lei n.º 5692/71, através

do artigo 7º, tornou obrigatório a inclusão da disciplina Educação Artística nos currículos plenos dos 1º e 2º graus, e deixou de tratar o Desenho como disciplina, passando a entendê-lo como tópico relativo ao estudo de Artes e de Matemática. Tópicos relativos à expressão gráfica ficaram vinculados à Educação Artística e os relativos à relações geométricas à Matemática. Nos 25 anos que esta lei esteve em vigor, o ensino de desenho sofreu um processo de desvalorização, para o qual se pode apontar como principais motivos, a fragmentação de seus tópicos entre as duas disciplinas e a falta de formação específica, ou habilitações para os professores, que os capacitasse a tratar o desenho não apenas como uma atividade de caráter lúdico. A estrutura curricular do 2º grau técnico, não foi afetada por esta lei, pois de acordo com a modalidade, há disciplinas curriculares específicas como Desenho Arquitetônico e Desenho Técnico.

FIGUEIREDO (1995), também constatou que um dos motivos que colaboram para as deficiências na habilidade de visualização espacial, é a falta de oportunidades que os estudantes têm para desenvolvê-la, principalmente no segundo grau. A principal dificuldade dos alunos segundo o autor é o entendimento dos procedimentos de visualização espacial, em relação à vistas seccionadas, e das relações entre os elementos do objeto real e sua correspondente representação. Outra dificuldade apontada é na formação mental de imagens de objetos a partir das representações em vistas, o que pode ser visto também como uma consequência da falta de oportunidade para praticar estes procedimentos.

Os fatores que compõem as causas de deficiências na habilidade de visualização espacial, como pôde-se ver, constituem um problema interdisciplinar complexo, e está relacionado com algumas das principais etapas anteriores da formação dos estudantes.

2.2.1 Aptidão e aprendizagem

A primeira pergunta relacionada ao tema habilidade de visualização espacial, em geral tem sido, se tal comportamento pode ser explicado à partir do processo de ensino ou é devido a aptidão dos indivíduos. Vários autores quando fizeram este questionamento, analisaram teorias consagradas da Psicologia, e recentes pesquisas das Neurociências para compreender os mecanismos que possibilitam aos indivíduos interpretar e criar representações gráficas de objetos.

CARVALHO (1994), fez análises do processo de visualização de vistas ortográficas, recorrendo a conceitos da teoria Gestalt, e concluiu que esta habilidade é passível de ser desenvolvida de acordo com métodos de ensino, mas que isto depende do nível de aptidão, que varia de indivíduo para indivíduo. O princípio geral desta teoria é que as partes nunca proporcionam uma compreensão real do todo, que é associada à organização em padrões e configurações, com base em regras de agrupamento tais como proximidade, similaridades e continuações. Por exemplo, uma fotografia que é constituída por inúmeros pontos espalhados numa folha de papel. Nenhum deles isoladamente, pode nos dizer coisa alguma sobre o que está fotografado. Apenas quando tomamos a foto na sua totalidade é que percebemos o seu significado.

Embora MONTENEGRO (1994) reconheça que as habilidades se desenvolvem à medida de seu uso e necessidades, a hereditariedade também esta associada ao comportamento, mas não foi possível ainda quantificar as respectivas parcelas. Segundo o autor os testes para avaliação de habilidades possuem grande valor, mas chama a atenção para o fato de não se conseguiu estabelecer nenhuma relação entre seus resultados e desempenho profissional e até mesmo com o processo criativo. O autor afirma que a dificuldade fundamental no aprendizado da geometria está em se começar com abstrações, sem nenhuma ligação com o mundo real. Ele enfatiza que o processo natural de aprendizagem vai da utilização de situações concretas para as abstratas.

RODRIGUES (1994) analisou alguns trabalhos da área de psicologia, e a terminou reconhecendo que alguns indivíduos possuem mais ou menos aptidão, mas dá mais ênfase ao fato de que o desenvolvimento desta habilidade pode ser conseguido pela aplicação de métodos adequados de ensino.

As observações e conclusões de que esta habilidade não é inteiramente explicada por um ou outro fator isoladamente estão de acordo com análises conjuntas das principais teorias de aprendizagem, o que poder ser visto em PIATELLI-PALMARINI (1986). Uma visão geral sobre teorias relacionadas à aprendizagem podem ser encontradas em várias referências como GARDNER (1995) e POZO (1998).

2.3 Estudos sobre visualização espacial

O tema desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, possui vários aspectos, o pode ser visto pelos diferentes enfoques com os quais este tem sido tratado. Entre eles, o das diferenças de aptidão perceptiva, trata um dos principais aspectos do aprendizado humano, a aptidão.

MILLER(1992), realizou com base na teoria de LOWENFELD (1970), um estudo cujo objetivo foi verificar comparativamente como os diferentes estilos de aprendizagem influenciam no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. De acordo com esta teoria, os indivíduos percebem os elementos do ambiente à sua volta, tendo respectivamente a visão e o tato como característica perceptiva predominante. Os que são mais sensíveis à transformar estímulos sensoriais em imagens são chamados visuais. Os que não possuem este tipo de sensibilidade são chamados hápticos. Nas atividades experimentais foram utilizados modelos físicos feitos de madeira, modelos idênticos gerados por computador e perspectivas isométricas dos modelos.

Os participantes, 497 alunos ingressantes de cursos de Engenharia, passaram por

dois testes, o *MRT Mental Rotations Test* como pré teste, e o *SPT-I (Sucessive Perception Test - I)* para se determinar o tipo de aptidão perceptiva. A partir dos resultados obtidos no *SPT-I*, foi selecionada uma amostra de 150 alunos. Este teste é composto por 35 questões. Cada uma consiste de uma figura de referência e cinco alternativas. Sobre a figura de referência de cada exercício é passado, por um instrutor, uma folha com uma pequena abertura de modo a permitir que indivíduo veja pequenas fatias, como mostra a figura 2.1 num exemplo das questões do teste *SPT-I*. O movimento dura de 1 à 0,5 segundo. Feito isto, o indivíduo decide qual é a figura assinalando uma das alternativas.

Figura 2.1: Exemplo de questão do teste *SPT-I* Reproduzido de MILLER (1992)

Os 75 alunos que obtiveram as maiores pontuações, os visuais, foram separados aleatoriamente em 3 grupos, sendo 25 no curso tradicional utilizando as vistas em perspectiva, 25 no curso utilizando os modelos gerados por computador e 25 no curso utilizando os modelos reais. Os outros 75 que obtiveram as menores pontuações, os hápticos, foram separados aleatoriamente em 3 grupos de 25 alunos, de acordo com o mesmo procedimento adotado para os visuais. No mini curso em que foram utilizados os modelos gerados por computador, os alunos os selecionavam e os rotacionavam em várias direções com o uso de joysticks. Escolhiam a vista mais descritiva dos objetos e então faziam esboços das principais. No que foram utilizados

os modelos reais, os alunos faziam esboços das vistas principais, enquanto que nas aulas do curso tradicional (grupo de controle) os alunos continuavam desenhando as vistas principais, só que utilizavam as perspectivas isométricas. As aulas foram distribuídas ao longo do dia, e o experimento durou ao todo quatro semanas. Na semana seguinte ao encerramento da última atividade, foram aplicados novamente os dois testes, e então os estudantes foram informados do término do experimento. Não foram encontradas diferenças significativas devidas ao uso de um ou recurso, em relação ao grupo que recebeu instrução de acordo com o método tradicional, mas o autor sugere a inclusão do uso de modelos reais no currículo da disciplina, justificando tal uso é benéfico aos indivíduos de aptidão háptica.

SEXTON (1992) realizou um estudo comparativo do uso de recursos tradicionais (utilização de instrumentos como lápis e esquadros) e sistema computacional, utilizando o método modelos de arame, para ensino de projeções ortográficas. O objetivo do estudo foi verificar se existem diferenças no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial devidas à aplicação de atividades baseadas nos dois recursos. Duas características foram avaliadas: visualização espacial e orientação espacial. Para isto foram utilizados dois instrumentos, o teste *MRT* e o teste *GZ* (*Guilford-Zimmerman Aptitude Survey Part V - Spatial Orientation*). Este teste consiste de 60 questões, cada uma com duas ilustrações, como mostra a figura 2.2.

Figura 2.2: Exemplo de questão do teste *GZ-Parte V* - Reproduzido de SEXTON (1992)

A ilustração superior da figura mostra uma vista observada de dentro de um barco. A inferior é similar à primeira, exceto pela representação de seu movimento, ou da paisagem. O objetivo é determinar, entre as cinco alternativas, a que representa o possível movimento, do barco ou da paisagem, que resulta na vista mostrada na ilustração inferior.

O grupo que recebeu a instrução com o uso de recursos tradicionais foi denominado grupo de controle, enquanto o que foi instruído com recursos computacionais recebeu a denominação de experimental. Participaram do estudo 40 alunos no grupo de controle e 31 no experimental. Todos os participantes foram pré testados no início e pós testados ao final de 10 semanas. Tanto nas aulas com o uso de recursos tradicionais como nas que foram utilizadas modelos de arame, foram aplicados tópicos sobre o processo formação das vistas ortográficas, e mudança da posição do observador para obter diferentes vistas. A comparação entre os dois recursos em relação às habilidades de visualização e orientação espaciais não levou à evidências quanto a existência de diferenças. Concluiu o autor que são igualmente efetivos o uso de instrumentos tradicionais e o uso de modelos de arame.

DEVON et al. (1994) realizaram um estudo experimental com duração de dois semestres (1992-93), e em cada um foram aplicadas 15 aulas. Durante o semestre de 1992, das 15 aulas, 2 foram consideradas irrelevantes para o estudo e foram descartadas. Do restante, 53% do tempo das aulas restantes foi dedicado ao ensino de temas como vistas ortográficas, axonométricas e auxiliares, utilizando instrumentos tradicionais (lápis e esquadros), e 22% do tempo das aulas foram dedicadas ao ensino dos mesmos tópicos utilizando modelos de arame. As três últimas aulas do primeiro semestre destinadas ao ensino de desenho utilizando modelos de arame, teve este método substituído por modelagem de sólidos. Ao final do semestre, o teste *MRT* foi aplicado à três grupos experimentais e a quatro de controle, todos eles com 26 alunos em média. Nesta etapa do estudo não foram encontradas diferenças significativas de desempenho entre os grupos experimentais e de controle. No

segundo semestre, todas as 13 aulas utilizaram modelagem de sólidos e dois dos seis grupos tiveram 100% do tempo das aulas dedicados ao seu uso. O teste *MRT* foi aplicado três vezes aos seis grupos experimentais, que tinham em média 26 alunos. Nesta etapa, a análise dos dados considerando a evolução de todos os grupos experimentais apresentou uma diferença significativa de 5%. Segundo os autores, como as condições em que os dados obtidos nas duas aplicações do experimento diferem, estes não puderam ser comparados. Os autores concluíram, como SEXTON (1992), que o uso de modelos de arame assim como de sólidos, não são mais eficientes do que os recursos tradicionais, para desenvolver a habilidade de visualização.

SHIINA et al. (1994) fizeram um estudo comparativo de desempenhos obtidos no teste *MRT* com os obtidos em cursos de geometria descritiva, com estudantes de duas universidades no mesmo período. O experimento realizado teve duração de um semestre, distribuído em 13 aulas. As atividades experimentais tinham como conteúdo tópicos como tratamento de pontos, retas e objetos através de projeções ortográficas, aplicados com o uso de recursos tradicionais. No início dos cursos foram realizados pré testes, e ao final um pós teste, juntamente com uma avaliação padrão, composta por dois tipos de exercícios, construção de vistas ortográficas e auxiliares, a partir de perspectivas. Os autores concluíram que os estudantes que tiveram as piores notas nos cursos de geometria descritiva, tiveram baixo desempenho no teste *MRT*, e também apresentaram mais dificuldades para construir vistas ortográficas a partir de desenhos em perspectiva.

2.4 Melhorias no ensino de desenho

Visando suprir eventuais dificuldades de estudantes no aprendizado de desenho, profissionais têm adotado algumas medidas práticas, como a criação de cursos introdutórios, aplicação de recursos diferentes dos normalmente empregados e novas metodologias de ensino.

SORBY; BAARTMANS (1996) utilizaram como referência a teoria dos estágios de desenvolvimento de PIAGET; INHELDER (1971) para decidir o que é adequado aplicar num programa de ensino para desenvolver a habilidade de visualização espacial, e também o instrumento de avaliação adequado. De acordo com Piaget, o desenvolvimento cognitivo é um processo de sucessivas mudanças qualitativas e quantitativas das estruturas cognitivas, derivando cada uma das precedentes. O indivíduo constrói e reconstrói continuamente as estruturas que o tornam cada vez mais apto ao equilíbrio. Os estágios são quatro: sensório-motor, que compreende a idade de 0 à 2 anos; pré-operatório que compreende a idade de 2 à 7 anos; operatório-concreto que compreende a idade de 7 à 11 anos e o operatório-formal que compreende a idade dos 12 anos em diante.

No primeiro estágio, a partir de reflexos neurológicos básicos, o indivíduo começa a construir esquemas de ação para assimilar mentalmente o meio. A inteligência deve ser praticada, e as noções de espaço e tempo são construídas pela ação. O contato com o meio é direto e imediato, sem representações ou ato de pensar. O segundo estágio, também chamado de estágio da inteligência simbólica, é caracterizado principalmente, pela interiorização de esquemas de ação construídos no estágio anterior. No último estágio, as representações permitem níveis de abstração mais elevados. O indivíduo não se limita mais a representação imediata nem somente às relações previamente existentes, mas é capaz de pensar em todas as relações possíveis logicamente, buscando soluções a partir de hipóteses e não apenas pela observação da realidade. As estruturas cognitivas do indivíduo alcançam o nível mais elevado de desenvolvimento e tornam-se aptas a aplicar o raciocínio lógico a todas as classes de problemas. É importante lembrar que o mais importante não é a faixa de idade em si, mas a ordem que ocorrem os estágios.

Os autores desenvolveram e aplicaram um curso introdutório ao curso regular com duração de 10 semanas chamado Introdução à Visualização Espacial. O curso tinha como objetivos oferecer aos alunos ingressantes pré requisitos em visualização espa-

cial, necessários nas disciplinas de desenho. O curso teve início com a prática de esboços de vistas ortográficas, isométricas aplicados com o uso de lápis e esquadros. Após esta etapa passou-se ao uso de um sistema computacional, começando pelos tópicos: sistemas de coordenadas bidimensionais e tridimensional (locação de pontos), operações de varredura, e terminando com sólidos e superfícies de revolução. Para os autores, a justificativa para a realização deste curso introdutório e nivelador, é que estudos anteriores realizados na instituição mostraram que as estudantes possuem de duas a três vezes mais deficiência do que os estudantes no quesito visualização espacial.

Participaram do estudo, 418 alunos e 117 alunas, totalizando 535 estudantes. Apenas 3 alunas de um total de 45 estudantes obtiveram 100% de acertos. 50 alunos e 46 alunas tiveram aproveitamento menor ou igual a 60%. A análise final mostrou que somente 12% dos alunos não atingiram o desempenho mínimo; para as alunas esta porcentagem foi de 39,3%. Durante o decorrer do curso foram observados progressos; média de 51% de acertos na avaliação intermediária, entre o pré teste (agosto/1993), e o pós teste (novembro/1993). No final do curso a média geral foi de 86%. Nenhum estudante, ao final do curso, obteve uma porcentagem de acertos menor que 50%. A melhora observada foi significativa à 1%.

O curso é considerado pelos autores como passo importante para nivelar os alunos e as alunas, por permitir a ambos terem sucesso nos cursos posteriores. Segundo eles a medida de habilidade de visualização espacial no teste *PSVT:R* (*Purdue Spatial Visualization Test: Rotations*), utilizado em todas as avaliações, é o principal indicador de sucesso nos cursos de desenho no *Michigan Technological University*. O teste *PSVT:R* é exemplificado na figura 2.3.

Em cada questão do teste existem cinco alternativas. O objetivo é encontrar para a segunda figura de referência sua posição, após passar por uma seqüência de transformações exemplificada na primeira.

Figura 2.3: Exemplo de questão do teste *PSVT:R* - Reproduzido de SORBY; BARTMANS (1996)

CHURCHES et al. (1994) realizaram um estudo para avaliar a evolução da habilidade de visualização dos alunos de primeiro ano dos cursos de Engenharia Mecânica, Elétrica e Ciências Aplicadas nas disciplinas de desenho. Respectivamente 134, 153 e 234 alunos de cada curso foram selecionados e participaram de uma disciplina de desenho no modo tradicional, utilizando lápis e esquadros. Os participantes foram pré e pós testados através dos testes *MRT* e *MCT* (*Mental Cutting Test*). Um exemplo das questões deste teste é mostrado na figura 2.4. Neste teste os indivíduos tem que encontrar a vista da seção mostrada na figura de referência. As questões do teste são classificadas em duas categorias. Na primeira, as soluções são determinadas pela identificação dos padrões das seções. Na versão original, dezenove questões são de acordo com este propósito. Na outra categoria, as soluções são determinadas pela identificação não somente dos padrões das seções, mas também através do tamanho das arestas e ângulos entre elas. Seis questões estão formuladas de acordo com este propósito (OHTSUKI et al, 1996).

Os alunos passaram semanalmente por uma aula com duração de 3 horas, tempo este dividido em 1 hora para teoria e 2 horas de uso de sistemas *CAD* com assistência de

Figura 2.4: Exemplo de questão do teste *MCT* - Reproduzido de OHTSUKI et.al (1996)

monitores. A parte teórica tinha como objetivo o aprendizado de técnicas de esboços, tópicos sobre modelagem de sólidos, e também a apresentação das representações gráficas geradas. Durante o ano de 1993, houve ao todo 14 aulas. Os resultados, entre o pré teste o pós teste mostraram melhorias na habilidade de visualização espacial. No *MRT* elas foram na faixa de 5,2 a 6,7 pontos. No *MCT* foram de 0,71 a 2,4 pontos. Devido a falta de um grupo de controle, e a não realização de um tratamento estatístico mais completo, os autores recomendam cautela, na interpretação das melhorias obtidas em função das aulas em que foram utilizados modelos de sólidos para geração de representações gráficas.

2.4.1 Novos recursos

Um dos recursos que tem potencial para ser explorado no ensino de desenho é a técnica de animação computacional. As imagens dinâmicas permitem a reprodução de processos que em geral são similares aos executados pelos indivíduos. O questionamento que em geral se faz relativamente ao uso desta técnica, é se ela também pode auxiliar os estudantes a desenvolver a habilidade de visualização espacial.

Após rever e comparar algumas teorias sobre o modo como os indivíduos percebem os objetos, WIEBE (1993) destacou como principal aspecto desta técnica suas aplicação para exemplificar o processo de mudança da visibilidade de um objeto quando este é rotacionado relativamente a um determinado ponto de vista. Isto pode ser

feito não somente através desta técnica, mas também com um objeto em mãos, e ainda, a partir de um conjunto representações gráficas, cada uma mostrando uma etapa do movimento. A figura 2.5 mostra uma seqüência de imagens simulando um processo de animação.

Figura 2.5: Sequência de imagens: Simulação de um processo de animação

A proposta de uso desta técnica no ensino de desenho, do autor tem como base a facilidade de exemplificação de transformações que podem ser executadas mentalmente. Os alunos, através da prática de exercícios, podem realizar pequenas rotações para observar as várias vistas parciais até a formação da vista desejada. A medida que eles forem se tornando proficientes neste processo, as rotações devem ser incrementadas.

2.4.2 Metodologias

Várias propostas de ensino têm sido desenvolvidas, especificando tópicos e a sua organização no ensino. Nelas os autores argumentam que é possível obter bons níveis de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial.

WILEY (1990a) apresentou um modelo curricular-cognitivo composto por três estágios, chamados primários, para orientar a organização de tópicos aplicados numa disciplina de desenho. Os estágios, cognição visual, produção e resolução visual descrevem as etapas de desenvolvimento pelas quais podem passar os indivíduos até atingir a maturidade visual. A figura 2.6 ilustra este modelo.

Figura 2.6: Hierarquia da aprendizagem visual - Parte I: Estágios primários - Reproduzido de WILEY (1990a)

Os estágios são sucessivos um ao outro, e descrevem as etapas pelas quais passa o processo de desenvolvimento desta habilidade nos indivíduos, para compreender, armazenar, criar, editar e comunicar informações espaciais. Os estágios primários são divididos em secundários, os quais apontam os aspectos que devem ter ênfase no ensino em cada uma das etapas do processo de desenvolvimento desta habilidade. Os estágios secundários são mostrados na figura 2.7.

Figura 2.7: Hierarquia da aprendizagem visual - Parte II: Estágios secundários - Reproduzido de WILEY (1990a)

Posteriormente, WILEY(1990b) propôs um método de ensino mostrando como o uso de recursos computacionais podem ser integrados ao currículo da disciplina com o objetivo de desenvolver esta habilidade. O ponto principal, é o poder de visibilidade que estes sistemas permitem, como múltiplas cores, texturas e geração de vistas. A sugestão para aplicação deste método é que cada aluno pode ter seu ritmo de aprendizagem aumentado ou diminuído. A ênfase que o uso de representações gráficas realísticas têm nas primeiras etapas de uma disciplina, nesta proposta, se deve segundo o autor, ao fato que as disciplinas de desenho começam com a construção de vistas ortográficas, e passam às representações realísticas posteriormente. A razão para esta organização é que experiências primeiramente com representações mais fáceis de serem visualizadas, auxilia por exemplo no uso de modelos de arame, pelas dificuldades de interpretação que estes apresentam ao serem visualizados de uma determinada posição. A figura 2.8 ilustra este método.

Figura 2.8: Currículo para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial - Reproduzido de WILEY (1990b)

2.5 Observações gerais

As necessidades da formação oferecida pelas disciplinas de desenho tem se modificado em função da utilização de sistemas computacionais nas práticas de engenharia. Como indicado em vários dos trabalhos revistos, isto pode ser tratado através da adequação do processo de ensino. Um exemplo pode ser o que propõe BERTOLINE (1998) com a proposta de criação de uma disciplina chamada Ciência Visual, que têm especificamente a incumbência desenvolver esta habilidade, enquanto que as atuais ficariam com a função de ensinar os usos das técnicas de representações gráficas disponíveis.

Desenvolver esta habilidade cumpre dois importantes objetivos. O primeiro é tornar eficiente a comunicação gráfica; o que é reconhecido pelos profissionais, para obtenção de sucesso em trabalhos de engenharia (JENSEN,1986) apud (MILLER,1992). O outro, como indicado por WILEY(1989), é permitir o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a fundamentação teórica das práticas de ensino, o que também possibilita saber que contribuições as tecnologias e os métodos de ensino podem ter e que permite avaliar as contribuições que as tecnologias para as práticas de ensino. Estes objetivos contemplam também a proposta de BERTOLINE (1998), por que ela não exclui a necessidade de conhecimentos para apoiar as práticas de ensino, principalmente se for levado em conta o ponto de vista histórico do tema desenvolvimento de habilidades, o que é ricamente discutido por LURIA (1991). Entretanto um aspecto inquietante disto é que devido as ausências de participação dos estágios anteriores de ensino, isto pode representar uma sobrecarga para o ensino superior.

As teorias nas quais se baseiam muitos dos trabalhos revistos dão importantes informações e são excelentes pontos de partida, mas são muito gerais para serem aplicadas diretamente a uma disciplina específica. A partir delas entretanto, podem ser desenvolvidos modelos para análise de relações entre as propriedades dos estímulos e

as medidas de desempenho.

Quanto às influências dos métodos de ensino no desenvolvimento desta habilidade, a principal característica observada nos trabalhos realizados é que foram conduzidos em condições normais de aula, o que sugere períodos de estímulos relativamente pequenos e esparsos, quando este é um ponto importante para o entendimento de respostas ligadas às propriedades de estímulos (DAY,1970). Do modo como os estudos foram realizados, é possível que estes tenham sido insuficientes para estimular adequadamente os participantes. Outra observação, é que não se estabeleceu relações entre os eventuais resultados e suas prováveis causas, relacionadas com o uso de um ou outro método de representação gráfica.

Capítulo 3

Representações gráficas e a habilidade de visualização espacial

3.1 Introdução

Visualização espacial é uma habilidade perceptual-cognitiva que tem importância fundamental no processamento de informações nas tarefas que exigem o uso de imagens de objetos. Ela é baseada em vários fatores como o grau de familiaridade com as informações, e pode ser observada a partir da velocidade e precisão com que os indivíduos realizam determinados procedimentos em uma variedade de tarefas (COOPER,1990), (PROCTOR; DUTTA,1995).

Durante o uso de métodos de representação gráfica, tais procedimentos podem ser observados na descrição e interpretação de informações, por exemplo no caso de um paralelepípedo. Para modelá-lo por meio de modelagem de sólidos, os indivíduos fornecem valores para os parâmetros altura, largura e comprimento de uma forma primitiva, ou também, a partir de uma projeção ortogonal, realizam uma operação de varredura. A interpretação do objeto a partir de sua representação é auxiliada por recursos como a remoção de arestas escondidas, tonalização e uso facilidades computacionais que fornecem volume e área de superfície. Usando modelos de ara-

me, eles definem posições na área gráfica para as doze arestas que definem contorno do objeto. A interpretação do objeto a partir deste tipo de representação, é caracterizada principalmente pela dificuldade de distinção das arestas que estão num mesmo plano. No caso do desenho técnico, as posições para o conjunto de vistas assim como para as arestas que definem os contornos do objeto são definidas em cada vista. A interpretação deste tipo de representação depende principalmente do conhecimento sobre este método.

A partir do exemplo apresentado, a suposição que se faz é que as características do uso de um outro método de representação gráfica tem efeitos diferenciados no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. O objetivo nesse capítulo é analisar esta suposição, juntamente com os aspectos principais relacionados com processamento de estímulos visuais pelos indivíduos.

3.2 Métodos de representação gráfica

Métodos de representação gráfica compreendem os mesmos elementos básicos. Um sistema de projeção, cônico ou cilíndrico que são compostos por um plano de projeção, observador e objeto. Além destes envolvem outros que estão relacionados com a computação gráfica e o modelamento geométrico.

Computação gráfica é uma área da ciência de computação relacionada com a exibição de imagens, e suas propriedades, como cores e texturas. O processo fundamental realizado são as conversões de representações matemáticas em imagens, que podem ser simplesmente contornos, tonalizadas, animadas ou realísticas. Modelamento geométrico está relacionado com a representação matemática de entidades geométricas, e suas propriedades como atributos de aparência e propriedades físicas (HEARN;BAKER,1986), (MORTENSON,1985).

A principal diferença entre métodos de representação gráfica está relacionada com as

características das informações modeladas, as quais induzem representações gráficas também com características diferentes. Por exemplo, modelos de arame induzem a uma representação que simula a tridimensionalidade e mostra somente o contorno de um objeto. Modelos de sólidos induzem a uma representação que simula a tridimensionalidade e também mostra o contorno de um objeto, mas possibilita através de operações, a obtenção de seções do objeto modelado, e acesso a propriedades físicas. O desenho técnico induz a representações que ocupam, uma a uma, somente duas dimensões. O uso destes três métodos de representação gráfica são analisadas neste estudo. Descrições completas deles podem ser encontradas nas referências ZEID (1991) e FRENCH (1985).

Representações gráficas são associações de elementos geométricos, criadas de acordo com os métodos descritos acima. Eles contêm especificações de como tais elementos devem ser combinados para formar conjuntos; e também, como tais agrupamentos devem ser manipulados para a interpretação de informações. As características das representações gráficas criadas segundo aplicações deles são brevemente descritas abaixo e exemplificadas na figura 3.1.

Desenho técnico: Conjunto de vistas ortogonais, que podem ser também seccionadas, ou derivadas como as auxiliares. A este conjunto de vistas são acrescidos especificações contidas em normas ou convenções, por exemplo, escalas de representação, padrões de hachura, formato de página, indicações de níveis e seções.

Representação induzida por modelos de arame: Representação que descreve o contorno de um objeto através de elementos geométricos justapostos. Este conjunto apresenta ambigüidades perceptuais, devido a dificuldade de distinção dos elementos que estão num mesmo plano pela simulação do aspecto tridimensionalidade, em situações de construção e em algumas situações a interpretação de informações.

Representação induzida por modelos de sólidos: Representação que descreve o contorno do objeto através operações entre sólidos mais simples. Este conjunto, induzido por um modelo no qual é possível a identificação dos pontos internos, exter-

Figura 3.1: Representações gráficas

nos ou pertencentes a superfície, permite que sejam aplicadas operações de remoção de arestas escondidas e sombreamento o que elimina ambigüidades perceptuais.

3.2.1 Construção e interpretação

Durante as aplicações dos métodos de representação gráfica, os indivíduos aplicam diferentes procedimentos, e para analisá-los procurou-se descrevê-los uniformizando os padrões das ações, nos quais, em geral se observa as seguintes características:

No modelamento por sólidos, eles combinam objetos primitivos como paralelepípedos, cilindros e esferas, ou gerados por varredura, para obtenção do objeto desejado, utilizando-se de um conjunto de operações composto, entre outras, por adição, diferença e interseção. Como são possíveis para a mesma situação, várias seqüências de construção, os indivíduos adotam a que lhes parece mais simples. Recursos como remoção de arestas escondidas e tonalização permitem constante verificação da representação gráfica, possibilitando a construção a partir de vistas pré determina-

das; e como consequência, poucas mudanças de pontos de vista em relação à ela são realizadas.

No modelamento por modelos de arame elementos geométricos, arestas, curvas e superfícies são combinadas para descrever o contorno de um objeto. Conforme evolui a descrição do objeto, aumenta a necessidade de discernimento entre os vários elementos geométricos constituintes, como saber quais estão num mesmo plano. Como resposta a este estímulo, recorre-se a várias mudanças de ponto de vista em relação a representação gráfica, buscando-se uma vista que apresente menos ambigüidade visual. Quando faces são aplicadas sobre a estrutura de arame, a interpretação é auxiliada por operações de sombreamento e remoção de arestas escondidas.

Na descrição utilizando desenho técnico, elementos geométricos como arestas e curvas, são combinados para descrever as projeções dos contornos ou das seções de um objeto. Elas são produzidas tendo como referencial um sistema de projeção, por exemplo o cilíndrico. O conjunto de vistas construído devem ser interpretados de maneira única para que também as informações possam ser interpretadas corretamente.

3.2.2 O processo perceptivo

Esta análise consiste em identificar as regras que são aplicadas durante o uso dos métodos de representação gráfica, especificamente interpretação e descrição de informação. O objetivo é verificar como os procedimentos observados durante tais ações estão inseridas no processo perceptivo humano, e a quais processos cognitivos está sujeita e assim modos de avaliar seu desempenho neste tipo de tarefa. Uma vez que o ato de perceber envolve todos os sentidos, é adequado identificar os processos cognitivos mediadores de tais usos começando pela Percepção. Não é de interesse entretanto, o processo de formação e desenvolvimento das estruturas que suportam tais processos.

Percepção é o processo pelo qual os indivíduos recebem e extraem informações do meio em que se encontram. Somente os estímulos que provocam ações reativas ou adaptativas são chamados de informação. À medida que se extrai novas informações, ocorre adaptação a uma certa condição, e a percepção se desenvolve. Nestas constantes adaptações ela atua como um conjunto que inclui a aprendizagem e o pensamento também como mecanismos atuantes. Em maior ou menor grau, isto ocorre em todas as etapas da vida do indivíduo (FORGUS,1971).

A percepção em muitas situações pode ser decomposta, com o objetivo de analisar determinados aspectos, como os relativos a percepção de estímulos visuais, neste caso a percepção visual. A habilidade de visualização espacial neste contexto pode ser entendida com um conjunto das ações dos indivíduos envolvidas na interpretação e representação de relações geométricas no espaço. Na figura 3.2 está resumido o processo perceptivo, no qual estão inseridas ações de construir e interpretar representações gráficas. Uma vez que o ato de perceber envolve todos os sentidos, este fracionamento tem apenas caráter explicativo.

Hipótese 1

A partir das análises sobre os modos como são utilizados os métodos de representação gráfica, e observações quanto ao processo perceptivo dos indivíduos, a hipótese que se faz é que: os métodos de representação gráfica proporcionam o tratamento de informações de maneira mais ou menos abstrata, comparativamente em relação a um objeto real. A figura 3.3 ilustra essa hipótese.

Hipótese 2

A segunda hipótese que se faz, a partir da primeira, é que: os métodos de representação gráfica que proporcionam o tratamento de informações de maneira mais ou menos abstrata, demandam mais ou menos esforços das estruturas cognitivas. Com-

parativamente a partir das características que os indivíduos exibem durante o uso de métodos de representação gráfica, é que estes demandam mais ou menos esforços das estruturas cognitivas. Estes são maiores durante o uso de desenho técnico, inter-

Figura 3.2: Processo perceptivo - Adaptado de MAFALDA; KAWANO (1998)

Figura 3.3: Níveis perceptuais em relação a um objeto - Reproduzido de MAFALDA; KAWANO (1998a)

mediários durante o uso de modelos de arame e menores durante o uso de modelos de sólidos. Estes esforços são ilustrados comparativamente na figura 3.4.

Figura 3.4: Esforços das estruturas cognitivas - Reproduzido de MAFALDA; KAWANO (1998a)

3.2.3 Imagens mentais

Para entender como os indivíduos processam imagens de objetos, e quais procedimentos estão presentes, outros aspectos precisam ser analisados para verificar se é possível quantificar estes processamentos, e isto pode ser feito a partir de reações perceptivas dos indivíduos. Podemos começar perguntando o que está ocorrendo quando dissemos “eu tenho uma imagem mental”. Esta afirmação parece ser simples para responder, e muitas pessoas provavelmente acreditam que têm uma imagem mental quando: estão “vendo” alguma coisa que não esta presente”. As aspas em torno da palavra vendo são necessárias, para que não confundamos com “ver”, que é algo que não ocorre nesta situação. O que podemos dizer quando temos uma imagem mental é que é uma experiência de algum modo similar a estar “vendo” alguma

coisa.

Quando alguém diz que está “vendo” alguma coisa que não está próxima a si, isto inclui uma variedade de experiências que são muito comuns, como lembrar um sonho, criar uma fantasia ou ter uma alucinação. Muitos dos tipos de experiências com imagens mentais são classificadas, e durante o uso de métodos de representação gráfica, as imagens perceptuais sem referência fixa, espacial/temporal, é das classificadas a que estão sendo tratadas (KOSSLYN,1995). Os relatos dos indivíduos quanto ao que eles sentem durante este tipo de experiência, tem grande utilidade, porque o acesso à estas “representações internas”, por exemplo, durante processos de resolução de problemas, só se dão até o momento em termos da atividade neuronal (PERRET et al.(1998).

3.3 Habilidade de visualização espacial

A habilidade que um indivíduo exibe em determinada tarefa é caracterizada principalmente, pela precisão e velocidade com que a realiza, o que reflete não só o modo como a representa mentalmente, mas também os procedimentos utilizados para desempenhá-la (PROCTOR; DUTTA, 1995). Os principais procedimentos apontados para caracterizar a habilidade são relações espaciais, orientação espacial, e visualização espacial, termo utilizado, também para se referir à aspectos desta habilidade.

Vale destacar que não há consenso sobre esta categorização, e algumas das razões está na dificuldade de se construir instrumentos que permitam avaliar especificamente um procedimento, além do que, se reconhece que os indivíduos podem lançar mão de estratégias que não foram observadas ou identificadas (HEGARTY; KOZHENIKOV,1998)

Relações espaciais

Esta característica envolve a habilidade para julgar se dois estímulos propiciados por representações gráficas, rotacionadas diferentemente, representam o mesmo objeto. A estratégia típica aplicada para resolução deste tipo de problema são as rotações mentais. Eles podem ser resolvidos também com base nas similaridades, que compreendem paralelismos e perpendicularismos. Estas estratégias foram identificadas nas tarefas do teste *MRT* a partir de relatos dos indivíduos (SHIINA et al.,1994) (MAFALDA et al.,1999).

Orientação espacial

Esta possível característica envolve a habilidade para imaginar como seqüência de movimentos espaciais podem ser representados em diferentes orientações. Um bom teste para avaliar esta característica, está difícil de ser encontrado, já que os disponíveis são resolvidos por rotações mentais mais do que pela orientação espacial.

Visualização espacial

Este fator mede o processo de apreensão, encadeamento e manipulação mental de formas espaciais. Um teste que permite avaliar este fator envolve estímulos mais complexos do que relações espaciais, que são tipicamente seqüências de transformações espaciais.

3.3.1 Rotações mentais

Este procedimento merece destaque por ter sido objeto de um dos mais importantes experimentos na busca de se quantificar a habilidade cognitiva envolvida na manipulação imagens de objetos (MARR,1998), (GARDNER,1995).

SHEPARD;METZLER(1971) realizaram um estudo cronométrico para encontrar os

tempos que os indivíduos levam para reconhecer se duas formas são as mesmas em função da diferença angular entre as representações delas. As figuras foram geradas em computador e apresentadas aos indivíduos em pares. As diferenças angulares foram produzidas pela rotação de uma das figuras ou de uma das formas, e também foram propostas situações onde as formas representadas nas figuras não são as mesmas. O estudo completo envolveu 1600 questões divididas em blocos de 200 questões, aplicados a grupos de oito adultos, que responderam 25 questões cada um. Cada um dos 200 blocos foram constituídos por três situações; pares com rotações no plano da figura, no espaço ou combinações aleatórias dos dois tipos. A figura 3.5 mostra um exemplo de cada situação.

Figura 3.5: (A) As formas são as mesmas mas diferem de uma rotação de 80° nos planos das figuras; (B) As formas são as mesmas mas diferem de uma rotação de 80° em relação às suas posições no espaço; (C) As formas não são as mesmas. Rep. de SHEPARD; METZLER (1971)

Os tempos das reações encontrados se mostraram linearmente crescentes com o aumento das diferenças angulares nas orientações retratadas, tanto para as produzidas nas formas como nas figuras. Os tempos que precederam as decisões sobre as identidades das figuras refletem diretamente a medida das diferenças angulares. Nos casos em que a diferença angular foi entre 0 e 10 graus, as respostas foram dadas quase que instantaneamente; a medida que a diferença era aumentada até atingir 180 graus, os tempos de reação aumentaram em escala linear.

Os autores interpretam tais resultados como evidência de que os indivíduos estão fazendo a comparação, rotacionando mentalmente uma ou a outra, figura ou forma, a uma taxa constante. Apesar da evidência, os autores sugerem cautela sobre

este modo como eles determinam a identidade de objetos diferentemente orientados, apesar delas serem consistentes com os procedimentos relatados. Eles dizem basicamente que primeiro imaginam uma das formas sendo rotacionada na mesma orientação que a outra e, que isto é possível até certo limite. Quando percebiam que era a figura e não a forma que eram rotacionados, se tornava mais fácil imaginar a rotação em torno de um eixo.

COOPER;SHEPARD (1984) dizem que as rotações mentais são as bases para este tipo de comparação, e que isto revela que as imagens mentais dos indivíduos representam a estrutura tridimensional dos objetos retratados e não somente as características bidimensionais de representações gráficas.

PERRET et. al (1998), dizem que o tempo para reconhecer se dois objetos são idênticos, aumenta de acordo com o tamanho das diferenças angulares entre eles, mas pode haver respostas não esperadas, por exemplo quando estão envolvidas representações invertidas. A partir dos resultados de uma série de experimentos, os autores formularam a hipótese de que as rotações mentais são os principais procedimentos a caracterizar esta habilidade, por que o reconhecimento com base em critérios de similaridade depende delas. Os autores notaram também que o reconhecimento de determinado objeto para uma dada orientação, vista e tamanho, depende da vivência com o objeto em determinadas circunstâncias. Por exemplo, a presença de uma forma é mais lentamente visualizada quando esta é apresentada em uma orientação ou tamanho não usuais. Outro aspecto que eles chamam à atenção é que a rotação de formas em profundidade muda a característica de visibilidade enquanto que a rotação no plano da forma muda somente a orientação.

3.3.2 Aspectos de desempenho e avaliação

Na categorização de procedimentos, assim como nas observações apresentadas uma pergunta importante pode ser qual deles é mais ou menos relevante para determinado tipo de situação prática, como no aprendizado de desenho. Quando se reconhece que os indivíduos podem aplicar procedimentos que a “priori” não foram identificados, se supõe que a melhor maneira para tratar esta questão é selecionar para uma situação os aspectos mais relevantes, particularmente, observar os procedimentos que determinada situação propicia.

As situações propiciadas pelo ensino de desenho, como a caixa de vidro, onde as vistas e perspectivas, são percorridas através de posições particulares, sugere, que mentalmente os indivíduos circundam o objeto para posicionar o ponto de vista em uma direção específica. Em um monitor de um computador também, apesar das facilidades oferecidas para gerar e acionar várias vistas simultaneamente.

Com relação aos instrumentos de avaliação, como pôde-se observar no capítulo 2, eles em sua maioria envolvem a resolução de questões por meio de rotações mentais. Estes aspectos sugerem que os procedimentos mais importantes durante o uso de métodos de representações gráficas são as rotações mentais e as similaridades, ambos presentes no teste *MRT*, segundo relatos dos próprios indivíduos.

3.4 Proposição de estudo

Os modos como os indivíduos processam estímulos visuais e a partir deles realizam inferências, sobre objetos e situações, tem sido alvo de muitos esforços para entender como esta habilidade pode ser quantificada em tarefas práticas, como na resolução de problemas, e ter seu desempenho melhorado através do ensino (COOPER,1996), (BIEDERMAN,1997), (WILLEY,1989b).

De acordo com as análises e hipóteses feitas, o uso dos métodos de representação

gráfica, comparativamente, exigem mais ou menos esforços das estruturas cognitivas. No caso de modelos de sólidos, recursos como a remoção de arestas escondidas e de tonalização, fazem com que as estruturas cognitivas sejam menos solicitadas. No uso de modelos de arame ocorrem ambigüidades fazendo com que os haja maiores esforços, e no uso do Desenho técnico, tais esforços são ainda maiores, devido à composição da imagem do objeto a partir de um conjunto de vistas.

Visando entender o comportamento desta habilidade em situações de ensino, a proposição a ser verificada é a seguinte: o uso do Desenho técnico tem maiores possibilidades de desenvolver a habilidade de visualização espacial, pois exige esforços maiores das estruturas cognitivas; Modelos de arame têm possibilidades intermediárias, pois exigem esforços intermediários; e Modelos de sólidos tem menos possibilidades, pois os esforços exigidos são menores.

Capítulo 4

Planejamento e estudo experimental

4.1 Introdução

No capítulo anterior foram caracterizados, a partir das características dos processos perceptivos dos indivíduos em relação aos métodos de representação gráfica, diferentes modos de processamento de informações, e delineado a proposição de estudo, segundo a qual, o uso dos que são perceptualmente mais abstratos, têm maiores possibilidades de desenvolver a habilidade de visualização espacial.

O modo escolhido para observar este provável desenvolvimento, entendido neste estudo como melhora de desempenho na habilidade de visualização espacial, foi analisar as pontuações médias obtidas por indivíduos após exposição a estímulos, propiciados pelo uso dos métodos de representação gráfica. Para este propósito foram desenvolvidas três atividades, e posteriormente aplicadas a amostras da população de alunos de primeiro ano dos cursos de Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em mini cursos experimentais.

Neste capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas e aplicadas nos mini cursos, o método de planejamento experimental, o instrumento utilizado para avali-

ar os níveis de desempenho da habilidade de visualização espacial dos participantes e aspectos relativos a condução dos experimentos.

4.2 Mini cursos

Os mini cursos são conjuntos de atividades, cujo objetivo é fazer com que os participantes utilizem os métodos de representação gráfica, isoladamente, descrevendo ou extraindo informações de objetos. Criou-se assim condições para observar os reflexos do uso destes métodos no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. As atividades e os mini cursos são, respectivamente, os modos de estímulo e os de aplicação.

Foram desenvolvidos 3 mini cursos; e estes aplicados em duas oportunidades, 3 em 1998 e 3 em 1999. Foram respectivamente, amostrados alunos matriculados na disciplina Desenho para Engenharia II (PCC 118), e Desenho para Engenharia I (PCC 2100). A amostragem de alunos, casual simples, foi feita através de divulgação em cartazes, colocados no quadro de aviso das salas de aula utilizadas para os cursos regulares. O anúncio continha o programa e o regulamento que procurou deixar claro que faltas às aulas causariam exclusão. A cada início foram apresentados aos participantes o propósito e avaliações a serem feitas. O horário de aplicação, em todas as realizações, foi de segunda a sexta feira das 18:00hs às 20:30hs.

4.2.1 Atividade (A): Aplicações de desenho técnico

Na atividade com desenhos técnicos os participantes receberam vistas em planta de dois pavimentos de uma edificação em escala 1:50. A primeira tarefa é desenhar as vistas e cortes indicados nos desenhos, visando obter melhor entendimento da edificação, como os rebaixos em áreas molhadas e escadas. Nas figuras 4.1 e 4.2 são mostrados os desenhos utilizados nessa atividade.

Outra tarefa, é o levantamento de dados quantitativos dos dois pavimentos da edificação o qual inclui: cálculos de áreas úteis dos compartimentos e quantidades relativas as paredes (volume em m^3), descontando-se os vãos de portas e janelas, tanto para paredes de 15cm como 25cm.

Como pré-requisito foram apresentados aos participantes uma breve exposição dos

Figura 4.1: Planta do primeiro pavimento

Figura 4.2: Planta do segundo pavimento

seguintes tópicos: Formação de vistas ortográficas e vistas seccionadas; significados dos símbolos utilizados nos desenhos, como as indicações de níveis e uso de escalas de representação.

4.2.2 Atividade (B): Aplicações de modelos de arame

Nessa atividade, a primeira tarefa é descrever os objetos de uma lista de exercícios usando a técnica modelos de arame. As representações gráficas dos objetos foram apresentadas em perspectiva isométrica, exatamente como mostra a figura 4.3 e tinham todas as suas dimensões anotadas. Nesta lista há um objeto comum à atividade com modelos sólidos para exemplificar as diferenças entre as duas técnicas.

Figura 4.3: Lista de exercícios - Reproduzidos de KAWANO et al. (1997)

A segunda tarefa é aplicação de faces livres sobre estruturas de arestas em dois dos objetos mostrados na figura 4.3, à escolha dos participantes, excetuando-se aquele comum à outra atividade. Esta tarefa tem como objetivo exemplificar o processo de remoção de linhas escondidas e sombreamento.

Figura 4.4: Aplicação de faces sobre estruturas de arame

A terceira tarefa é levantar dados quantitativos a partir da representação de uma edificação previamente preparada, como mostrado na figura 4.5. Os participantes tiveram que obter a área de sua cobertura, de sua projeção horizontal e também seu volume interno.

Figura 4.5: Modelo de arame: Extração de informações

Outra tarefa dessa atividade é a construção de um modelo de outra edificação seguindo orientações passadas nas aulas. As instruções básicas foram mostradas através de exemplos como o ilustrado na figura 4.6. Informações adicionais, como o número de andares e a forma do pavimento térreo, são deixados à critério dos participantes.

Como pré-requisito foram apresentados aos participantes alguns conceitos sobre mo-

Figura 4.6: Construção de um modelo de uma edificação

delos de arame, utilização dos recursos necessários para construção das representações e usos de algumas facilidades computacionais para os cálculos necessários.

4.2.3 Atividade (C): Aplicações de modelos de sólidos e máquina com comando numérico

A primeira tarefa dessa atividade é representar os objetos representados numa lista de exercícios. Há nesta lista um objeto comum à atividade com modelos de arame para exemplificar as diferenças entre as duas técnicas. As representações dos objetos são apresentadas em perspectiva isométrica e tinham suas dimensões anotadas. Na figura 4.7 estão exemplificados as representações utilizadas nos dois primeiros exercícios.

Figura 4.7: Lista de exercícios - Reproduzidos de KAWANO et al. (1997)

Após os dois primeiros exercícios, além de representar os objetos os participantes tinham que anotar o volume dos objetos e seu histórico de construção. A figura 4.8 mostra o restante dos exercícios.

Figura 4.8: Lista de exercícios - Reproduzidos de LUZADDER; DUFF (1993)

A segunda tarefa é representar uma cadeira. Solicita-se aos participantes fazerem primeiramente o esboço da idéia, observando as restrições quanto ao volume máximo de material a ser utilizado ($30.000cm^3$) e as dimensões do objeto para uso humano. Esta tarefa é exemplificada mostrando-se um desenho de sugestão do objeto, como exemplificado na figura 4.9. Ao final, os participantes devem anotar na folha de esboço, o volume e o histórico de construção do objeto.

Nessa atividade são também utilizadas máquinas com comando numérico para a realização de dois tipos de exercícios à escolha dos participantes. A usinagem de uma reentrância ou de uma trajetória, como é exemplificado na figura 4.10. Usinagem é um processo controlado de remoção de material, neste caso, realizado através de um programa de comando numérico, construído a partir da base de dados de um

Figura 4.9: Modelamento sólido: Projeto de uma cadeira

modelo geométrico, de acordo com a opção de escolhida. Um exemplo genérico da representação de um modelo geométrico é mostrado na figura 4.11. Outros detalhes sobre essa tarefa são mostrados no apêndice “B”.

Figura 4.10: Usinagem: Reentrância (a) e trajetória (b)

Figura 4.11: Representação gráfica de um caminho de corte

A utilização destas máquinas teve como objetivo verificar sua viabilidade de uso por alunos em condições de aula, e estas tarefas foram introduzidas nesta atividade devido às proximidades que têm modelagem de sólidos e comando numérico em sistemas *CAD/CAM*. Sistemas *CAD* são utilizados para construir modelos geométricos, que podem ser utilizadas por um programa *CAM* para geração de programas de comando numérico (ZEID,1991).

Para o desenvolvimento desta atividade foi realizado um estudo prévio através de um mini curso piloto. Nele pode-se observar aspectos práticos, como tempo necessário para utilização das máquinas com comando numérico, e assim definir que tipos de tarefas seriam adequadas. Como pré-requisito foram apresentados aos participantes os seguintes tópicos: modelagem de sólidos; construção do programa de comando numérico e o modo de funcionamento das máquinas.

4.3 Método dos experimentos

Cada mini curso é composto pelas três atividades descritas nos itens anteriores, designadas respectivamente pelas letras **A**, **B** e **C**. Elas são respectivamente: atividade com desenhos técnicos, atividade com modelos de arame e atividade com modelos de sólidos. Nesta última, há também exercícios em que são utilizadas máquinas com comando numérico. Nos experimentos elas foram aplicadas nas seguintes ordens: **(A;B;C)**, **(B;C;A)** e **(C;A;B)**. Este método de planejamento experimental no qual se aplica seqüências de tratamentos a diferentes grupos é chamado **Julgamentos Cruzados**. Nele, qualquer unidade experimental pratica uma atividade a cada período, e os cruzamentos das pontuações obtidas permitem observar os desempenhos obtidos. Uma vez que as atividades são aplicadas em diferentes ordens, os efeitos das influências de uma sobre as outras, são uniformemente distribuídos. Como também, elas são comparadas nas mesmas unidades experimentais, o erro experimental diminui. O estudo dos seus efeitos depende do método de análise em-

pregado, como os que são utilizados no capítulo 5 e no apêndice A. Uma exposição geral sobre este método pode ser vista em PETERSEN (1985). A tabela 4.1 mostra o arranjo genérico deste método.

Tabela 4.1: Julgamentos cruzados: Arranjo genérico

			Unidades experimentais				
Grupo	Atividade	Período	11	12	...	1_p	Soma
1	A	1	y_{111}	y_{121}	...	y_{1p1}	Q_{11}
	B	2	y_{112}	y_{122}	...	y_{1p2}	Q_{12}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	q	p	y_{11p}	y_{12p}	...	y_{1pp}	Q_{1p}
Somadas das unidades			U_{11}	U_{12}	...	U_{1p}	S_1
Grupo	Atividade	Período	21	22	...	2_p	Soma
2	B	1	y_{211}	y_{221}	...	y_{2p1}	Q_{21}
	C	2	y_{212}	y_{222}	...	y_{2p2}	Q_{22}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	q	p	y_{21p}	y_{22p}	...	y_{2pp}	Q_{2p}
Somadas das unidades			U_{21}	U_{22}	...	U_{2p}	S_2
$\vdots$			$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
Grupo	Atividade	Período	$q1$	$q2$	...	qp	Soma
q	C	1	y_{q11}	y_{q21}	...	y_{qp1}	Q_{q1}
	A	2	y_{q12}	y_{q22}	...	y_{qp2}	Q_{q2}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	q	p	y_{q1p}	y_{q2p}	...	y_{qpp}	Q_{qp}
Somadas das unidades			U_{q1}	U_{q2}	...	U_{qp}	S_q

Os alunos recrutados, de acordo com a ordem de inscrição, respeitando o limite de 12 vagas abertas para cada mini curso, ocuparam nos respectivos grupos, as posições $11, 12, \dots, 1_p$; $21, 22, \dots, 2_p$ e $31, 32, \dots, 3_p$ como mostra a tabela 4.1. Na ficha de inscrição haviam campos onde cada aluno fazia sua inscrição e tomava conhecimento do período de realização. Quando todas as vagas foram preenchidas recolheu-se as fichas de inscrição.

4.3.1 Instrumentação

Foi utilizado o teste *MRT* para avaliar o nível de habilidade de visualização espacial dos participantes dos mini cursos. Este teste foi construído por VANDENBERG;

KUSE (1978), a partir do estudo cronométrico de SHEPARD; METZLER (1971). Ele é composto por três partes, a primeira explica seu objetivo e modo de resolução através de exemplos. As outras duas contêm, cada uma, dez questões. O tempo recomendado pelos autores para aplicação do teste em adultos e utilizado nos experimentos é de 5 minutos para cada parte. Cada uma é composta por uma figura de referência, duas alternativas corretas e duas incorretas. Quando duas alternativas são assinaladas, e estão corretas, a questão recebe “2” créditos; quando uma das alternativas assinalada está incorreta, a questão recebe “0” crédito, e quando somente uma alternativa é assinalada, e é correta, a questão recebe “1” crédito. Em metade das questões, as alternativas incorretas são imagens espelhadas e rotacionadas da figura de referência, na outra, não são as mesmas. A figura de referência, em todas as questões é uma das quatro estruturas utilizadas por SHEPARD; METZLER (1971). As alternativas corretas são as vezes idênticas à figura de referência, mas são mostradas rotacionadas. O sistema de duas alternativas corretas e duas incorretas elimina segundo os autores a necessidade da aplicação de fatores de correção para eventuais escolhas aleatórias das alternativas. Na figura 4.12 são exemplificados algumas questões do teste.

Figura 4.12: Questões do teste *MRT*: Reproduzido de VANDENBERG; KUSE (1978)

A confiabilidade do teste *MRT* é satisfatória. Usando Kuder-Richardson 20 em uma amostra de 3.268 adultos, incluindo adolescentes maiores de 14 anos, o fator obtido foi $r=0,88$. Em uma amostra similar a anterior, com 336 indivíduos, este fator,

entre o teste e o reteste foi $r=0,83$ após um intervalo de 1 ano. Em uma amostra de 456 indivíduos, todos com a mesma idade, este fator foi $r=0,7$ (VANDENBERG; KUSE,1978).

4.3.2 Condições de Aplicação

De acordo com a quantidade de conhecimentos necessários para a realização das tarefas que compõem as atividades, do período de três semanas, que totaliza 37,5 horas de aulas, em que foram aplicados os mini cursos, a distribuição entre elas foi a seguinte: 17,5 horas de aula para a atividade **C**; 12,5 horas de aula para a **B** e 7,5 horas de aula para a **A**. A distribuição diferenciada dos tempos se deve as necessidades de aprendizagem do uso dos recursos necessários, programas e máquinas. Na atividade **A** não é necessário este tempo adicional, pois não é necessário usar nenhum programa ou máquina, além de lápis e esquadros. Na atividade **B**, é necessário o tempo adicional de 5,5 horas para ensino do uso dos recursos necessários. Na atividade **C**, este tempo adicional é de 10 horas. O tempo líquido de estímulo em cada atividade é de 7,5 horas.

4.3.3 Hipóteses auxiliares

A primeira hipótese relativa a aplicação dos experimentos é que o nível de habilidade desenvolvido pelas atividades é utilizado pelos participantes para a resolução das tarefas do teste *MRT*, o que possibilita estudar as respectivas respostas como seus resultados.

Os conteúdos das atividades foram adotados com níveis de dificuldade e aplicabilidade suficientes para a população amostrada, levando-se em conta que as unidades experimentais já estariam sendo estimuladas pelas atividades dos cursos regulares. Nesta condição, assume-se que as cargas horárias das atividades experimentais são suficientes para estimulá-las adequadamente, e também, que elas representam modos de estímulos e equivalentes.

Uma vez que nas atividades são contemplados a construção e a interpretação de representações gráficas, a terceira hipótese que se faz é que as práticas realizadas nas atividades são representativas das aplicações dos métodos de representação gráfica.

4.4 Condução dos experimentos

Durante os mini cursos foram realizados as atividades e em cada uma vários exercícios. Neste anexo são resumidos os pontos principais tratados nas atividades, e são mostrados vários exemplos de exercícios realizados pelos participantes. Procurou-se dar ênfase nas diferenças entre os modelos de representação, seus usos mais frequentes e suas limitações dentro de seus usos mais comuns. Isto serviu, de modo geral como aspecto motivador para que os alunos realizassem as atividades.

As atividades tiveram início com o enfoque dos usos mais comuns dos métodos de representação gráfica em processos de Engenharia. Despertada a motivação dos participantes pelos temas tratados, apresentou-se os conhecimentos necessários para a realização cada atividade, e passou-se à realização de exercícios. O método de aplicação das atividades baseou-se na apresentação gradativa dos tópicos seguidos de exemplos ou exercícios práticos. No apêndice “B” são mostrados vários exemplos ilustrados de trabalhos realizados durante os mini cursos, e também informações adicionais quanto a materiais e equipamentos utilizados nas atividades.

Durante a realização das atividades poucas intervenções no trabalho dos participantes eram feitas. Ao término dos tempos previstos para a realização das tarefas das atividades, eles entregavam as anotações solicitadas, e paravam os exercícios no estágio em que se encontravam. O desempenho geral dos participantes nos mini cursos é considerado satisfatório, e os esclarecimentos apresentados desde a divulgação dos mini cursos, colaboraram para que não houvesse muitas evasões, o que inviabilizaria o experimento. Esperava-se trabalhar com 12 participantes em cada grupo e conseguiu-se manter um número médio de 11.

Capítulo 5

Análise de dados

5.1 Introdução

O objetivo nessa análise é verificar, estatisticamente, se as atividades influenciaram significativamente o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial dos participantes dos mini cursos. Para isto adotou-se um método de análise Bayesiano. Nele parâmetros desconhecidos são tratados como variáveis aleatórias; a distribuição das informações disponíveis “a priori” é determinada. Elas são combinadas com os dados obtidos por meio de uma função de verossimilhança, baseada no **Teorema de Bayes**, o que permite obter as distribuições “a posteriori” nas quais se baseiam as inferências e decisões. De acordo com BOX; TIAO (1973) este método de análise resume-se a quatro etapas principais, que são:

1. especificar a função de verossimilhança;
2. determinar a distribuição das informações disponíveis “a priori”;
3. calcular a distribuição “a posteriori” usando o teorema de Bayes;
4. fazer inferências ou tomar decisões a partir das informações “a posteriori”.

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos nos experimentos, detalhados os procedimentos deste método de análise, e apresentados os resultados obtidos.

5.2 Dados obtidos

As tabelas 5.1 à 5.6 mostram os dados obtidos durante a realização dos experimentos. Eles representam os desempenhos obtidos pelos participantes nas atividades. O índice $I_{q,p}$ indica o grupo q e a unidade experimental p respectivamente.

Tabela 5.1: Dados obtidos: primeiro grupo experimental - primeira aplicação

Grupo 1		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{1,1}$	$I_{1,2}$	$I_{1,3}$	$I_{1,4}$	$I_{1,5}$	$I_{1,6}$	$I_{1,7}$	$I_{1,8}$	$I_{1,9}$	Soma
1	A	31	38	27	38	35	38	40	36	40	323
2	B	36	38	36	38	36	40	40	38	38	340
3	C	32	38	40	38	40	40	36	34	36	334
		99	114	103	114	111	118	116	108	114	997

Tabela 5.2: Dados obtidos: segundo grupo experimental - primeira aplicação

Grupo 2		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{2,1}$	$I_{2,2}$	$I_{2,3}$	$I_{2,4}$	$I_{2,5}$	$I_{2,6}$	$I_{2,7}$	$I_{2,8}$	$I_{2,9}$	Soma
1	B	26	17	22	24	38	24	31	25	31	238
2	C	38	26	36	27	34	30	35	36	38	300
3	A	40	30	34	25	38	34	34	30	40	305
		104	73	92	76	110	88	100	91	109	843

Tabela 5.3: Dados obtidos: terceiro grupo experimental - primeira aplicação

Grupo 3		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{3,1}$	$I_{3,2}$	$I_{3,3}$	$I_{3,4}$	$I_{3,5}$	$I_{3,6}$	$I_{3,7}$	$I_{3,8}$	$I_{3,9}$	Soma
1	C	38	25	25	36	37	32	21	27	25	266
2	A	33	34	30	40	40	38	19	37	36	307
3	B	40	38	37	38	38	40	33	40	40	344
		111	97	92	114	115	110	73	104	101	917

Em razão do número de participantes do primeiro grupo experimental ser menor que o dos outros, os valores mostrados na coluna $I_{1,9}$ da tabela 5.1 foram gerados aleatoriamente de acordo com uma distribuição normal. Respectivamente para as três linhas temos:

1. Média = 35,38 ; desvio padrão = 4,34: valor obtido = 40;

Tabela 5.4: Dados obtidos: primeiro grupo experimental - segunda aplicação

Grupo 1		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{1,1}$	$I_{1,2}$	$I_{1,3}$	$I_{1,4}$	$I_{1,5}$	$I_{1,6}$	$I_{1,7}$	$I_{1,8}$	$I_{1,9}$	Soma
1	A	38	28	37	39	24	34	25	34	36	295
2	B	40	30	38	36	28	38	38	40	36	324
3	C	36	32	38	38	32	40	32	40	40	328
		114	90	113	113	84	112	95	114	112	947

Tabela 5.5: Dados obtidos: segundo grupo experimental - segunda aplicação

Grupo 2		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{2,1}$	$I_{2,2}$	$I_{2,3}$	$I_{2,4}$	$I_{2,5}$	$I_{2,6}$	$I_{2,7}$	$I_{2,8}$	$I_{2,9}$	Soma
1	B	32	37	14	30	32	16	14	36	12	223
2	C	36	38	22	31	32	33	30	40	18	280
3	A	30	40	31	32	36	34	34	40	26	303
		98	115	67	93	100	83	78	116	56	806

Tabela 5.6: Dados obtidos: terceiro grupo experimental - segunda aplicação

Grupo 3		Indivíduos									
Período	Atividade	$I_{3,1}$	$I_{3,2}$	$I_{3,3}$	$I_{3,4}$	$I_{3,5}$	$I_{3,6}$	$I_{3,7}$	$I_{3,8}$	$I_{3,9}$	Soma
1	C	28	14	38	30	28	32	21	31	38	260
2	A	34	34	36	38	38	38	30	33	40	321
3	B	28	32	40	40	38	39	34	33	40	324
		90	80	114	108	104	109	85	97	118	905

2. Média = 37,75 ; desvio padrão = 1,70: valor obtido = 38;

3. Média = 37,25 ; desvio padrão = 3,01: valor obtido = 36.

5.2.1 Totais das atividades e dos períodos

A tabela 5.7 mostra os totais das atividades, juntamente com as respectivas variâncias e desvios padrão. A tabela 5.8 mostra os totais dos períodos. A figura 5.1 mostra a distribuição dos dados obtidos.

Esta análise baseia-se na suposição de que as pontuações obtidas nos experimentos seguem distribuição normal. De acordo com o que mostra a figura 5.1 isto não ocorreu. Pode-se entretanto recorrer a uma simplificação, que é utilizar os valores médios, uma vez que, pelo Teorema do Limite Central, eles tendem a seguir distri-

Tabela 5.7: Estatísticas das atividades

Atividade	A	B	C
Totais das atividades	1.854	1.793	1.768
Médias	34,33	33,20	32,74
Desvios padrão	4,88	7,70	6,25
Variâncias	23,88	59,30	39,13

Tabela 5.8: Totais dos períodos

Período	1	2	3
Soma	1.605	1.872	1.938

Figura 5.1: Histograma de distribuição dos dados obtidos

buição normal. Este teorema afirma que dado uma sequência de variáveis aleatórias independentes $X_1, X_2, \dots, X_n$, de médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ e variâncias $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$, a soma $X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ segue distribuição normal com média $\mu = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n$ e variância $\sigma = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2$, quando n tende ao infinito (COSTA NETO, 1977).

5.3 Análise Bayesiana

Os experimentos foram conduzidos aplicando-se sucessivamente as atividades em diferentes ordens. Tivemos as sequências (A;B;C), (B;C;A) e (C;A;B). Estas

realizações geraram um fenômeno que pode ser descrito por variáveis desconhecidas, cada uma representando o resultado de uma atividade ou as interações entre elas. Tomando como exemplo a seqüência de atividades (**A;B;C**), de agora em diante chamados de tratamentos, assume-se que os resultados obtidos nos experimentos podem ser descritos pela expressão:

$$y = \mu + A + B + C + \dots + AB + BC + ABC + \dots + \epsilon \quad (5.1)$$

onde, μ é nota média que teria um participante idealizado antes de passar por qualquer uma das atividades, e ϵ , é uma variável normalmente distribuída com média 0 e variância σ^2 , associada a cada tratamento. $A + B + C + \dots + AB + BC + ABC + \dots$ são os tratamentos, cujos resultados são valores não aleatórios associados à distribuições de probabilidade. AB, BC e ABC são as interações entre os tratamentos. Por exemplo, a seqüência de tratamentos BCA , a cada período tem seu resultado descrito pelas seguintes expressões:

$$\text{Após } 1^{\text{o}} \text{ Período: } y = \mu + C + \epsilon$$

$$\text{Após } 2^{\text{o}} \text{ Período: } y = \mu + C + A + CA + \epsilon$$

$$\text{Após } 3^{\text{o}} \text{ Período: } y = \mu + C + A + B + CA + AB + \epsilon$$

De acordo com as seqüências de aplicações dos tratamentos, A, B e C são chamados de efeitos principais; CA e AB são chamados interações de primeira ordem, e CAB é chamado interação de segunda ordem. As variáveis desconhecidas C, A e B tem densidade de probabilidade conjunta denotada por $C, A, B, CA, \dots CAB = f(\beta)$, onde $(\beta) = (\beta_0, \dots, \beta_q)$.

Como assumiu-se por hipótese que os dados analisados seguem distribuição normal e são independentes, a função de verossimilhança, que atualiza as informações disponíveis “a priori” em função dos dados obtidos é a seguinte:

$$L(\beta|y) = K \times \text{Exp} \left[-\frac{h}{2} (y - g\beta)^T (y - g\beta) \right] \quad (5.2)$$

onde, h , é inverso das variâncias dos erros nos tratamentos nos primeiros períodos de aplicação. Uma vez que se considera a variância total dos resultados dos tratamentos, as informações são atualizadas com uma precisão adequada para a situação de análise. β é o vetor de parâmetros das informações disponíveis “a priori”, e g é matriz experimental. Combinando-as com uma função de verossimilhança através do Teorema de Bayes, com as funções de densidade de probabilidade, considerando-as contínuas, o teorema pode ser escrito como mostrado abaixo.

$$f(\beta|y) = \frac{f(y|\beta)f(\beta)}{\int_{\beta_0} \int_{\beta_1} \dots \int_{\beta_q} f(y|\beta)d\beta} \quad (5.3)$$

Como o denominador no teorema não depende do vetor de parâmetros desconhecidos, β , este pode ser reescrito como:

$$f(\beta|y) = K \times f(y|\beta)f(\beta) = L(\beta|y)f(\beta) \quad (5.4)$$

A função densidade de probabilidade de β , conhecidos os valores de y , é proporcional à função de verossimilhança $L(\beta|y)$, vezes a função densidade de probabilidade de β , especificada “a priori”. A expressão abaixo mostra o modo como são atualizadas as crenças sobre β .

$$f^{post}(\beta|y) = K \times L(\beta|y)f^{prior}(\beta) \quad (5.5)$$

O lado esquerdo representa a crença atualizada após os dados obtidos terem sido analisados, e é chamado de distribuição “a posteriori”. No lado direito, $f^{(prior)}(\beta)$, representa a densidade de probabilidade de β , chamado de distribuição “a priori”, que representa a crença do experimentador antes da análise dos dados. A constante K , assegura basicamente que a expressão 5.2 seja de fato uma função densidade de probabilidade como mostra a expressão abaixo.

$$\int_{\beta} f^{post}(\beta|y)d\beta = 1 \quad (5.6)$$

Para determinar h , primeiramente encontramos a variância dos erros dentro das atividades, de acordo com a expressão:

$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_1^2 + (n_3 - 1)S_3^2}{(n_1 + n_2 + n_3) - 3} \quad (5.7)$$

resolvendo a expressão 5.1 a variância total nos tratamentos.

$$\sigma^2 = \frac{(17)(23,88)^2 + (17)(59,29)^2 + (17)(39,13)^2}{51} = 40,76 \quad (5.8)$$

O valor esperado da variância total é obtido dividindo-se o resultado obtido na expressão 5.8 pelo número de participantes em cada atividade, isto é:

$$\sigma^2 = \frac{40,76}{18} = 2,26 \quad (5.9)$$

A tabela 5.9 resume as informações sobre os valores médios obtidos após a aplicação dos tratamentos.

Tabela 5.9: Valores esperados dos efeitos das atividades

SAT	MID	EPI						VMO	TTO
A	μ	A	-	-	-	-	-	34,33	7,5
B	μ	-	B	-	-	-	-	25,61	12,5
C	μ	-	-	C	-	-	-	29,22	17,5
AB	μ	A	B	-	AB	-	-	36,89	20,0
BC	μ	-	B	C	-	BC	-	32,22	30,0
CA	μ	A	-	C	-	-	CA	34,89	25,0
ABC	μ	A	B	C	AB	BC	-	36,78	37,5
BCA	μ	A	B	C	-	BC	CA	33,78	37,5
CAB	μ	A	B	C	AB	-	CA	37,11	37,5

As abreviações na tabela acima são indicam respectivamente:

SAT - Sequência de atividades;

MID - Desempenho de um participante idealizado;

EPI - Efeitos principais e interações;

VMO - Valores médios obtidos após os respectivos tratamentos;

TTO - Tempo total de duração dos respectivos tratamentos (horas).

A partir da tabela 5.9 podemos definir as condições de análise montando as matrizes experimentais que as resume. Colocando os experimentos na forma matricial temos:

$$\begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \\ B \\ C \\ AB \\ BC \\ CA \\ ABC \\ BCA \\ CAB \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{Bmatrix} \quad (5.10)$$

Onde $\beta = \begin{Bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_6 \end{Bmatrix}$ é o vetor de parâmetros desconhecidos, cujos elementos estão

associados as variáveis: $\beta_0 = \mu, \beta_1 = A, \beta_2 = B, \beta_3 = C, \beta_4 = AB, \beta_5 = BC, \beta_6 =$

CA .

$$g = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ é a matriz do planejamento experimental.}$$

Escrevendo a expressão 5.10 de modo mais compacto temos:

$$y = g \times \beta \quad (5.11)$$

As diferenças entre os valores experimentais esperados e os valores experimentais

médios obtidos são definidas como erros associados a um tratamento. Eles são dados por:

$$E = \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \vdots \\ \epsilon_9 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}) - \bar{y}(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}) \\ y(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}) - \bar{y}(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}) \\ y(x_{13}, x_{23}, \dots, x_{n3}) - \bar{y}(x_{13}, x_{23}, \dots, x_{n3}) \\ \vdots \\ y(x_{19}, x_{29}, \dots, x_{n9}) - \bar{y}(x_{19}, x_{29}, \dots, x_{n9}) \end{Bmatrix} \quad (5.12)$$

De modo mais compacto se torna:

$$E = y - g\beta \quad (5.13)$$

Como é necessário estudar várias variáveis conjuntamente, utiliza-se matrizes de covariância para se verificar a característica das associações entre as variáveis. A matriz $M^{(1)}$ das variáveis desconhecidas “a priori” é:

$$M^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

O vetor de parâmetros desconhecidos “a priori” $\beta^{(1)T} = [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_6]$ é:

$$\beta^{(1)T} = [25, 0, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (5.15)$$

Onde “25” representa a “crença” que tínhamos sobre o desempenho que os participantes teriam no teste *MRT*, antes de passarem pelos tratamentos. Os outros valores representam respectivamente os efeitos principais e as interações, que “a pri-

ori” nada sabíamos.

O vetor $y^T = [y_1, y_2, \dots, y_p]$ que contém os dados experimentais, é composto a partir dos valores apresentados na tabela 5.9, respectivamente pelos efeitos principais e pelas interações. Assim temos:

$$y^T = \begin{bmatrix} 34,33 & 25,61 & 29,22 & 36,89 & 32,22 & 34,89 & 36,78 & 33,78 & 37,11 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

A distribuição das informações “a priori”, assumida neste trabalho é dada por:

$$f^{prior} = \text{Exp} \left[-\frac{h}{2} (\beta - \beta^{(1)})^T M^{(1)} (\beta - \beta^{(1)}) \right] \quad (5.17)$$

A expressão abaixo mostra como estas informações são representadas por meio de vetores:

$$\beta^{prior} = N \left(\beta^{(1)}, (h \times M^{(1)})^{-1} \right) \quad (5.18)$$

Na notação $N(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, N indica uma variável normalmente distribuída com $\mathbf{a}$ igual ao vetor médio dos parâmetros, e $\mathbf{b}$ indicando o inverso das matrizes de correlação M . A distribuição “a posteriori” é dada pela expressão abaixo (BOX; TIAO, 1973).

$$\beta^{post} = N \left(\beta^{(2)}, (h \times M^{(2)})^{-1} \right) \quad (5.19)$$

A matriz de correlação das informações “a posteriori” $M^{(2)}$, é dada por:

$$M^{(2)} = M^{(1)} + g^T g \quad (5.20)$$

onde, $\beta^{(2)}$ é o vetor de parâmetros atualizados, dado por:

$$\beta^{(2)} = M^{(2)-1} (M^{(1)} \beta^{(1)} + g^T y) \quad (5.21)$$

Resolvendo 5.20 e 5.21 obtemos a matriz de correlação $M^{(2)}$, e o vetor de parâmetros da distribuição “a posteriori” $\beta^{(2)}$, respectivamente 5.22 e 5.23.

$$M^{(2)} = \begin{bmatrix} 14,3 & -14,7 & -10,0 & -14,7 & 8,6 & 8,6 & 16,0 \\ -14,7 & 16,8 & 10,4 & 15,3 & -10,1 & -9,4 & -17,8 \\ -10,0 & 10,4 & 7,8 & 10,4 & -6,5 & -6,5 & -11,7 \\ -14,7 & 15,3 & 10,4 & 16,8 & -9,4 & -10,1 & -17,8 \\ 8,6 & -10,1 & -6,5 & -9,4 & 5,7 & 7,2 & 10,8 \\ 16,0 & -17,8 & -11,7 & -17,8 & 10,8 & 10,8 & 20,9 \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

$$\beta^{(2)} = \begin{bmatrix} 20,1 \\ 14,5 \\ 5,5 \\ 10,1 \\ -2,6 \\ -4,7 \\ -10,2 \end{bmatrix} \begin{matrix} \mu \\ A \\ B \\ C \\ AB \\ BC \\ CA \end{matrix} \quad (5.23)$$

Extraindo os autovalores da matriz inversa de $M^{(2)}$ obtemos variâncias dos valores da distribuição “a posteriori”.

$$\begin{matrix} 84,8 & 2,2 & 1,5 & 1,1 & 0,8 & 0,7 & 0,1 \\ \sigma_\mu^2 & \sigma_A^2 & \sigma_B^2 & \sigma_C^2 & \sigma_{AB}^2 & \sigma_{BC}^2 & \sigma_{CA}^2 \end{matrix} \quad (5.24)$$

Os valores mostrados nas expressões 5.23 e 5.24 fornecem as distribuições de probabilidade para os efeitos principais e para as interações entre as atividades. Para os efeitos principais estas distribuições são as seguintes:

1. Atividade A: Distribuição normal; $N(\mu = 14,5, \sigma = \sqrt{2,2})$;
2. Atividade B: Distribuição normal; $N(\mu = 5,6, \sigma = \sqrt{1,5})$;

3. Atividade C: Distribuição normal; $N(\mu = 10, 2, \sigma = \sqrt{1, 1})$.

As funções de densidade de probabilidade “a posteriori” dos efeitos das atividades **A**, **B** e **C** são mostradas na figura 5.2.

Figura 5.2: Densidades de probabilidade “a posteriori” dos efeitos principais

A probabilidade de uma atividade **S** ser, de fato, menos efetiva para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial do que outra atividade **T** é dada pela expressão mostrada abaixo.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^y f_s(x) f_t(y) dx dy \quad (5.25)$$

O primeiro termo refere-se à função cumulativa de distribuição e o segundo à função densidade de probabilidade da atividade considerada. Aplicando esta relação, comparativamente entre as atividades, considerando intervalos adequados para os valores obtidos, temos que probabilidade da atividade **A** ser, de fato, mais efetiva para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial do que a atividade **B** é 0,99. De modo idêntico, a probabilidade da atividade **A** ser, de fato, mais efetiva do que a atividade **C** é 0,98. A probabilidade da atividade de **C** ser, de fato, mais efetiva do que a atividade **B** é 0,99.

5.3.1 Resumo da análise dos dados

As atividades comparadas para observar seus efeitos no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial apresentaram entre si níveis de influência maiores ou menores, e isto pode ser interpretado como reflexos dos esforços perceptuais causados pelo uso dos métodos de representação gráfica, pois ambos são significativos. De acordo com a proposição inicial, a atividade **A** mostrou ter maior potencial, do que as atividades **B** e **C**, para desenvolver a habilidade de visualização espacial. A atividade **B** por sua vez deveria, apresentar em relação à atividade **C**, maior influência no desenvolvimento desta habilidade, o que não ocorreu. No próximo capítulo, os resultados são discutidos com mais detalhes.

Capítulo 6

Discussão e conclusão

6.1 Introdução

Neste estudo foram obtidas evidências de que o uso de diferentes métodos de representação gráfica têm efeitos diferenciados e significativos no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Estes usos melhoram os desempenhos dos indivíduos nas tarefas do teste *MRT*, cujo resultado é um indicador do nível desta habilidade. Tais evidências se constituem em informações que podem ser utilizadas para orientar propostas de novas atividades e a organização curricular de disciplinas que tenham como objetivo desenvolvê-la, pois ela, por ser sujeita à processos cognitivos, modifica-se em função de exposições à diferentes modos de estímulo propiciados pelos recursos empregados no ensino.

Nesse capítulo são discutidos os resultados obtidos em relação as proposições iniciais, os fatores que delimitam as conclusões, e também, aplicações das evidências obtidas no planejamento curricular da disciplina de Desenho para Engenharia.

6.2 Discussão

Este estudo foi conduzido tendo como proposição que o único fator a influenciar a habilidade de visualização espacial seria o esforço perceptual decorrente das ca-

racterísticas do uso dos métodos de representação gráfica. Os resultados obtidos mostram que em relação a este fator a atividade **A**, uso do desenho técnico, tem maior potencial para desenvolver a habilidade de visualização espacial quando comparado com os potenciais das outras, respectivamente: uso de modelos de arame e uso de modelos de sólidos. Esperava-se também que ao final da análise de dados, a atividade **B** mostrasse ter maior potencial para desenvolver esta habilidade do que a atividade **C**, o que não ocorreu. Como as diferenças entre as influências destas duas atividades são significativas, a proposição inicial não é rejeitada, mas é necessário explicar este resultado.

Quando um indivíduo utiliza um método de representação gráfica suas ações estão inseridas num contexto no qual elementos como distrações e da própria atividade, como o grau de familiaridade com os objetos representados, podem influir por exemplo no interesse pela mesma. Pode-se observar que nas atividades realizadas, mais ou menos informações são disponibilizadas para suas tarefas. Nas atividades **A** e **C** há respectivamente, tarefa de completar o conjunto das vistas e a de desenhar uma cadeira, enquanto que na atividade **B** todas as informações necessárias para a realização das tarefas são fornecidas.

Comparativamente, para um mesmo método de representação gráfica, quando um indivíduo desenha uma cadeira numa situação onde todas as informações necessárias, por exemplo, o tipo e suas dimensões são disponibilizadas, menores esforços das estruturas cognitivas são exigidos, do que em outra, onde todas as informações tem que ser obtidas a partir de associações com elementos externos, por exemplo deduzir quais devem ser suas dimensões. Na interpretação de informações, ocorre, de modo análogo, a mesma situação. Uma representação gráfica que contenha informações que não necessitam de nenhuma associação com elementos externos exige menores esforços do que outra que não as contenha. Nas situações em que não se necessita realizar associações com elementos externos, os processos perceptuais exigem menores esforços das estruturas cognitivas.

A suposição que se faz é que a disponibilidade de informações, comparativamente numa determinada situação, também influencia a habilidade de visualização espacial, pois também causa variação do esforço perceptual. A atuação conjunta dos dois fatores, nível de abstração e a disponibilidade de informação, formam uma hipótese plausível para explicar os resultados obtidos. Esta proposição pode ser rejeitada através da verificação da independência entre os dois fatores, isto é, se eles podem melhorar independentemente o desempenho desta habilidade.

6.2.1 Conclusão

A conclusão sobre o estudo realizado, de acordo com as evidências e condições em que foram obtidas, é que a atividade em que se utilizou aplicações de desenho técnico, tem maior potencial para desenvolver a habilidade de visualização espacial, quando comparada com os potenciais das outras atividades.

6.2.2 Limitações para generalização

Embora as atividades experimentais tenham contemplado, as ações de representar e interpretar informações através de aplicações dos métodos de representação gráfica, e a conclusão esteja de acordo com a proposição inicial, a principal limitação para as evidências obtidas é o desconhecimento de todos os fatores que podem influir em tais usos, por exemplo, o citado na discussão anterior. Até que não se tenha testado um número adequado de fatores, que são inerentes às situações que envolvam o uso de métodos de representação gráfica, essas evidências, por cautela não podem ser generalizadas.

6.3 Considerações finais

O uso das máquinas com comando numérico pelos participantes dos mini cursos foi satisfatório, mas requer assim como no caso dos sistemas computacionais, mais ou menos tempo para aprendizado, além de custos com a aquisição de material

para consumo, e periodicamente com a manutenção dos equipamentos. O tempo necessário para ensino do uso de recursos tecnológicos toma parte significativa das cargas horárias dos cursos, e a viabilidade de propostas que os incluem, podem levar à eliminação de tópicos do currículo, ou necessitar que se crie atividades paralelas, como disciplinas opcionais. A melhor característica deste tipo de equipamento para cursos de desenho é a possibilidade de ilustração de algumas das utilidades dos métodos de representação gráfica nas práticas de engenharia.

A precisão e a velocidade com que determinados tipos de tarefas podem ser realizadas são duas importantes características que permitem identificar fatores relacionados a uma habilidade. Estudos revisados sugerem que processos cognitivos são também influenciados por atividades motoras. A identificação de fatores relacionados à elas, deve começar pelo entendimento dos processos envolvidos no controle e coordenação dos movimentos realizados (PROCTOR; DUTTA(1985). Para verificar prováveis influência destes fatores, atividades como a construção de maquetes de papel a partir de perspectivas ou vistas ortográficas, podem ser comparadas com outras, onde ela é menos necessária, como em exercícios de Geometria Descritiva.

A habilidade de visualização espacial é uma característica importante dos indivíduos na comunicação gráfica, mesmo com o direcionamento de seus procedimentos causados pelas características dos métodos de representação gráfica mais elaborados. O acesso às informações contidas numa representação gráfica realística, suprime a necessidade de um processo perceptual elaborado, como o que ocorre no processo de formação de uma imagem mental a partir de vistas ortográficas. Recursos oferecidos, como remoção de linhas escondidas e tonalização, tornam mais fácil aos alunos a compreensão das informações durante a construção ou interpretação de representações gráficas, pois tornam as situações mais próximas do nível usual de percepção deles. Como sugestão, tais recursos de têm melhor aproveitamento de suas potencialidades quando aplicados no início dos cursos, quando os estudantes tem pouco ou nenhum contato com desenho.

Referências Bibliográficas

- [1] BERTOLINE, G.R. Visual science: An emerging discipline. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, 8., Austin, 1998. **Proceedings**. Austin, ISGG 1998. v.3, p.702-706.
- [2] BAAR, R.E; et al. The freshman engineering graphics course at the university of texas at austin. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, 8., Austin, 1998. **Proceedings**. Austin, ISGG 1998. v.3, p.702-706.
- [3] BESANT, C.B. **Cad/cam: projeto e fabricação com o auxilio de computador**. Rio de Janeiro, Campus, 1985.
- [4] BIEDERMAN, I. Real-time human image understanding in pilot performance models In: ELKIND et al. **Human performance models for computer-aided engineering**. Boston, Academic press, 1990. p. 126-143.
- [5] BOX,G.E.P; TIAO,G.C. **Bayesian inference in statistical analysis**. Massachusetts, Addison-Wesley, 1973.
- [6] CAMPOS, A.R.S. O estado do desenho no ensino oficial brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA NAS ARTES E NO DESENHO, 3., Ouro Preto, 2000. **Anais.**, UFOP, 2000. CD-ROM.

- [7] CARVALHO, S.F.G. A visão espacial: Aptidão ou processo de aprendizagem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO, 11., Recife, 1994. **Anais**. Recife, ETEFE, 1994. p.74-92.
- [8] CHURCHES, K.; et al. The impact of computer graphics in developing students visualization and mechanical engineering design abilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, 6., Tokyo, 1994. **Proceedings**. Tokyo, ISGG, 1994. v.3, p.771-775.
- [9] COOPER, L. A. Manipulation of visual information. In: ELKIND et al. **Human performance models for computer-aided engineering**. Boston, Academic press, 1990. p. 145-158.
- [10] COOPER, L. A.; SHEPARD, R.N. Turning something over the mind. In: The mind's eye: **Readings from Scientific American**. New York, W.H. Freeman and Company, 1984. p. 102-108.
- [11] DENO, J. A. The relationship of previous experiences to spatial visualization ability. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.59, n.3, p.5-17, 1995.
- [12] DEVON, R.; et al. The effect of solid modeling software on 3-D visualization skills. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.58, n.2, p.4-11, 1994.
- [13] FIGUEIREDO, J.N. Uma abordagem critica do ensino-aprendizagem do desenho técnico básico nos cursos de engenharia e desenho industrial da UNESP no Campus de Bauru. **Dissertação de mestrado** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação 1995.
- [14] FORGUS, R. H. **Percepção: O processo básico do desenvolvimento cognitivo**. Brasília, UNB, 1971.

- [15] FRENCH, T. E. The educational side of engineering drawing. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.40, n.3, p.32-35, 1976.
- [16] FRENCH, T.E; et al. **Modern Graphics Comunication**. New York. McGraw Hill, 1984.
- [17] FRENCH, T.E; VIERCK, C.J. **Desenho técnico e tecnologia gráfica**. São Paulo, 1985.
- [18] GARDNER, H. **A nova ciência da mente: Uma história da revolução cognitiva**. São Paulo, EDUSP, 1995.
- [19] HEARN, D.; BAKER, M.P.**Computer graphics**. New Jersey, Prentice- Hall, 1986.
- [20] HEGARTY,M.; KOZHEVNIKOV,M. Spatial abilities, working memory, and mechanical reasoning In: SPATIAL COGNITION CONFERENCE, Dublin, 1998. **Proceedings**. Dublin, 1998.
- [21] HELD, M. **On the computational geometry of pocket machining** . Berlin, Springer, 1991.
- [22] JONES, B.; KENWARD, M.G. **Design and analysis of cross-over trials**. London, Chapman and Hall, 1989.
- [23] JURRICIC, D.; BARR, R.E. Extending engineering design graphics laboratories to have a CAD/CAM component: Implementation issues. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.60, n.2, p.24-41, 1996.
- [24] KAWANO, A.; et al. **PCC 117 desenho para engenharia I**-Caderno de exercícios, São Paulo, Cyber, 1997.
- [25] KOSSLYN, S.M. **Image and brain: the resolution of the imagery debate**, New York, Mit Press, 1995.

- [26] LEOPOLD, C.; MULLER, L. Development of spatial skills by means of VRML-TOOLS In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, 8., Austin, 1998. **Proceedings**. Austin, ISGG 1998. v.3, p.257-260.
- [27] LOWENFELD, V. **Desenvolvimento da capacidade criadora**, São Paulo, Mestre Jou, 1970.
- [28] LÜCK, H. **Pedagogia interdisciplinar: Fundamentos teórico-metodológicos**, Petrópolis, Vozes, 1995.
- [29] LURIA, A.R. **Desenvolvimento cognitivo: Seus fundamentos culturais e sociais**. São Paulo, Ícone, 1990.
- [30] LUZADDER, W.J.; DUFF, J.M. **Fundamentals of engineering drawing: with an introduction to interactive computer graphics for design and production**. New York, Prentice Hall, 1993.
- [31] MACHADO, A. **Comando numérico aplicado à máquinas ferramentas**, 4. ed. São Paulo, Ícone, 1990.
- [32] MAFALDA, R.; KAWANO, A. Modelos de representação e processos cognitivos em desenho para engenharia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA NAS ARTES E NO DESENHO, 2., Feira de Santana, 1998. **Anais**. Feira de Santana, UEFES, 1998. p.252-256.
- [33] MAFALDA, R.; et al. Avaliação da eficácia dos cursos de desenho para engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 27., Natal, 1999. **Anais**. Natal, UFRN, 1999b. CD-ROM.
- [34] MARR, D. **Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information**. New York, W.H. Freeman and Company, 1982.

- [35] MILLER, C. L. Enhancing visual literacy of engineering students through the use of real and computer generated models. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.56, n.1, p.27-38, 1992.
- [36] MILLER, C. L. A historical review of applied and theoretical spatial visualization publications in engineering graphics. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.60, n.3, p.12-33, 1996.
- [37] MILLER, C.L; BERTOLINE, G.R. Spatial visualization research and theories: Their importance in the development of an engineering and technical design graphics curriculum model. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.55, n.3, p.5-43, 1991.
- [38] MONTENEGRO, G.A. A visão espacial: Aptidão ou processo de aprendizagem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO, 11., Recife, 1994. **Anais**. Recife, ETEFE, 1994. p.99-101.
- [39] MORTENSON, E.M. **Geometric modeling**. New York, John Willey, 1985.
- [40] NETO COSTA P.L.O. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.
- [41] PERRET,D.I; et al. Evidence accumulation in cell populations responsive to faces: An account of generalisation (sic) of recognition without mental transformations. **Cognition**, v.67, p.111-145, 1998.
- [42] PETERSEN, R. G. **Design and analysis of experiments**. New York, Marcel Dekker, 1985.
- [43] PIAGET, J. INHELDER, B. **Gênese das estruturas lógicas elementares**. Rio de Janeiro, Zahar, 1971.
- [44] PIATELLI-PALMARINI, M. **Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem: O debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky**. São Paulo, Cultrix, 1983.

- [45] POZO, J.I. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. 3^a ed. Porto alegre, Artes médicas, 1998.
- [46] PROCTOR, R.; DUTTA, G. **Skill acquisition and human performance**. New York, Sage, 1985.
- [47] RODRIGUES, M.H.W.L. A visão espacial: aptidão ou processo de aprendizagem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO, 11., Recife, 1994. **Anais**. Recife, ETEFE, 1994. p.93-98.
- [48] SEXTON, T.J. Effect on spatial visualization: introducing basic engineering graphic concepts using 3D CAD technology. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.56, n.3, p.36-43, 1992.
- [49] SHEPARD, R.N.; METZLER, J.M. Mental rotation of three-dimensional objects. **Science**, v. 171,n. 3972, p.701-703, 1971.
- [50] SHIINA, K.; et al. The relation between a mental rotations test and examination performance in descriptive geometry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, 6., Tokyo, 1994. **Proceedings**. Tokyo, ISGG, 1994. v.3 p.791-795.
- [51] SORBY, S.A; BAARTMANS, B.V. A Course for the development of 3-D spatial visualization skills. **The Engineering Design Graphics Journal**, v. 60, p. 13-20, 1996.
- [52] VANDENBERG, S.G.; KUSE, A.R. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. **Perceptual and Motor Skills**, v.47, p.599-604, 1978.
- [53] WIEBE, E.N. Visualization of three-dimensional form: a discussion of theoretical models of internal representation. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.57, n.1, p.18-28, 1993.

- [54] WILEY,S.E. Advocating the development of visual perception as a dominant goal of technical graphics curricula. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.53, n.1, p.1-12, 1989.
- [55] WILEY,S.E. An hierarchy of visual learning. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.54, n.3, p.30-35, 1990a.
- [56] WILEY,S.E. Computer graphics and the development of visual perception in engineering graphics curricula. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.54, n.2, p.39-43, 1990b.
- [57] ZEID, I. **CAD/CAM** Theory and practice.New York, McGraw-Hill, 1991.

Apêndice A

Máquinas com comando numérico

A.1 Introdução

Para as duas opções de exercício que utilizaram as máquinas com comando numérico, o ponto de partida foi a construção da representação gráfica de uma trajetória, correspondendo a um caminho a ser percorrido por uma ferramenta. De maneira natural existem duas estratégias para realizar a usinagem de um material; a primeira paralela ao contorno de uma determinada peça e a segunda paralela a uma direção. A figura A.1 exemplifica estas duas estratégias.

Figura A.1: Usinagem paralela ao contorno e paralela a uma direção

A partir da representação geométrica da trajetória, faz-se a aquisição das informações relativas às coordenadas dos vértices utilizando-se de algumas facilidades computacionais, presentes em programas *CAD* genéricos (BESANT, 1985). A partir deste dados constrói-se o programa de comando numérico.

Comando Numérico é a técnica pela qual instruções em forma de código são enviadas para uma máquina através de um processador embutido nela mesma. Elas se apresentam na forma de números, letras do alfabeto e outros símbolos, definindo uma linguagem de comando, que pode por exemplo, variar a posição da ferramenta, controlar sua velocidade e direção. As instruções são recebidas pela máquina como blocos de informações, que são grupos de comandos suficientes para a execução de uma determinada função, por exemplo, instruir a máquina para mover a mesa para uma coordenada específica. Um conjunto de blocos compõe um programa de comando numérico, que é um arranjo de blocos organizados de maneira lógica (MACHADO, 1990).

O preparo de dados à base de força bruta para comando numérico, encontra poucas aplicações em atividades industriais pois, além de ser tediosa possibilita a ocorrência de erros (HELD, 1991). Sua aplicação no ensino estimula as habilidades, como a de visualização espacial, pois leva o estudante a ter atenção com os limites de trabalho da ferramenta, e com o perigo de choque dela com outras partes da máquina. Nas atividades, o uso das máquinas consistiram na realização de um processo de usinagem de peça bruta de material.

A.2 Tipos de controle de usinagem

Usinagem é um processo controlado de remoção de material de uma peça bruta. Esse processo pode ser controlado de várias maneiras, e para as necessidades dos exercícios realizados foi considerado o tipo de controle denominado $2^1/2D$, onde dois dos três eixos são controlados simultaneamente. A figura A.3 ilustra este tipo de controle. Outros tipos de controle de numérico de processos de usinagem são descritos por HELD (1991). O tipo de máquina com comando numérico utilizada na atividade C, possui três eixos controláveis, como é exemplificado na figura A.2.

Figura A.2: Máquina com comando numérico: Eixos controláveis

A.3 Parâmetros de usinagem

Além de preparar uma trajetória para uma ferramenta (caminho de corte), há necessidade de que outros parâmetros sejam acrescentados, ao programa de comando numérico para que a ferramenta possa realizar um determinado trabalho sem correr risco de sofrer ou provocar danos. Estes parâmetros são

Figura A.3: Controle de usinagem $2\frac{1}{2}D$: Reproduzido de HELD (1991)

por exemplo, velocidade de giro da ferramenta e avanços axiais. Para a especificação destes parâmetros nos exercícios realizados, haviam duas restrições: a profundidade máxima de usinagem, devido ao tempo disponível e as dimensões da peça bruta, que delimitou a área de trabalho para os alunos. Tais restrições foram pré estabelecidos e passadas aos alunos como informação complementar, respectivamente 1.5 à 2 mm de profundidade e área de trabalho com 75 X 75 mm. Parte de um programa na linguagem utilizada, *CAM - GL12*, é mostrado na figura A.4.

$\wedge$ DF !RC10 V20 F2	ATIVA MODO DEFAULT VELOCIDADE AXIAL (6000rpm) VELOCIDADE NO EIXO Z - VELOCIDADE NOS EIXOS XY
Z Z	84.3066, 200.9844, -150.0000 124.8747, 163.8446, -150.0000
<u>AVANÇOS SIMULTÂNEOS</u>	

Figura A.4: Parâmetros de usinagem - programa de comando numérico

A partir da representação geométrica, os dados adquiridos são transformados em um conjunto ordenado de coordenadas, à qual se acresce os respectivos códigos de linguagem de comando numérico, Como mostrado na tabela A.1.

Tabela A.1: Parte de um programa CN em formato texto

Posições relativas da trajetória			
	X	Y	Z
Z	84.3066	200.9844	-150.000
Z	124.8747	152.5680	-150.000
Z	206.1788	163.8466	-150.000
Z	233.5898	170.6251	-150.000
Z	267.0700	145.7283	-150.000

A.4 Peça bruta e fixação

Nestas tarefas foram utilizadas peças brutas com dimensões de 175mm x 75mm x 38mm, e fixadas como mostra a figura A.5. Durante as etapas de usinagem este tópico mereceu atenção especial, pois a fixação é diretamente responsável pelo sucesso do processo, evitando que a peça sofra deslocamentos e cause deformações no resultado esperado.

Figura A.5: Usinagem:Fixação da peça bruta

A.5 A realização da usinagem

Tendo feito a representação geométrica, adquirido seus dados e fixado a peça bruta, os próximos passos são: o ajuste da posição de início do processo de usinagem relativamente ao sistema de eixos da máquina e a transferência do pro-

grama para a máquina. Cada uma destas etapas exigem cuidados específicos para evitar problemas tais como a soltura da peça bruta ou a extrapolação da área disponível para usinagem. Na figura A.6 são mostrados exemplos de exercícios realizados nesta atividade. No apêndice B são mostrados outros exemplos.

Figura A.6: Exemplos de exercícios: Usinagem de trajetórias

Apêndice B

Resultados dos exercícios

B.1 Aplicações de desenho técnico

Na atividade com desenhos técnicos houve as tarefas de desenhar as vistas indicadas em duas plantas e levantamento de dados quantitativos. As figuras B.1 e B.2 mostram exemplos de construções da vista “C” indicada nas plantas. A figura B.1 mostra a vista representada de modo invertido, indicando falha na interpretação da simbologia indicada, ou nos princípios de geração de vistas.

Figura B.1: Exemplo 1: vista C

As figuras B.3 e B.4 mostram exemplos de construções da vista “A”. A representação mais correta é a mostrada na figura B.4. A figura B.5 mostra exemplos dos cortes “A-A” e “B-B”.

Figura B.2: Exemplo 2: vista C

Figura B.3: Exemplo 1: vista A

Figura B.4: Exemplo 2: vista A

A figura B.6 mostra exemplo dos levantamentos de quantidades, neste caso, a área dos compartimentos da edificação. De modo geral a interpretação da escala de representação e a organização dos dados foram bem realizadas.

Figura B.5: Exemplos: (1) corte A-A; (2) corte B-B

AREA UTIL

Primeiro Pavimento

Garagem: $25,9625 \text{ m}^2$
 Sala de estar: $23,6775 \text{ m}^2$
 Sala de jantar: $17,08 \text{ m}^2$
 Área externa: $(13,065 + 4,725) = 27,79 \text{ m}^2$
 Circulação: $(5,1 + 10,935) = 16,035 \text{ m}^2$
 Copa/Cozinha: $19,88 \text{ m}^2$
 Área de serviço: $(4,620 + 1,10 + 1,025 + 2,46) = 9,205 \text{ m}^2$

Pavimento Superior

Biblioteca: $(1,935 + 16,350) = 28,285 \text{ m}^2$
 Circulação: $8,505 \text{ m}^2$
 Dormitório 1: $16,0775 \text{ m}^2$
 Dormitório 2: $19,04 \text{ m}^2$
 Sala de banho: $(2,04 + 3,87 + 5,8575) = 11,7675 \text{ m}^2$
 Sacada: $4,84 \text{ m}^2$

Figura B.6: Dados quantitativos

B.2 Aplicações de modelos de arame

Nesta atividade se procurou-se enfatizar o modo como são construídas representações de objetos com uso da técnica modelos de arame. Dentro do contexto

geral das atividades, procurou-se deixar claro aos participantes que esta técnica foi a primeira disponível em sistemas computacionais para criação de representações tridimensionais. A figura B.2 ilustra um exemplo das possibilidades de uso desta técnica.

Figura B.7: Representação realística(1)

Um dos pontos principais desta atividade, é o uso dos recursos de navegação no espaço que simula a tridimensionalidade, bem como dos procedimentos para geração de elementos geométricos em vários planos. Isto por que as representações construídos tem a aparência de uma estrutura construída por arames. Frequentemente a mesma imagem pode ser interpretada de maneiras diferentes. Isto é ambigüidade perceptual. A aplicação de faces sobre as arestas eliminam este problema, por que pode-se realizar operações de remoção de arestas escondidas e tonalização como é mostrado na figura B.8.

A figura B.9 mostra exemplos de representações gráficas construídas segundo este método. Uma ocorrência típica durante a realização destes exercícios é a confusão entre construir uma representação que simula a tridimensionalidade e uma perspectiva. A outra, é a seleção incorreta de vértices para a construção de uma aresta. Pensa-se estar fazendo uma coisa quando na verdade é outra.

A figura B.10 mostra um exemplo do exercício de aplicação faces sobre estrutura de arestas. O tipo de erro mais comum observado nestes exercícios foi o

Figura B.8: Representação realística(2)

Figura B.9: Modelos de arame: Exercícios

posicionamento incorreto de faces, pela dificuldade de distinção dos planos em que estão as arestas.

Um exemplo do levantamento quantitativo, feito a partir do modelo previamente preparado é mostrado na figura B.11. Observou-se na realização deste exercício a utilização de procedimentos pouco organizados para extração das informações.

O exercício de construção de uma maquete é exemplificado na figura B.12. De modo geral não houve dificuldades que mereçam destaque já que as informações necessárias foram todas passadas aos participantes ao longo do exercício.

Figura B.10: Modelo de arames: Aplicação de faces sobre arestas

Figura B.11: Dados quantitativos

B.3 Aplicações de modelos de sólidos e máquina com comando numérico

Nesta atividade procurou-se enfatizar as características da técnica modelagem de sólidos, em especial o conceito de que as representações são construídos utilizando-se operações entre elementos mais simples, até a obtenção de objetos mais complexos. Este método de construção mantém o histórico de construção dos modelos, a ordem na qual união, subtração, interseção são utilizadas para

Figura B.12: Maquete construída

criar a representação do objeto como mostra a figura B.13.

Figura B.13: Histórico de construção - Programa *Microstation SE: Modeler*

As árvores (*CSG- Constructive Solid Geometry*) são organizadas de modo que as operações mais recentes ocupam a parte superior. Dois objetos formam um nível na árvore *CSG*, e quando vários objetos são selecionados para uma única

operação (união, subtração, interseção), a árvore é automaticamente balanceada produzindo vários níveis (ZEID,1991). As representações dos objetos são definidos por operações chamadas de instanciação; a primeira, instanciação de primitivos e a segunda instanciação por varredura. As instanciações de primitivos tem como resultado um sólido primitivo, a outra um sólido de varredura. Após a apresentação de conceitos básicos sobre modelagem de sólidos, os participantes realizaram uma série de exercícios. A figura B.14 mostra um exemplo de uma representação gráfica criada segundo este método e um esboço do histórico de sua construção.

Figura B.14: Modelo de sólido e histórico de construção

O modo de acesso à informações, como o volume e ao histórico da construção são apresentados após a realização dos dois primeiros exercícios da lista, e é solicitado que sejam esboçados após a realização dos subsequentes. A figura B.15 exemplifica esboços e um modelo sólido referente ao projeto da cadeira. Os esboços tem função de auxiliar as decisões durante o modelamento.

Durante as explicações sobre ao funcionamento das máquinas com comando numérico, os participantes já iniciaram seu uso. Eles realizaram movimentos dos eixos manualmente, e também através de pequenos programas exemplos contendo de 12 à 15 posições. Na figura B.16 são mostrados vários exemplos do exercício de usinagem.

Figura B.15: Modelo de sólido (1), Esboços de idéias (2) e (3)

Figura B.16: Usinagem de trajetórias

B.4 Recursos utilizados nas atividades

Nas atividades foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

Programa *AutoCAD* r. 12 e *AME* r. 2.11 ¹;

Programa *Microstation SE* e *Microstation Modeler* ²;

Máquina com comando numérico: *CAMM3 - PNC 300* ³, e como material de consumo cera de modelagem com dimensões (175mm X 75mm X 38mm).

¹Marcas registradas da empresa Autodesk, Inc.

²Marcas registradas da empresa Bentley Systems Inc.

³Marca registrada da empresa Roland Digital Group

Apêndice C

Análise de dados clássica

C.1 Introdução

Quando um indivíduo passa por uma atividade, de acordo com a seqüência de aplicação, o acontecimento observado ao final é chamado **efeito direto**. Se ele não passar por nenhuma outra atividade, este efeito é chamado também de **efeito permanente**.

Neste estudo, com a aplicação de três atividades em seqüência, é possível que as respostas obtidas na segunda e terceira atividades tenham sido influenciadas pelas anteriores. As influências de uma atividade sobre as subsequentes são chamadas de efeitos **residuais**. Uma vez que este modelo de análise é linear, tais efeitos podem ser considerados; assim a necessidade de estimá-los foi considerada. De acordo com as hipóteses assumidas no capítulo quatro, as medidas de desempenho obtidas após o primeiro período de aplicação de uma atividade em todos os grupos experimentais estão livres de influências externas, tais como as atividades do curso regular. Para estimar os efeitos residuais após atividades subsequentes PETERSEN (1985) diz que podem ser feitas as seguintes suposições:

1. Os efeitos residuais presentes em qualquer período de aplicação de uma ati-

vidade são devidos somente à atividade imediatamente anterior; isto é, uma atividade não tem efeito além do período seguinte ao de sua aplicação;

2. Os efeitos residuais de uma dada atividade são independentes dos efeitos da atividade anterior; isto é, considera-se somente efeitos residuais de primeira ordem (JONES; KENWARD, 1989).

Assim como no capítulo cinco, o objetivo nessa análise é verificar estatisticamente se as atividades influenciaram significativamente a habilidade de visualização espacial.

C.2 Quadrados latinos

De acordo com os procedimentos deste método de análise, os dados obtidos nos experimentos e mostrados no capítulo 5, tabelas 5.1 à 5.6, são blocados de modo que cada um contenha uma unidade de todas as seqüências de atividades. A razão para esta blocagem é que a variação entre os blocos é eliminada do erro experimental, o que aumenta a precisão da análise. Construindo os blocos aleatoriamente obtemos as tabulações mostradas na tabela C.1.

Tabela C.1: Blocagem dos dados obtidos nos experimentos

Alunos									Somas		
Bloco	Período	11		12		13		período	atividade	residual	
1	1	A	31	B	26	C	38	95	A	104	76
	2	B	36	C	38	A	33	107	B	102	70
	3	C	32	A	40	B	40	112	C	108	73
Somas		99		104		111		314	314	219	

Alunos									Somas		
Bloco	Período	21		22		23		período	atividade	residual	
2	1	A	38	B	17	C	25	80	A	102	76
	2	B	38	C	26	A	34	98	B	93	64
	3	C	38	A	30	B	38	106	C	89	64
Somas		114		73		97		284	284	204	

Alunos									Somas		
Bloco	Período	31		32		33		período	atividade	residual	
3	1	A	27	B	22	C	25	74	A	91	73
	2	B	36	C	36	A	30	102	B	95	76
	3	C	40	A	34	B	37	111	C	101	64
Somas		103		92		92		287	287		213

Alunos									Somas		
Bloco	Período	41		42		43		período	atividade	residual	
4	1	A	38	B	24	C	36	98	A	103	76
	2	B	38	C	27	A	40	105	B	100	65
	3	C	38	A	25	B	38	101	C	101	65
Somas		114		76		114		304	304		206

Alunos									Somas		
Bloco	Período	51		52		53		período	atividade	residual	
5	1	A	35	B	38	C	37	110	A	113	74
	2	B	36	C	34	A	40	110	B	112	74
	3	C	40	A	38	B	38	116	C	111	78
Somas		111		110		115		336	336		226

Alunos									Somas		
Bloco	Período	61		62		63		período	atividade	residual	
6	1	A	38	B	24	C	32	94	A	110	80
	2	B	40	C	30	A	38	108	B	104	70
	3	C	40	A	34	B	40	114	C	102	72
Somas		118		88		110		316	316		222

Alunos									Somas		
Bloco	Período	71		72		73		período	atividade	residual	
7	1	A	40	B	31	C	21	92	A	93	73
	2	B	40	C	35	A	19	94	B	104	71
	3	C	36	A	34	B	33	103	C	92	53
Somas		116		100		73		289	289		197

Alunos									Somas		
Bloco	Período	81		82		83		período	atividade	residual	
8	1	A	36	B	25	C	27	88	A	103	78
	2	B	38	C	36	A	37	111	B	103	70
	3	C	34	A	30	B	40	104	C	97	67
Somas		108		91		104		303	303		215

Alunos									Somas		
Bloco	Período	91		92		93		período	atividade	residual	
9	1	A	40	B	31	C	25	96	A	116	78
	2	B	38	C	38	A	36	112	B	109	74
	3	C	36	A	40	B	40	116	C	99	76
Somas		114		109		101		324	324		228

Alunos									Somas		
Bloco	Período	101		102		103		período	atividade	residual	
10	1	A	38	B	32	C	28	98	A	102	68
	2	B	40	C	36	A	34	110	B	100	72
	3	C	36	A	30	B	28	94	C	100	64
Somas		114		98		90		302	302		204

Alunos									Somas		
Bloco	Período	111		112		113		período	atividade	residual	
11	1	A	28	B	37	C	14	79	A	102	62
	2	B	30	C	38	A	34	102	B	99	70
	3	C	32	A	40	B	32	104	C	84	74
Somas		90		115		80		285	285		206

Alunos									Somas		
Bloco	Período	121		122		123		período	atividade	residual	
12	1	A	37	B	14	C	38	89	A	92	78
	2	B	38	C	22	A	36	96	B	98	60
	3	C	38	A	31	B	40	109	C	104	67
Somas		113		67		114		294	294		205

Alunos									Somas		
Bloco	Período	131		132		133		período	atividade	residual	
13	1	A	39	B	30	C	30	99	A	109	76
	2	B	36	C	31	A	38	105	B	106	69
	3	C	38	A	32	B	40	110	C	99	70
Somas		113		93		108		314	314		215

Alunos									Somas		
Bloco	Período	141		142		143		período	atividade	residual	
14	1	A	24	B	32	C	28	84	A	98	66
	2	B	28	C	32	A	38	98	B	98	64
	3	C	32	A	36	B	38	106	C	92	74
Somas		84		100		104		288	288		204

Alunos									Somas		
Bloco	Período	151		152		153		período	atividade	residual	
15	1	A	34	B	16	C	32	82	A	106	77
	2	B	38	C	33	A	38	109	B	93	73
	3	C	40	A	34	B	39	113	C	105	72
Somas		112		83		109		304	304		222

Alunos									Somas		
Bloco	Período	161		162		163		período	atividade	residual	
16	1	A	25	B	14	C	21	60	A	89	72
	2	B	38	C	30	A	30	98	B	86	62
	3	C	32	A	34	B	34	100	C	83	64
Somas		95		78		85		258	258		198

Alunos									Somas		
Bloco	Período	171	172	173	período	atividade	residual				
17	1	A	34	B	36	C	31	101	A	107	73
	2	B	40	C	40	A	33	113	B	109	80
	3	C	40	A	40	B	33	113	C	111	73
Somas		114	116	97	327	327	226				

Alunos									Somas		
Bloco	Período	181	182	183	período	atividade	residual				
18	1	A	36	B	12	C	38	86	A	102	76
	2	B	36	C	18	A	40	94	B	88	58
	3	C	40	A	26	B	40	106	C	96	66
Somas		112	56	118	286	286	200				

C.3 Análise dos dados

Neste modelo de análise as atividades são designadas pela letra **p** e os quadrados latinos são designados por **q**, com **p** alunos em cada um. Para designar as pontuações temos:

$y_{ijk(l)}$ = pontuação obtida pelo aluno jth no quadrado ith sujeito à sequência de atividades lth durante o período kth .

$Q_{ik} = \sum_j y_{ijk(l)}$ = soma das pontuações para o período kth no quadrado ith .

$U_{ij} = \sum_k y_{ijk(l)}$ = soma das pontuações para o participante jth no quadrado ith .

$T_{il} =$ soma para uma atividade lth no quadrado ith .

$F_{il} =$ soma das pontuações posteriores a uma atividade lth no quadrado ith .

$S_i = \sum_k Q_{ik} = \sum_j U_{ij}^2 = \sum_l T_{il} =$ soma das pontuações no quadrado ith .

Essa análise tem início com as tabelas C.2 e C.3. Elas mostram respectivamente os totais das atividades e dos períodos.

Tabela C.2: Totais das atividades				
Atividades	A	B	C	soma
Soma	1.854	1.793	1.768	5.415

Tabela C.3: Totais das períodos

Período	1	2	3	soma
Soma	1.605	1.872	1.938	5.415

C.3.1 Efeitos ajustados

A tabela C.4 mostra os valores dos efeitos diretos, residuais e permanentes das atividades. Eles são obtidos a partir dos cálculos mostrados abaixo. Respectivamente temos:

Tabela C.4: Totais dos efeitos das atividades

Atividade	Totais			Efeitos ajustados		
	Direto	Residual	Último	Direto	Residual	Permanente
A	1.854	1.332	1.649	275	237	512
B	1.793	1.242	1.822	-127	-237	-364
C	1.768	1.236	1.944	-148	0	-148
Somas	5.415	3.810	5.415	0	0	0

$D_l = \Sigma_i T_{il}$ = soma das pontuações da atividade lth .

$R_l = \Sigma_i F_{il}$ = soma das pontuações obtidas posteriormente a uma atividade lth .

C_l = soma dos pontuações U_{ij} de todas as unidades experimentais para os quais uma atividade l foi aplicada no último período pth .

Os efeitos diretos ajustados das atividades são obtidos de acordo com a expressão: $D_l^* = (p^2 - p - 1)D_l + pR_l + C_l + P_l - pG$. Aplicando-se aos valores obtidos nas três atividades obtém-se:

$$D_a^* = (5)(1.854) + (3)(1.332) + 1.649 + 1.605 - (3)(5.415) = 275 \quad (C.1)$$

$$D_b^* = (5)(1.793) + (3)(1.242) + 1.822 + 1.605 - (3)(5.415) = -127 \quad (C.2)$$

$$D_c^* = (5)(1.768) + (3)(1.236) + 1.944 + 1.605 - (3)(5.415) = -148 \quad (C.3)$$

Os efeitos residuais ajustados das atividades são obtidos de acordo com a expressão: $R_l^* = (pD_l) + P^2R_l + pC_l + pP_l - pG$. Aplicando-se aos valores obtidos nas três atividades obtém-se:

$$R_a^* = (3)(1.854) + (9)(1.332) + (3)(1.649) + (3)1.605 - (5)(5.415) = 237 \quad (\text{C.4})$$

$$R_b^* = (3)(1.793) + (9)(1.242) + (3)1.822 + (3)(1.605) - (5)(5.415) = -237 \quad (\text{C.5})$$

$$R_c^* = (3)(1.768) + (9)(1.236) + (3)1.944 + (3)(1.605) - (5)(5.415) = 0 \quad (\text{C.6})$$

Efeitos permanentes ajustados são obtidos de acordo com a expressão: $T_l^* = D_l^* + R_l^*$. Aplicando-se aos valores obtidos nas três atividades obtém-se:

$$T_a = 275 + 237 = 512 \quad (\text{C.7})$$

$$T_b = -127 + (-237) = -364 \quad (\text{C.8})$$

$$T_c = -148 + 0 = -148 \quad (\text{C.9})$$

C.3.2 Valores esperados e variâncias

A tabela C.5 resume os valores esperados dos efeitos das atividades, assim como suas variâncias e desvios padrão. Os valores apresentados foram obtidos como é mostrado abaixo.

Tabela C.5: Médias dos efeitos ajustados das atividades			
Atividade	Direto	Residual	Permanente
A	34,70	1,10	35,80
B	32,84	-1,10	31,74
C	32,74	0	32,74
Desvio padrão	0,46	0,62	0,92

Os valores esperados das atividades $\bar{y}_{dl(a)}$, $\bar{y}_{dl(b)}$ e $\bar{y}_{dl(c)}$, considerando os efeitos diretos ajustados são obtidos pela expressão $\bar{y}_{dl} = \left[\frac{D_l^*}{qp(p+1)(p-2)} \right] + \frac{G}{qp^2}$. Aplicando-se aos valores obtidos tem-se:

$$\bar{y}_{dl(a)} = \frac{275}{216} + \frac{5.415}{162} = 34,70 \quad (\text{C.10})$$

$$\bar{y}_{dl(b)} = \frac{-127}{216} + \frac{5.415}{162} = 32,84 \quad (\text{C.11})$$

$$\bar{y}_{dl(c)} = \frac{-148}{216} + \frac{5.415}{162} = 32,74 \quad (\text{C.12})$$

A variância dos efeitos diretos das atividades é obtida através da expressão $V_{\bar{y}_{dl}} = \left[\frac{p^2-p-1}{qp(p+1)(p-2)} \right] MSE^*$. Aplicando-se aos valores obtidos tem-se:

$$V_{\bar{y}_{dl}} = \frac{5}{216}(9,17) = 0,21 \quad (\text{C.13})$$

Os valores esperados dos efeitos residuais das atividades $r_{l(a)}$, $r_{l(b)}$ e $r_{l(c)}$, são obtidos através da expressão: $r_l = \left[\frac{R_l^*}{qp(p+1)(p-2)} \right]$. Aplicando-se aos valores obtidos tem-se:

$$\bar{r}_{l(a)} = \frac{237}{216} = 1,10 \quad (\text{C.14})$$

$$\bar{r}_{l(b)} = \frac{237}{216} = -1,10 \quad (\text{C.15})$$

$$\bar{r}_{l(c)} = \frac{0}{216} = 0 \quad (\text{C.16})$$

A variância dos efeitos residuais das atividades é obtida através da expressão $V_{(\bar{r}_l)} = \left[\frac{p}{q(p+1)(p-2)} \right] MSE^*$. Aplicando-se aos valores obtidos tem-se:

$$V_{(\bar{\tau}l)} = \frac{3}{72}(9, 17) = 0,38 \quad (\text{C.17})$$

Os valores esperados dos efeitos permanentes das atividades $\bar{y}_{tl(a)}$, $\bar{y}_{tl(b)}$ e $\bar{y}_{tl(c)}$, são obtidos pela expressão $\bar{y}_{tl} = \left[\frac{T_l^*}{qp(p+1)(p-2)} \right] + \frac{G}{qp^2}$. Aplicando-se aos valores obtidos tem-se:

$$\bar{y}_{tl(a)} = \frac{512}{216} + \frac{5.415}{162} = 35,80 \quad (\text{C.18})$$

$$\bar{y}_{tl(b)} = \frac{-364}{216} + \frac{5.415}{162} = 31,74 \quad (\text{C.19})$$

$$\bar{y}_{tl(c)} = \frac{-148}{216} + \frac{5.415}{162} = 32,74 \quad (\text{C.20})$$

A variância dos efeitos permanentes das atividades é obtida através da expressão $V_{(\bar{y}_{tl})} = \left[\frac{2p-1}{qp(p-2)} \right] MSE^*$.

$$V_{(\bar{y}_{tl})} = \frac{5}{54}(9, 17) = 0,85 \quad (\text{C.21})$$

C.4 Análise de variância

A análise de variância é iniciada negligenciando-se os efeitos residuais e são adicionados no decorrer do trabalho. As hipóteses consideradas para análise de variância são as seguintes:

Hipótese H_0 : $A = B = C$, não há diferenças significativas entre as atividades;
hipótese H_1 : $A = B$; $A = C$ ou $B = C$, pelo menos duas das atividades apresentam diferenças significativas.

Os valores necessários para esta análise de variância são calculados como mos-

trado abaixo. Primeiramente o termo de correção C , que é obtido através da expressão: $C = G^2/qp^2$. Aplicando-se obtém:

$$C = \frac{5.415^2}{18(3)^2} = 181.001,39 \quad (\text{C.22})$$

A soma de quadrados total é obtida através da expressão: $SQTot = \Sigma_i \Sigma_j \Sigma_k y_{ijk(l)}^2 - C$.

$$SQTot = 187.557 - 181.001,39 = 6.555,61 \quad (\text{C.23})$$

A soma de quadrados dos períodos é obtida pela expressão: $SQP = (1/qp) \Sigma_k P_k^2 - C$.

$$SQP = \frac{9.836.253}{54} - 181.001,39 = 1.151,44 \quad (\text{C.24})$$

A soma de quadrados das atividades (sem ajuste) é obtida através da expressão: $SQA = (1/qp) \Sigma_l D_l^2 - C$.

$$SQA = \frac{9.777.989}{54} - 181.001,39 = 72,48 \quad (\text{C.25})$$

A soma de quadrados dos blocos é obtida através da expressão: $SQB = (1/p^2) \Sigma_i S_i^2 - C$.

$$SQB = \frac{1.180.767}{12} - 97.853,44 = 543,81 \quad (\text{C.26})$$

A soma de quadrados das unidades nos blocos é obtida através da expressão: $SQU = (1/p) \Sigma_i \Sigma_j U_{ij}^2 - C - SSS$.

$$SQU = \frac{554.761}{3} - 181.001,39 - 688,05 = 3.230,89 \quad (\text{C.27})$$

A soma de quadrados das atividades por blocos é obtida através da expressão:

$$SQAB = (1/p)\Sigma_i\Sigma_l T_i^2(l) - C - SSS - SSD.$$

$$SQAB = \frac{546.093}{3} - 181.001,39 - 688,05 - 72,48 = 269,08 \quad (C.28)$$

A soma de quadrados dos períodos por blocos é obtida através da expressão

$$SQPB = (1/p)\Sigma_i\Sigma_k Q_{ik}^2 - C - SSS - SSP:$$

$$SQPB = \frac{550.073}{3} - 181.001,39 - 688,05 - 1.151,44 = 516,79 \quad (C.29)$$

A soma de quadrados dos efeitos residuais ajustados das atividades é obtida

$$\text{através da expressão } SQER^* = \left[\frac{1}{qp^3(p+1)(p-2)} \right] \Sigma_l R_l^{*2}$$

$$SQER^* = \frac{112.338}{(18)(27)(4)(1)} = 57,79 \quad (C.30)$$

A soma de quadrados dos erros é obtida através da expressão $SQE = SQ_{Tot} -$

$$SQB - SQU - SQP - SQPB - SQA - SQAB - SQER^*$$

$$SQE = 6.555,61 - 1.151,44 - \dots - 269,08 - 516,79 - 57,79 = 568,79 \quad (C.31)$$

Na tabela C.4 são mostrados os resultados da análise de variância dos desempenhos obtidos nas atividades.

Tendo obtido na análise de variância uma diferença significativa entre pelo menos duas das atividades, H_0 é rejeitada. É necessário entretanto comparar duas á duas as médias obtidas para verificar se entre todas as atividades há diferenças significativas. Como se trata do mesmo número de participantes em cada atividade, optou-se pelo teste *HSD* de **Tukey**, cuja estatística é a seguinte:

Tabela C.6: Análise de variância dos desempenhos

Fonte de variação	SQ	gl	QM	F
Total	6.555,61	161		
Atividades (sem ajuste)	72,48	2	36,24	3,95*
Blocos	688,05	17	40,47	
Períodos	1.151,44	2	575,72	
Unidades nos blocos	3.230,89	8	403,86	
Períodos x blocos	516,79	34	15,20	
Atividades x blocos	269,08	34	7,91	
Efeitos residuais	57,79	2	28,90	3,15*
Erros	568,79	62	9,17	

* significativo à 5%

$$W > \frac{gS}{a^1/2} \quad (\text{C.32})$$

Onde, G é o quantil de probabilidade para a distribuição (t) de **Student** com $(n - 1)$ graus de liberdade. A média harmônica refere-se ao número de participantes em cada atividade, que neste caso têm a mesma dimensão, assim o valor de a é igual a n , e S é o desvio padrão dos efeitos permanentes das atividades, uma vez que os efeitos residuais são significativos à 5%.

$$a = \frac{2}{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}} = \frac{2}{\frac{1}{54} + \frac{1}{54}} = 54 \quad (\text{C.33})$$

Para a situação do experimento (0,95; 52) o valor de g é 1,676. A média harmônica para quaisquer duas das atividades é:

$$a = \frac{2}{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}} = \frac{2}{\frac{1}{54} + \frac{1}{54}} = 54 \quad (\text{C.34})$$

O valor de W ;

$$W > \frac{gS}{a^1/2} = \frac{(1,676)(0,92)}{7,34} = 0,21 \quad (\text{C.35})$$

Se a diferença em valor absoluto, entre cada par de médias das atividades for igual ou superior a W , as diferenças entre elas é significativa. No caso das atividades **A** e **B** temos:

$$|\overline{X}_a - \overline{X}_b| = |35,80 - 31,74| = 4,06 > 0,21 \quad (\text{C.36})$$

A diferença entre as atividades **A** e **B** é significativa, sendo que a atividade **A** é mais efetiva do que a atividade **B**. Para a diferença entre as atividades **B** e **C** temos:

$$|\overline{X}_b - \overline{X}_c| = |31,74 - 32,74| = 1 > 0,21 \quad (\text{C.37})$$

A diferença entre as atividades **B** e **C** é significativa, sendo que a atividade **C** é mais efetiva do que a atividade **B**. Para a diferença entre as atividades **A** e **C** temos:

$$|\overline{X}_a - \overline{X}_c| = |35,80 - 32,74| = 3,06 > 0,21 \quad (\text{C.38})$$

A diferença entre as atividades **A** e **C** é significativa, sendo que a atividade **A** é mais efetiva do que a atividade **C**.

C.5 Resumo da análise de dados

Três atividades foram comparadas para observar possíveis influências destas no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. As diferenças encontradas são significativas estatisticamente a 5% à favor da atividade **A** em relação as atividades **B** e **C**, que também apresentam diferenças significativas entre si a favor da atividade **C** em relação a atividade **B**. Os efeitos residuais

foram significativos e considerados para a verificação das influências de cada atividade no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial.