

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

**Crítérios de Avaliação de Técnicas de
Visualização de Informações Hierárquicas**

por

PAULO ROBERTO GOMES LUZZARDI

Tese submetida à avaliação,
como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor
em Ciência da Computação

Prof.^a Dr.^a Carla Maria Dal Sasso Freitas
Orientadora

Porto Alegre, março de 2003

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Luzzardi, Paulo Roberto Gomes

Critérios de Avaliação de Técnicas de Visualização de Informações Hierárquicas/ por Paulo Roberto Gomes Luzzardi. - Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2003.

248. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2003. Orientadora: Freitas, Carla Maria Dal Sasso.

1. Visualização de Informações 2. Métodos de avaliação 3. Técnicas de Visualização. I. Freitas, Carla Maria Dal Sasso. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Profa. Wrana Maria Panizzi

Pró-Reitor de Ensino: Prof. José Carlos Ferraz Hennemann

Pró-Reitora Adjunta de Pós-Graduação: Prof^a. Jocélia Grazia

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*Dedico esta tese a meu Pai, Gilberto Ceciliano Luzzardi, e minha Mãe, Irlani
Gomes Luzzardi que me ensinaram a amar e tratar todas as pessoas iguais.*

À Deus que sempre guia meus passos ...

Agradecimentos

A minha orientadora de mestrado e doutorado, Prof^ª. Carla Maria Dal Sasso Freitas, pelas brilhantes sugestões, críticas, dicas e puxões de orelha que foram fundamentais à realização da minha tese de doutorado.

A minha esposa Adriane Maria Machado de Freitas Luzzardi e a minha única filha Paola de Freitas Luzzardi, pelo amor e compreensão.

Ao meu grande e fiel amigo Ricardo Andrade Cava, pelas sugestões e sessões de avaliação do Bifocal Tree.

Aos professores do Instituto de Informática da UFRGS, em especial aos professores do Grupo de Computação Gráfica do Instituto de Informática da UFRGS, Luciana Porcher Nedel, João Dihl Comba e Silvia Delgado Olabarriaga, que de alguma forma auxiliaram na conclusão deste trabalho.

Aos professores que participaram da comissão avaliadora da minha proposta de tese, Maria Cristina Ferreira de Oliveira, João Batista de Oliveira e Marcelo Soares Pimenta, pelas importantes sugestões.

A minha colega doutoranda Eliane da Silva Alcoforado Diniz, pelo companheirismo e incentivo.

Ao colega doutorando Marco Winckler pelas brilhantes sugestões, críticas e trocas de mensagens Brasil-França.

Um agradecimento especial ao professor Marcelo Soares Pimenta, pelos ensinamentos sobre usabilidade e pela realização de sessão de avaliação.

Ao Prof. Roberto Cabral de Mello Borges e a seus alunos, ao Prof. Marcelo Soares Pimenta, e aos colegas Eliane da Silva Alcoforado Diniz, Marco Winckler e Ricardo Andrade Cava, pela disponibilidade em realizar as avaliações necessárias para testar os resultados da tese.

Um agradecimento muito especial a Francisco de Paula Marques Rodrigues (colega doutorando), ex-diretor da Escola de Informática (UCPel) que sempre lutou pela atualização acadêmico-profissional dos professores da Escola de Informática (ESIN).

Aos professores, funcionários e alunos da Escola de Informática (ESIN) que realmente acreditaram nesta conquista ...

Finalmente, a Universidade Católica de Pelotas (UCPel) e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) que possibilitaram a realização deste trabalho.

Sumário

Lista de figuras	07
Lista de tabelas	11
Resumo	12
Abstract	13
1 Introdução	14
1.1 Contexto e motivação	15
1.2 Objetivos	18
1.3 Metodologia de trabalho	19
1.4 Contribuição da tese	20
1.5 Organização do texto	20
2 Visualização de informações	23
2.1 Caracterização das informações	23
2.2 Representação visual e metáfora visual	26
2.3 Tarefas de usuário e mecanismos de interação	28
2.4 Modelo de referência de visualização	32
2.5 Técnicas de visualização de informações	34
2.5.1 Visualização de características e valores diversos	35
2.5.2 Visualização de estruturas e relacionamentos	36
2.6 Visualização de informações hierárquicas	41
2.6.1 Técnicas baseadas em objetos geométricos	41
2.6.2 Técnicas baseadas em preenchimento de área	45
2.6.3 Técnicas baseadas em diagramas de nodos e arestas	51
2.7 Comentários finais	55
3 Avaliação da interação homem-computador	57
3.1 Conceitos e métodos	57
3.2 Critérios ergonômicos	63
3.3 Heurísticas de avaliação	67
3.4 Comentários finais	68
4 Avaliação de técnicas de visualização	71
4.1 Avaliação empírica de uma técnica de visualização	71
4.2 Comparação entre diferentes técnicas de visualização	77
4.3 Avaliação baseada em critérios específicos de técnicas de visualização	82
4.4 Aspectos críticos em avaliação de técnicas de visualização	87
4.5 Comentários finais	89
5 Critérios de avaliação	91
5.1 Critérios de avaliação para a representação visual	91
5.1.1 Limitações	92
5.1.2 Complexidade cognitiva	95
5.1.3 Organização espacial	97
5.1.4 Codificação de atributos	105
5.1.5 Transição entre estados	107
5.2 Critérios de avaliação para os mecanismos de interação	109
5.2.1 Descrição dos mecanismos de interação	110

5.3 Enquadramento dos critérios propostos no contexto geral de avaliações de interfaces gráficas	122
5.4 Comentários finais	127
6 Análise dos critérios de avaliação	129
6.1 Comparação de resultados de avaliações heurísticas	129
6.1.1 Método utilizado	129
6.1.2 Avaliação heurística com critérios de Nielsen	130
6.1.3 Avaliação heurística com os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin	139
6.1.4 Uso dos critérios de avaliação propostos	149
6.1.5 Discussão	160
6.2 Utilização dos critérios com método de inspeção de conformidade	162
6.3 Utilização dos critérios de avaliação na definição de ensaios de interação	164
6.3.1 Tarefas de usuário	164
6.3.2 Mapeamento de critérios de avaliação para tarefas de usuário	165
6.3.3 Ensaio de interação.....	170
7 Conclusões	173
7.1 Contribuição da tese	174
7.2 Trabalhos futuros	175
Apêndice 1 Material para avaliação heurística utilizando as dez heurísticas definidas por Nielsen.....	177
Apêndice 2 Material para avaliação heurística utilizando os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin.....	182
Apêndice 3 Material para avaliação heurística utilizando os critérios de Avaliação definidos por Luzzardi	190
Apêndice 4 Problemas de usabilidade detectados com as heurísticas de Nielsen e Bastien & Scapin e relacionados a técnica	197
Apêndice 5 Problemas de usabilidade detectados com as heurísticas de Nielsen e Bastien & Scapin e descartados da avaliação	198
Apêndice 6 Inspeção de Conformidade da técnica de visualização de informações hierárquicas - <i>Bifocal Tree</i>	199
Apêndice 7 Material para o ensaio de interação	218
Apêndice 8 Material de avaliação dos alunos (avaliação heurística)	221
Bibliografia	233

Lista de figuras

FIGURA 2.1 - Metáforas visuais adotadas pelo <i>Information Visualizer</i>	27
FIGURA 2.2 - Mecanismos de Interação.....	32
FIGURA 2.3 - Modelo clássico de visualização de Haber e McNabb.....	32
FIGURA 2.4 - Modelo de estado dos dados aplicado à <i>Web sites</i>	33
FIGURA 2.5 - Modelo de referência de visualização de Card et al.....	34
FIGURA 2.6 - <i>Chernoff Faces</i> - Visualização onde o domínio é um conjunto de programas ..	35
FIGURA 2.7 - Representação visual utilizando <i>Information Mural</i>	36
FIGURA 2.8 - <i>Bifocal Displays</i> : Distorções nas direções X e Y.....	37
FIGURA 2.9 - Representação de uma estrutura seqüencial de informações.....	38
FIGURA 2.10 - Representação visual: <i>Flip Zooming</i> com foco no objeto 8.....	38
FIGURA 2.11 - Representação visual: <i>Table Lens</i> com duas áreas focais.....	39
FIGURA 2.12 - Representação esquemática do <i>Perspective Wall</i>	40
FIGURA 2.13 - <i>Perspective Wall</i> : Histórico temporal de dados lineares.....	40
FIGURA 2.14 - <i>File System Navigator</i>	42
FIGURA 2.15 - <i>Information Cube</i>	43
FIGURA 2.16 - <i>Cityscape</i>	44
FIGURA 2.17 - <i>Cone Tree</i>	44
FIGURA 2.18 - Esquema básico da técnicas <i>TreeMaps</i>	45
FIGURA 2.19 - <i>TreeMaps</i>	45
FIGURA 2.20 - CHEOPS.....	46
FIGURA 2.21 - Representação da técnica <i>Information Slices</i>	47
FIGURA 2.22 - <i>Time Tube</i>	48
FIGURA 2.23 - <i>Disk Tree</i>	48
FIGURA 2.24 - <i>Sunburst</i>	49
FIGURA 2.25 - <i>Sunburst: Angular Detail</i>	50
FIGURA 2.26 - <i>Sunburst: Detail Outside</i>	50
FIGURA 2.27 - <i>Sunburst: Detail Inside</i>	51
FIGURA 2.28 - <i>InterRing</i>	51
FIGURA 2.29 - Representação da <i>Hyperbolic Tree</i>	52
FIGURA 2.30 - <i>MagniFind</i> : Visualização de uma árvore de diretório.....	52
FIGURA 2.31 - <i>Hyperbolic Tree Browser</i> : Visualização de um grafo utilizando a biblioteca <i>H3Viewer</i>	53
FIGURA 2.32 - <i>Bifocal Tree</i> : Técnica para informações hierárquicas com dois focos.....	54
FIGURA 2.33 - <i>Space Tree</i>	55
FIGURA 3.1 - Esquema de montagem de um ensaio de interação.....	61
FIGURA 3.2 - Critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin.....	64
FIGURA 3.3 - Relação dos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin e as heurísticas de Nielsen.....	69
FIGURA 4.1 - <i>Sparkler</i> exibindo uma visão olho-de-touro do perfil do resultado de seis consultas com os mesmos documentos selecionados.....	76
FIGURA 5.1 - Critérios de avaliação para uma representação visual.....	92
FIGURA 5.2 - Visualização <i>MagniFind</i> exibindo tipos de ícones diferentes.....	93
FIGURA 5.3 - Compactação de objetos no CHEOPS.....	94
FIGURA 5.4 - Controle do número de níveis no <i>TreeMaps</i>	94
FIGURA 5.5 - Representação de uma hierarquia binária: janela auxiliar na técnica <i>Bifocal Tree</i>	95
FIGURA 5.6 - <i>MagniFind</i> exibe o diretório raiz na cor vermelha e o nodo selecionado na cor azul.....	97

FIGURA 5.7 - <i>MagniFind</i> : Desaparecimento de um nodo	98
FIGURA 5.8 - <i>Bifocal Tree</i> utilizando a cor vermelha para representar nodo raiz e a sub-árvore visitada anteriormente	99
FIGURA 5.9 - <i>MagniFind</i> exibindo região com poucos objetos, devido à interação realizada pelo usuário	100
FIGURA 5.10 - <i>MagniFind</i> exibindo região com poucos objetos, devido à interação realizada pelo usuário	101
FIGURA 5.11 - <i>Bifocal Tree</i> com nível de detalhes reduzido para a exibição de nodos na área de detalhe	102
FIGURA 5.12 - <i>Bifocal Tree</i> exibindo mais detalhes dos nodos na área de detalhe.....	103
FIGURA 5.13 - Falta de legibilidade nas informações contextuais no <i>Bifocal Tree</i>	104
FIGURA 5.14 - <i>Bifocal Tree</i> exibindo a sub-árvore visitada no momento anterior.....	105
FIGURA 5.15 - <i>Bifocal Tree</i> exibindo o nodo “ <i>Santa Cruz</i> ” representando também a sub-árvore podada	106
FIGURA 5.16 - Utilização de sombra e transparência na representação visual de cones nas <i>Cones Tree</i>	106
FIGURA 5.17 - <i>TreeMaps</i> exibindo uma hierarquia	108
FIGURA 5.18 - <i>TreeMaps</i> exibindo uma visão detalhada de um nodo selecionado	108
FIGURA 5.19 - <i>MagniFind</i> exibindo uma hierarquia.....	109
FIGURA 5.20 - <i>MagniFind</i> exibindo o nodo selecionado “ <i>Meu Computador</i> ” no foco	109
FIGURA 5.21 - Mecanismos de interação identificados nas técnicas de visualização de informações hierárquicas	110
FIGURA 5.22 - <i>Cone Tree</i> exibindo a estrutura organizacional de uma empresa	111
FIGURA 5.23 - Controle de níveis hierárquicos no <i>TreeMaps</i>	112
FIGURA 5.24 - <i>MagniFind</i> - Poda dos nodos distantes do foco.....	112
FIGURA 5.25 - <i>SpaceTree</i> exibindo um gráfico organizacional	113
FIGURA 5.26 - <i>Bifocal Tree</i> exibindo um nodo agrupado	114
FIGURA 5.27 - <i>Bifocal Tree</i> expandiu um nodo	114
FIGURA 5.28 - <i>fsviz</i> : Representação visual exibindo um agrupamento de nodos.....	115
FIGURA 5.29 - <i>TreeMaps</i> exibindo 14 níveis hierárquicos	116
FIGURA 5.30 - Seleção de um nodo no <i>MagniFind</i>	117
FIGURA 5.31 - Seleção de um nodo no <i>Bifocal Tree</i>	118
FIGURA 5.32 - <i>Information Cube</i> : usuário seleciona um objeto com uma luva	119
FIGURA 5.33 - <i>Bifocal Tree</i> exibindo um segundo foco	120
FIGURA 5.34 - <i>MagniFind</i> exibindo a visão contextual do conjunto de informações.....	120
FIGURA 5.35 - <i>Undo</i> no <i>MagniFind</i> permite retornar a situação anterior	121
FIGURA 5.36 - “ <i>Back</i> ” e “ <i>foward</i> ” no <i>Bifocal Tree</i>	122
FIGURA 5.37 - Relação dos critérios de avaliação propostos com os critérios ergonômicos	123
FIGURA 6.1 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Visibilidade do <i>status</i> do sistema”	131
FIGURA 6.2 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Compatibilidade entre o sistema e o mundo real”	132
FIGURA 6.3 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Liberdade e controle do usuário”	133
FIGURA 6.4 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Consistência e padrões”	133
FIGURA 6.5 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Prevenção contra erros”	134
FIGURA 6.6 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Reconhecimento em lugar de lembrança”	135

FIGURA 6.7 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Flexibilidade e eficiência de uso”	135
FIGURA 6.8 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Projeto minimalista e estético”	135
FIGURA 6.9 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Ajudar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se”	136
FIGURA 6.10 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Ajuda e documentação”	137
FIGURA 6.11 - Grau de severidade x frequência dos 39 problemas de usabilidade encontrados pelo grupo de alunos, utilizando as heurísticas de Nielsen	138
FIGURA 6.12 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Incitação” .	139
FIGURA 6.13 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Agrupamento / distinção por localização”	140
FIGURA 6.14 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Legibilidade”	141
FIGURA 6.15 - Problema de usabilidade enquadrado no critério ergonômico “Concisão”	142
FIGURA 6.16 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Ações mínimas”	142
FIGURA 6.17 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Densidade informacional”	143
FIGURA 6.18 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Controle do usuário”	144
FIGURA 6.19 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Flexibilidade”	144
FIGURA 6.20 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Consideração da experiência do usuário”	145
FIGURA 6.21 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Proteção contra erros”	145
FIGURA 6.22 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Qualidade das mensagens de erro”	146
FIGURA 6.23 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Correção dos erros”	146
FIGURA 6.24 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Homogeneidade / coerência”	147
FIGURA 6.25 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Significados dos códigos e denominações”	147
FIGURA 6.26 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Compatibilidade”	148
FIGURA 6.27 - Grau de severidade dos 46 problemas de usabilidade encontrados (Bastien & Scapin)	148
FIGURA 6.28 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Limitações”	149
FIGURA 6.29 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Densidade dos dados”	151
FIGURA 6.30 - Problema de usabilidade enquadrado no critério de avaliação “Dimensão dos dados”	151
FIGURA 6.31 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Exibição de informações relevantes”	152
FIGURA 6.32 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Ordem lógica”	152
FIGURA 6.33 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Oclusão	

de objetos”	153
FIGURA 6.34 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Detalhes” .	154
FIGURA 6.35 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Contexto de referência”	155
FIGURA 6.36 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Codificação de informações em atributos visuais”	155
FIGURA 6.37 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Sentido de orientação”	156
FIGURA 6.38 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Facilidade de uso”	157
FIGURA 6.39 - Problema de usabilidade enquadrado no critério de avaliação “Eficiência no uso”	158
FIGURA 6.40 - Grau de severidade dos 55 problemas de usabilidade encontrados com os critérios de avaliação propostos.....	159
FIGURA 6.41 - Percentagem dos problemas de usabilidade obtidos na avaliação heurística com os grupos de alunos	160
FIGURA 6.42 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Busca”...	166
FIGURA 6.43 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Filtragem”	167
FIGURA 6.44 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Poda”	168
FIGURA 6.45 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Expansão”	168
FIGURA 6.46 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Agrupamento”	168
FIGURA 6.47 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Seleção de objetos”	169
FIGURA 6.48 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Manipulação do ponto de vista”	169
FIGURA 6.49 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Manipulação geométrica”	169
FIGURA 6.50 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Zooming”	169
FIGURA 6.51 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Recuperação de situações anteriores”	170
FIGURA 7.1 - Exemplo de uma tarefa de usuário sobre uma hierarquia grande.....	233

Lista de tabelas

TABELA 2.1 - Classificação das informações	24
TABELA 2.2 - Classes de representações visuais	26
TABELA 2.3 - Propósitos da visualização e tarefas visuais relacionadas	31
TABELA 2.4 - Implicações visuais e tarefas elementares relacionadas	31
TABELA 4.1 - Relação dos trabalhos relatando avaliação empírica de uma técnica de visualização	72
TABELA 4.2 - Relação dos trabalhos que comparam diferentes técnicas de visualização	79
TABELA 4.3 - Critérios e métricas definidas por Brath	82
TABELA 4.4 - Relação dos trabalhos abordando avaliação baseada em critérios específicos para uma técnica de visualização.....	86
TABELA 6.1 - Grau de severidade dos problemas de usabilidade encontrados	130
TABELA 6.2 - Tarefas de usuário de alto nível	164

Resumo

Técnicas de visualização de informações apresentam problemas de usabilidade inerentes aos sistemas interativos, muitos deles decorrentes da grande quantidade de informações exibidas em uma área muito pequena da tela, formas ineficientes de codificação de informações que permitem reduzir o volume de dados exibidos, mas podem acarretar problemas de consistência e homogeneidade, mecanismos interativos ineficientes do ponto de vista de tempo de resposta e adequação a diferentes tipos de usuários, etc.

Devido a estes problemas, os quais podem afetar significativamente a interpretação das informações pelos usuários, e à tentativa de melhorar a interação nas técnicas de visualização de modo geral, surgiu recentemente a preocupação em aplicar e, eventualmente, definir métodos de avaliação que permitam melhor analisar as principais características fornecidas pelas técnicas de visualização de informações. Esta necessidade decorre, em parte, do fato das técnicas de avaliação de usabilidade existentes não serem totalmente adequadas para detectar problemas relacionados às metáforas visuais empregadas por essas técnicas.

Neste trabalho, os diversos aspectos de avaliação de técnicas de visualização foram investigados no contexto específico de visualização de informações hierárquicas e o principal resultado obtido foi a definição de um conjunto de critérios de avaliação para técnicas desta categoria. Uma das características essenciais desse conjunto é o tratamento dado aos seus principais aspectos: a representação visual e os mecanismos de interação, não sendo considerados explicitamente os problemas referentes à interface gráfica.

O conjunto de critérios foi criado com base no estudo e experimentação das principais características fornecidas por técnicas de visualização de informações hierárquicas. Estes critérios foram refinados após sucessivas avaliações de quatro técnicas: *TreeMaps*, *MagniFind*, *CHEOPS* e *Bifocal Tree*.

Após o refinamento, os critérios foram utilizados experimentalmente em três tipos de métodos de avaliação tradicionais, a saber, avaliação heurística, inspeção de conformidade e ensaios de interação.

Os resultados obtidos com estas avaliações demonstraram que os critérios de avaliação, definidos neste trabalho, capturaram muito mais problemas relacionados à técnica do que os critérios tradicionalmente usados para avaliar interfaces gráficas. Um resultado promissor, não previsto, foi a constatação que o conjunto de critérios propostos detectaram, também, um número expressivo de problemas de usabilidade na interface, quando da aplicação das sessões de avaliação heurística. Este resultado evidencia a possibilidade de extensão deste conjunto de critérios a fim de avaliar, também, as principais características da interface das técnicas de visualização.

Palavras-Chave: Visualização de informações, técnicas de visualização, métodos de avaliação, estruturas hierárquicas, interação homem-computador, tarefas de usuário

TITLE: "CRITERIA FOR THE EVALUATION OF HIERARCHICAL INFORMATION VISUALIZATION TECHNIQUES"**Abstract**

Information visualization techniques present usability problems inherent to interactive systems, many of them being due to the great amount of information shown in a small display area; inefficient coding of information, which although allows reducing the volume of data displayed can cause consistency and homogeneity problems; inefficient interactive mechanisms from the point of view of time response and adequacy to different types of users, etc.

Due to these problems, which can significantly affect interpretation of information by users, and the attempt to improve interaction in visualization techniques in a general way, researchers have become aware of the importance of using and/or defining evaluation methods that are tailored to analyze the main characteristics provided by information visualization techniques. This need is partly due to the fact that existing usability evaluation methods are not completely adequate for detecting problems related to the visual metaphors used by such techniques.

In this thesis, the several aspects involved in the evaluation of visualization techniques were investigated in the specific context of hierarchical information visualization, and the main result was the definition of a set of criteria for the evaluation of such techniques. One of the essential characteristics of this set is the consideration of its two main aspects: visual representation and interaction mechanisms, although not explicitly considering issues related to the graphical interface.

The set of criteria was created on the basis of a broad study and intensive experimentation of the main characteristics provided by techniques for hierarchical information visualization. These criteria have been refined during successive evaluations of four techniques: TreeMaps, MagniFind, CHEOPS and Bifocal Tree.

After the refinement, the criteria were experimentally used with three types of traditional evaluation methods, namely, heuristic evaluation, inspection of conformity and user experiments.

The results from these evaluations demonstrated that the criteria proposed herein allow the detection of more problems related to the technique than those reported by evaluation using the criteria commonly employed to evaluate graphical interfaces. A promising, unforeseen result was the observation that, during heuristic evaluations, the use of our criteria allowed to detect a expressive number of usability problems in the graphical interface. This result shows the possibility of extending this set of criteria in order to also evaluate the main characteristics of the interface in visualization tools.

Keywords: Information visualization, evaluation methods, visualization techniques, hierarchical structures, human-computer interaction, users' tasks

1 Introdução

O avanço tecnológico nas comunicações, nos equipamentos de aquisição de imagens, dados e sinais em geral e na computação tem disponibilizado um grande volume de informações de diversas origens e formatos. Usuários acessando essas grandes bases de dados ou realizando buscas na Internet obtêm facilmente um grande volume de informações, dentre as quais muitas podem ser irrelevantes para os objetivos da tarefa a ser realizada. A quantidade de informações exibidas aos usuários, sua manipulação e os efeitos no sistema cognitivo humano são uma das principais preocupações na criação de representações visuais efetivas e eficientes.

Uma abordagem para contornar as dificuldades de selecionar informações relevantes nestas grandes bases de dados é utilizar técnicas de *visualização de informações* [GER 95] [GER 97] através das quais o usuário obtém uma representação visual que, se por um lado abstrai detalhes do conjunto de informações, por outro propicia uma organização desse conjunto segundo algum critério.

Combinando aspectos de computação gráfica, interfaces homem-computador e mineração de dados [AGR 93] [AGR 95] [FAY 96], a visualização de informações permite a apresentação de dados de forma gráfica de modo que o usuário possa utilizar sua percepção visual para melhor analisar e compreender as informações [GER 97]. Quando esses dados correspondem a medidas associadas a objetos físicos, fenômenos ou posições num domínio espacial, costuma-se referir a esse conjunto de técnicas como *visualização de dados científicos*, enquanto a *visualização de informações* trata dados abstratos como relacionamentos ou informações inferidas a partir dos dados mensurados [CAR 99]. Essa distinção é, de certa forma, irrelevante no estudo das técnicas de visualização em si. Alguns autores adotam a necessidade do usuário como limiar de distinção entre as duas classes de aplicações. Por exemplo, Spence [SPE 2001] distingue visualização de dados científicos e visualização de informações pelo grau de interesse do usuário (ou necessidade da aplicação) na representação gráfica do objeto físico ao qual está associada a informação. A visualização de informações é caracterizada pela necessidade do projetista de criar uma forma para transformar dados em uma representação gráfica. Esta representação deve expressar importantes propriedades dos dados e expressar como diferentes itens estão relacionados entre si.

A construção e a operação de sistemas para visualização de informações pode se tornar muito complexa, em virtude: a) dos mecanismos de interação necessários para manipular volumosos conjuntos de dados, b) da implementação de algoritmos geométricos complexos, c) da necessidade de interação com dados multi-dimensionais [OLI 97] e d) a criação de uma metáfora visual que represente fielmente o conjunto de informações propiciando sua compreensão, análise e interpretação. Além disto, pode ser necessária a integração com sistemas de mineração de dados [AGR 93] [AGR 95] [FAY 96] e *data warehousing* [INM 92]. Adicionalmente, uma vez que as representações visuais estão inseridas numa interface gráfica, existem todos os problemas de projeto e usabilidade inerentes à área de interação homem-máquina.

Assim, no desenvolvimento de sistemas de visualização os projetistas devem considerar tanto a melhor forma de mapear informações para uma representação gráfica que facilite a sua interpretação pelos usuários, como fornecer meios que limitem a quantidade de informações que estes recebem, mantendo-os ao mesmo tempo "cientes" de todo o conjunto de dados.

A pesquisa em visualização de informações tem produzido muitas técnicas baseadas em diferentes metáforas para visualização de dados [CHE 73] [HEN 86] [FEI 90] [ROB 91] [TES 92] [ROB 93] [GER 95] [CAR 96b] [CHI 98a] [STA 2000b] [CAV 2002]. Na maioria dos casos, as técnicas são apresentadas com uma validação envolvendo teste com usuários. Entretanto, ao longo dos últimos anos foram surgindo trabalhos tratando mais sistematicamente da avaliação de técnicas de visualização tanto para averiguar a sua efetividade no suporte a tarefas típicas como busca e navegação, como para comparar técnicas diferentes [BRA 97] [WIS 98] [YAN 2000] [CHN 2000] [MOR 2000] [STA 2000a] [RIS 2000] [NOR 2000] [SUT 2000] [WES 2000] [GRA 2000] [KOB 2001] [BAR 2001].

A avaliação de técnicas de visualização é necessária para verificar sua capacidade de exibir informações realmente relevantes, que facilitem a análise, interpretação e compreensão do conjunto de informações. É, sobretudo, importante para dirigir o desenvolvimento de novas técnicas. Considerando que as técnicas de visualização tal como utilizadas no contexto aqui mencionado são interativas, sua avaliação deve levar em conta esse dinamismo aliado aos mecanismos de interação oferecidos.

Neste ponto reside uma dificuldade que levou autores como Brath [BRA 97], por exemplo, a utilizar algumas métricas de avaliação somente em representações visuais estáticas. Já outros autores, como Shneiderman [SHN 96] e Wiss, Carr e Jonsson [WIS 98], por exemplo, identificam tarefas "de usuário" para efeito de classificação e avaliação de técnicas, baseando o processo de avaliação na realização de experimentos com usuários. No entanto, analisando os trabalhos relatados na literatura, notou-se a ausência de um conjunto de critérios de avaliação que englobe, além das representações visuais, os mecanismos de interação necessários à realização das tarefas. Existem diversos métodos de teste de usabilidade [NIE 93] mas, conforme mencionado, apenas experimentos com usuários são relatados com maior freqüência como método de avaliação de técnicas de visualização.

1.1 Contexto e motivação

Um sistema de visualização de informações é um conjunto de uma ou mais técnicas de visualização que geram representações ou metáforas visuais para exibir um conjunto de informações associado a um conjunto de mecanismos de interação, os quais permitem operar sobre estas representações visuais numa interface gráfica.

A principal finalidade destes sistemas é tornar mais fácil aos usuários compreender, interpretar e manipular grandes conjuntos de dados. Ao contrário da visualização científica que freqüentemente utiliza representações visuais associadas à geometria implícita (ou explícita) dos dados, a visualização de informações opera com dados e informações

abstratas que não possuem geometria natural e intuitiva. Por esta razão as metáforas visuais empregadas são mais suscetíveis a afetar negativamente as tarefas do usuário.

Conforme já mencionado, nos últimos anos, diversas técnicas de visualização de informações foram desenvolvidas. Entretanto, apenas recentemente comparações e avaliações destas técnicas foram feitas, dificultando a tarefa de seleção, por parte dos desenvolvedores, da técnica mais adequada para a exibição de um conjunto de informações.

A grande dificuldade na criação de um método de avaliação eficiente e efetivo, que permita avaliar uma técnica de visualização de informações, é que um teste de usabilidade usualmente envolve implementação e experimentação. Num teste de usabilidade é necessário ainda, levar em consideração alguns aspectos importantes e difíceis de tratar, tais como a satisfação subjetiva dos usuários, os diferentes níveis de experiência dos usuários que dificultam a aplicação de métodos mais formais e eficazes e a diversidade das metodologias e métodos tradicionais de usabilidade existentes e que precisam ser adaptados à área da visualização de informações.

Quando um usuário se depara com uma determinada situação, que envolve, por exemplo, um grande conjunto de informações a serem analisadas, e opta pela visualização como uma alternativa, algumas perguntas necessitam ser respondidas, dentre elas: (a) como visualizar adequadamente estas informações? (b) que tipo de técnica ou conjunto de técnicas de visualização poderiam ser utilizadas? (c) a representação visual gerada é adequada para este tipo de informação, destacando as informações relevantes? (d) os mecanismos interativos fornecidos pela técnica são adequados, produtivos e eficientes? (e) as representações visuais geradas são adequadas no que se refere à distribuição espacial dos elementos? (f) as representações visuais geradas são adequadas no que se refere a manter o senso de orientação espacial do usuário?

Uma forma de responder a estas e outras questões relevantes é avaliar as visualizações geradas e os mecanismos interativos fornecidos pelas técnicas através da aplicação de um método específico de avaliação de usabilidade.

Na primeira tentativa de avaliar as técnicas de visualização de informações, alguns autores definiram taxonomias (classificações) procurando auxiliar os usuários a enquadrar seus dados e informações, permitindo, desta forma, uma melhor indicação da escolha das técnicas de visualização mais adequadas para representar as informações visualmente. Shneiderman [SHN 96], por exemplo, classificou-as por tipo de dados (**1D** e **temporal**, **2D**: mapas e *scatterplots*, **3D**: mundo, **hierárquicos**: árvores, **grafos**: páginas *Web* e *links*, **multi-dimensionais**) e pelas tarefas de usuários que suportam (visão geral, *zooming*, filtragem, detalhes por demanda, relações, histórico e extração). Esta mesma classificação consta na biblioteca *on-line* OLIVE [OLV 99].

Card e Mackinlay [CAR 97] iniciaram com uma classificação por tipo de dados, que mais tarde foi estendida [CAR 99] considerando subcategorias (visualização científica, sistemas de informações geográficas, gráficos multidimensionais, tabelas multi-dimensionais, espaços de informação, diagramas tipo grafo, diagramas tipo árvore e transformações de textos).

Chi e Riedl [CHI 98b] classificaram as técnicas por tipos de dados (**GIS, 2D, multi-dimensional, information landscape e spaces, árvores, redes ou network, texto, Web e spreadsheets**) e pelos operadores que são inerentes a cada técnica. Neste modelo, cada técnica é dividida em quatro estágios de dados, três tipos de transformações de dados e quatro tipos de operadores de estágios internos. A visualização dos dados é dividida em quatro estágios de dados distintos: **valor, abstração analítica, visualização abstrata e representação visual**. A transformação dos dados de uma fase para outra requer um dos três tipos de operadores de transformação de dados: **transformação de dados, transformação de visualização e transformação de mapeamento visual**. Em cada estágio dos dados, há também operadores que não mudam as estruturas dos dados adjacentes. Estes são operadores de estágio internos, havendo quatro tipos, correspondendo a quatro estágios dos dados: **valor interno, abstração analítica interna, visualização abstrata interna e representação visual interna**. Card [CAR 96a] classifica a visualização de informações em quatro níveis funcionais: *infosphere* (espaço de alcance das fontes de informação), *workspace*, *sensemaking tools* e o *documento*.

Outra forma encontrada por alguns pesquisadores é a comparação entre duas ou mais técnicas de visualização tentando, desta forma, descobrir os problemas inerentes a cada técnica na realização de determinadas tarefas. Wiss, Carr e Jonsson [WIS 98] descrevem a avaliação de três técnicas de visualização de informações: *Cam Tree* [ROB 91], *Information Cube* [REK 93] e *Information Landscape* [TES 92], enquanto Kobsa [KOB 2001] descreve uma comparação empírica de três diferentes sistemas comerciais de visualização de informações: *Eureka* [RAO 94], *InfoZoom* [SPN 96] [SPN 99] e *SpotFire* [AHL 95] sobre três diferentes conjuntos de dados.

Outros autores [JUA 2000] tentaram adaptar técnicas de avaliação de usabilidade convencionais, tentando aplicar estes princípios na criação de uma metodologia de avaliação para as técnicas de visualização de informações. A forma mais utilizada por diversos autores para avaliar a usabilidade de técnicas de visualização é a aplicação de um teste de usabilidade baseado em teste com usuários, ou ensaios de interação. Neste tipo de avaliação, um conjunto de tarefas pré-definidas, abrangentes e que sirva para avaliar, normalmente, a facilidade de uso, eficiência e a satisfação subjetiva dos usuários são aplicados a um conjunto de pessoas voluntárias (ou recompensadas). Juarez [JUA 2000], por exemplo, descreve uma metodologia alternativa de avaliação dos mecanismos de interação utilizando um método específico para estimar o **tempo de execução** de uma tarefa e a **qualidade da solução** obtida pelo usuário quando este está utilizando técnicas de visualização, ou seja, durante um ensaio de interação. Estas mesmas métricas são usadas em diversos outros trabalhos para avaliar os mecanismos interativos (e suas implicações sobre as representações visuais) das técnicas de visualização.

Numa abordagem quantitativa, Brath [BRA 97] propõe métricas para avaliar a eficácia de representações tridimensionais estáticas. Esse trabalho apresenta duas sérias simplificações pois a avaliação foi aplicada somente a representações visuais estáticas onde não são avaliados os mecanismos de interação, porque, segundo o próprio autor "a tentativa de incluir fatores de interação nas métricas introduz complexidade significativa" [BRA 97]. Não obstante essas restrições, Miller [MIL 97] afirmou que as vantagens do uso das

métricas de Brath são a objetividade, clareza e correção introduzidas no processo de avaliação das técnicas de visualização de informações.

No entanto, um problema encontrado neste tipo de abordagem é a relação entre os aspectos objetivos das métricas com os aspectos subjetivos dos usuários, pois estes apresentam características bem distintas como, preferências, diferentes habilidades cognitivas, diferentes graus de conhecimento e de abstração, ou seja, na prática a aplicação destas métricas mostrou-se ineficiente e pouco abrangente.

Outras tentativas neste sentido foram realizadas, como por exemplo, Yang-Peláez e Flowers [YAN 2000] que partem da teoria da informação de Shannon [SHA 64] para tentar quantificar o nível mais básico de conteúdo de informação de uma imagem, na forma de "capacidade de exibição", quantidades baseadas na dimensão e topologia dos dados. Já Barlow and Neville [BAR 2001], em dois experimentos com usuários, compararam quatro técnicas de visualização bidimensionais de hierarquias: (a) *Organization Chart* [REI 81], *icicle Plot* [KLE 81], *TreeMap* [SHN 92] and *Tree Ring* [AND 98] [CHU 98b].

Considerando uma aplicação específica, Cugini et al. [CUG 2000a] [CUG 2000b] discutem a eficiência da exibição gráfica dos resultados de buscas realizadas através do sistema de busca NIRVE (*NIST Information Retrieval Visualization Engine*). O protótipo explora diversas técnicas de visualização interativas fornecendo um acesso fácil ao conjunto de documentos resultante de uma consulta efetuada.

Outros estudos não são dirigidos para alguma aplicação ou técnica de visualização específica, mas sim ao nível mais baixo dos aspectos cognitivos das visualizações. É o caso do trabalho de Hubona, Shirah e Fout [HUB 97] que utilizaram métodos formais para avaliar técnicas de visualização de informações, e sugerem que a compreensão dos usuários de uma estrutura tridimensional melhora quando eles podem manipular a estrutura. Anteriormente, o trabalho de Ware e Franck [WAR 94] já indicara que a exibição dos dados tridimensionais em vez de bidimensionais podia tornar mais fácil para os usuários interpretarem os dados.

Mais recentemente surgiram trabalhos tratando questões de avaliação de técnicas de visualização de forma mais sistemática [CHN 2000], seja para comparar técnicas destinadas a tipos de dados específicos [RIS 2000], técnicas com a mesma abordagem na representação visual [STA 2000a] ou estabelecer taxonomia para apoiar a avaliação de técnicas de visualização [MOR 2000].

Apesar dessas tentativas, identificou-se a carência de uma ferramenta de avaliação específica para técnicas de visualização de informações baseada num conjunto abrangente de critérios constituindo-se de heurísticas e/ou recomendações que possam ser utilizadas com métodos de teste de usabilidade. Considerando que a natureza das informações e as tarefas a serem realizadas pelos usuários indicam, como será visto mais adiante, as técnicas mais adequadas em cada caso, optou-se neste trabalho pela concentração na solução dessas questões para informações hierárquicas.

1.2 Objetivos

Como foi dito anteriormente, a ausência de uma metodologia, eficiente e que realmente seja aceita como padrão pela área de visualização de informações motivou este trabalho.

Assim, a tese visa o desenvolvimento de um conjunto de critérios de avaliação que permita avaliar tanto as representações visuais estáticas, como as exibições que surgem na transição entre estados, ou seja, quando o usuário interage com estas representações, bem como os próprios mecanismos interativos fornecidos pelas técnicas.

Inicialmente, o estudo das técnicas de visualização foi realizado para diversos tipos de informações, tais como: lineares, temporais, 2D, 3D e nD , grafos, árvores, *workspace*, *web*, dentre outros. O escopo deste trabalho, entretanto, foi restringido apenas a informações hierárquicas, ou seja, informações estruturadas em forma de árvore, uma vez que diferentes tipos de dados levam a diferentes abordagens, praticamente impossíveis de avaliar de modo uniforme.

O conjunto de critérios de avaliação proposto pretende suprir uma lacuna na área de visualização de informações que é a falta de um conjunto de heurísticas específicas para a área. Os critérios apresentam dois aspectos distintos: um para avaliar as representações visuais e outro para avaliar os mecanismos interativos. Tanto as representações visuais quanto os mecanismos interativos podem ser avaliados através de avaliações heurísticas, inspeções de conformidade, ensaios de interação ou qualquer outro método de avaliação de usabilidade. Assim, o conjunto de critérios deve ser: (a) flexível e geral o suficiente para adaptação a diferentes métodos de avaliação de usabilidade, (b) completo, no sentido de que auxilia a identificação de todas as classes de problemas que as técnicas possam apresentar e (c) amplo o suficiente para englobar também a identificação de problemas da interface gráfica da técnica.

1.3 Metodologia de trabalho

O presente trabalho iniciou pelo estudo e experimentação (quando possível) de diversas técnicas de visualização de informações, descritas na literatura, primeiramente para diferentes tipos de informações e, posteriormente, focalizando informações hierárquicas. Foram levantadas diversas características das técnicas, que impactavam tanto sua capacidade de representação como de manipulação das informações.

A partir desta investigação, do estudo dos poucos trabalhos relatando avaliação de técnicas de visualização e da revisão e utilização de métodos convencionais de avaliação de usabilidade interfaces gráficas foram definidos critérios de avaliação contemplando as características esperadas para as representações visuais e para os mecanismos interativos fornecidos pelas técnicas de visualização. Devido a grande variedade de tipos de informações e da complexidade em determinar os critérios de avaliação para diversos tipos de visualizações, o foco do trabalho foi redirecionado apenas para informações hierárquicas.

Com base nestes critérios de avaliação, que contemplam além das representações visuais estáticas, a interação executada pelo usuário sobre estas representações, e agregando conhecimentos de metodologias de avaliação de interfaces gráficas e dos métodos aplicados em estudos comparativos entre técnicas de visualizações gerais, este conjunto de critérios de avaliação foi sistematizado na forma de *checklists*. Diversas sessões de avaliação com estes critérios foram realizadas com as técnicas *Bifocal Tree* [CAV 2001a] [CAV 2001b], *TreeMaps* [SHN 92], CHEOPS [BEA 96] e *MagniFind*¹ com o intuito de testar a abrangência dos dois conjuntos de critérios de avaliação e refiná-los.

O restante do trabalho foi dedicado à definição detalhada de cada critério de avaliação, experimentação e validação utilizando a técnica de visualização *Bifocal Tree* [CAV 2001a] [CAV 2001b] [CAV 2002] que visualiza informações hierárquicas.

O conjunto de critérios de avaliação, traduzido para a forma de heurísticas, foi aplicado em uma sessão de avaliação em conjunto com os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin [BAS 93] e as dez heurísticas de Nielsen [NIE 94]. O objetivo destas avaliações heurísticas foi mostrar que o conjunto de critérios de avaliação aqui definidos são mais abrangentes (completos) e permitem descobrir mais problemas de usabilidade dos que os conjuntos de heurísticas e/ou critérios ergonômicos utilizados normalmente para teste de usabilidade.

Os critérios de avaliação definidos aqui, foram utilizados em mais dois tipos de avaliação: (1) inspeção de conformidade e (2) ensaio de interação. No primeiro tipo de avaliação foram utilizados dois *checklists*, um para as representações visuais e outro para os mecanismos interativos (conjunto de questões considerando o conjunto de critérios de avaliação) e recomendações sobre as características esperadas em uma técnica de visualização de informações hierárquicas. Para o segundo tipo de avaliação, foram definidas tarefas de usuários de baixo nível, correspondentes aos critérios de avaliação tanto para as representações visuais como para os mecanismos de interação.

1.4 Contribuição da tese

O presente trabalho contribui com a definição de um conjunto de critérios de avaliação capaz de auxiliar a complexa tarefa de avaliar as representações visuais geradas e os mecanismos interativos fornecidos por técnicas de visualização de informações hierárquicas.

Estes critérios de avaliação permitem que técnicas de visualização sejam testadas, comparadas e validadas e que possam sofrer modificações e melhorias oriundas dos resultados positivos ou negativos da avaliação, além de auxiliar os desenvolvedores a selecionarem qual técnica de visualização é mais adequada para seu conjunto de informações e melhor aplicada às tarefas de usuário necessárias na aplicação.

Outras contribuições deste trabalho são: (a) mostrar a aplicação de diferentes tipos de métodos de avaliação de usabilidade na avaliação de técnicas de visualização e (b)

¹ (<http://www.inxight.com/MagniFind/MagniFind.html>)

definir um conjunto de tarefas de baixo nível que permitem avaliar, na prática, os mecanismos interativos fornecidos pelas técnicas de visualização.

1.5 Organização do texto

O restante do texto foi organizado de modo a enfatizar os resultados das etapas de realização do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se as principais técnicas de visualização de informações gerais e suas características, especificamente, de informações hierárquicas. No capítulo 3 são descritos os métodos usuais utilizados para avaliar interfaces gráficas em geral, enquanto no capítulo 4 são apresentados os trabalhos relatados na literatura sobre avaliação de técnicas de visualização.

No capítulo 5 é apresentado e descrito o conjunto de critérios de avaliação proposto: cada critério é detalhado e exemplificado com situações em que se aplicam nas técnicas de visualização conhecidas. O capítulo 6 corresponde à validação dos critérios, através da sua aplicação em conjunto com métodos de usabilidade tradicionais, na avaliação de uma técnica de visualização de informações hierárquicas: *Bifocal Tree*. Mais especificamente, são utilizadas Avaliação Heurística, Inspeção de Conformidade e Ensaios de Interação. A análise é feita de forma comparativa com a aplicação de avaliação com critérios conhecidos da área de IHC, as heurísticas de Nielsen e os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin.

O capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e descreve futuros trabalhos.

2 Visualização de informações

Este capítulo apresenta uma breve revisão das técnicas de visualização de informações para embasar a exposição do tema central da tese – avaliação dessas técnicas. É adotada uma classificação para informações, de modo a organizar a revisão bibliográfica. Tendo em vista que toda técnica de visualização é destinada a apoiar a realização de tarefas de análise de dados, é abordada a questão de caracterização dessas tarefas e dos mecanismos de interação necessários para suportá-las.

2.1 Caracterização das informações

Informações descrevem fenômenos (ou processos) ou entidades que são objeto de estudo ou análise. Desta forma, **informações** correspondem a **atributos** que podem ser caracterizados de acordo com diferentes critérios. A identificação destas características é a consideração inicial a ser feita na escolha de uma técnica de visualização para um dado domínio de aplicação.

Um primeiro critério para caracterizar atributos é o tipo de informação que eles representam [FRE 95]. Atributos podem enquadrar a entidade dentro de uma classe; um atributo deste tipo é considerado como característica, categoria, atributo nominal ou ordinal [WAR 2000]. Atributos podem representar uma propriedade expressa através de uma grandeza: atributos com valores escalares, vetoriais, ou tensoriais, que assumem valores inteiros ou reais dentro de um certo intervalo. Finalmente, atributos podem indicar a existência de um relacionamento (hierarquia ou ligação). Cabe aqui ressaltar que Ware [WAR 2000], baseado em Bertin [BER 81], argumenta que relacionamentos não são exatamente atributos de entidades, mas um tipo de dado diferente que representa as relações estabelecidas entre entidades. Optamos, entretanto, neste trabalho por enquadrar um relacionamento ou ligação como um atributo.

Um segundo critério de caracterização dos atributos, não obstante dependente do primeiro, é quanto ao tipo de dado, no sentido clássico de tipo primitivo, ou seja, se o atributo pode assumir valores alfanuméricos, inteiros, reais ou simbólicos, representando este último a identificação de entidade ou fenômeno relacionado a entidade examinada no momento [FRE 95].

Finalmente, os dados podem ainda ser caracterizados de acordo com a dimensão e a natureza do domínio onde estão definidos. Dados podem estar associados a um domínio unidimensional, bidimensional, tridimensional ou n -dimensional. Este domínio pode ser contínuo, contínuo-discretizado ou discreto. Exemplos podem ser observados na Tabela 2.1, ressaltando-se que para o caso n -dimensional, em geral, as entidades são consideradas como pontos num espaço n -dimensional de atributos.

A classe de informação que um dado representa pode ser uma característica, escalar, vetor, tensor ou agregação. Um dado do tipo **característica** (ou categoria) corresponde a uma característica isolada de uma entidade onde não há uma função associada. Este é o

caso da altura de indivíduos de uma população ou da flora predominante de alguma região. Um dado de natureza **escalar** denota um conjunto de valores amostrados de uma relação definida no espaço-domínio da entidade, como por exemplo, a temperatura e a pressão de um gás em um recipiente. Um dado do tipo **vetor** permite a representação de grandezas vetoriais, isto é, grandezas dotadas de magnitude, direção e sentido, como é o caso da velocidade de fluidos. Atributos do tipo **tensor** são utilizados em áreas de aplicações como dinâmica de fluidos computacionais e análise de elementos finitos. Um tensor de segunda ordem em três dimensões, por exemplo, é representado por uma matriz de nove componentes.

TABELA 2.1 - Classificação de informações (adaptada de Freitas e Wagner [FRE 95])

Critério	Classes	Significado	Exemplo
Classe de Informação	Característica Escalar Vetor	Característica isolada, independente Grandeza escalar, amostrada de uma função Grandeza vetorial, amostrada de uma função	Gênero Temperatura Grandeza física associada a um fluido Grandeza física associada a um fluido
	Tensor	Grandeza tensorial, amostrada de uma função	Grandeza física associada a um fluido
Tipo dos valores	Relacionamento	Ligação entre entidades	Link num hiperdocumento
	Alfanumérico Numérico Símbolo	Valores de identificação Valores ordinais, discretos ou contínuos Sub-atributo	Gênero Temperatura Link num hiperdocumento
Natureza do domínio	Discreto Contínuo Contínuo-Discretizado	Enumeração, conjunto finito ou infinito Todos os pontos no espaço 1D, 2D, 3D, n -D Regiões no espaço 1D, 2D, 3D, n -D	Marcas de automóvel Superfície de um terreno Anos (tempo discretizado)
	Dimensão do domínio	1D 2D 3D n -D	Medida de uma grandeza no tempo Superfície de um terreno Volume de dados médicos Dados de uma população

A natureza ou tipo dos valores corresponde ao conceito de tipo de dado encontrado em linguagens de programação tradicionais. Um dado pode assumir valores **alfanuméricos** ou **numéricos**, dentre uma enumeração finita ou infinita ou dentro dos reais, ou, ainda, pode ser composto por valores **simbólicos**. O tipo dos valores está intimamente relacionado com a natureza das informações.

A natureza do domínio indica se um dado pode estar definido num domínio **discreto**, restrito a um conjunto finito ou infinito de elementos, num domínio **contínuo** ou num domínio **contínuo-discretizado**. Em um domínio contínuo, os valores podem estar definidos para todos os pontos (continuamente) ou para regiões. Considerando uma região geográfica como o objeto em estudo, o dado que designa a altura do terreno é definido para todos os pontos do domínio contínuo, enquanto outro que indica a densidade populacional em sub-áreas é definido por regiões, sobre o mesmo domínio contínuo. Uma amostragem no tempo (que é um domínio contínuo) feita mensalmente indica um domínio contínuo-discretizado.

A dimensão de um dado indica, na realidade, a dimensão do espaço (domínio) onde o objeto está definido. Um atributo pode estar definido no espaço **unidimensional** (1D), **bidimensional** (2D), **tridimensional** (3D) ou **n -dimensional** (n D). Exemplos de domínio 1D são distâncias medidas de um ponto ou alguma característica de uma entidade observada ao longo de um período de tempo. Informações clássicas 2D e 3D são valores

observados para áreas geográficas num plano ou no espaço 3D, respectivamente. Exemplos de informações n -dimensionais são obtidos de aplicações que geram informações multivariadas, como por exemplo, dados de sensoriamento remoto e dados populacionais. Conforme a interpretação, a dimensão de um atributo permite representar informações espaciais, temporais, espectrais ou multidimensionais.

Informações que indicam relacionamentos em geral correspondem, na realidade, à especificação de um **grafo** representativo de uma dada relação entre entidades. No caso do relacionamento ser hierárquico, a estrutura subjacente pode ser uma **árvore**.

Além da classificação apresentada na Tabela 2.1, outra abordagem que pode ser utilizada é analisar os dados de acordo com a **estrutura de dados** adotada para representá-los e com o **domínio**.

Quanto à **estrutura dos dados**, pode-se considerar que as informações e os dados a serem visualizados encontram-se representados e organizados em uma das seguintes formas:

- a) **Listas e tabelas**: Permitem representar conjuntos de dados que mantêm uma relação de ordem linear entre os componentes, cujos elementos podem conter um dado primitivo ou estruturado. Como exemplo, tem-se: textos, imagens, mapas, dados multi-dimensionais, relacionais e estatísticos;
- b) **Árvores**: São estruturas de dados que representam uma relação hierárquica ou de composição entre os dados, ou seja, um dado é subordinado a outro dado. Como exemplo, tem-se: a estrutura de diretório de arquivos, árvores genealógicas, diagramas organizacionais, manuais e catálogos de bibliotecas;
- c) **Grafos**: São representações de relações mais gerais entre os elementos dos dados. Podem ser descritos num espaço euclidiano de n dimensões como sendo um conjunto de vértices e um conjunto de curvas contínuas (arestas). Pode ser representado por um conjunto de nodos conectados por linhas (arestas). Grafos surgem como representações naturais de classificações e mapas organizacionais. Como exemplo de grafos, tem-se: estruturas de *site*, relacionamentos entre entidades, históricos de navegação, ligações entre documentos, redes de computadores, sistemas orientados à objetos (navegadores de classes), sistemas de tempo real (diagramas transição de estados e redes de Petri), diagramas de fluxo de dados, grafos de chamadas a sub-rotinas, diagramas entidade-relacionamentos (estruturas de banco de dados e UML), diagramas de representação de conhecimentos e redes semânticas, gerenciamento de projeto (diagramas PERT), programação em lógica (árvores SLD), VLSI (esquemas de circuitos) e sistemas de gerenciamento de documentos. Na química e na biologia, os dados e informações em forma de grafos são encontrados em árvores evolucionárias, árvores do estudo de raças (filogênicas), mapas moleculares e mapas genéticos.

Quanto ao **domínio** em que as informações estão definidas, pode-se considerar que elas podem:

- a) Estar associadas a posições no espaço (bidimensional ou tridimensional);
- b) Ser temporais, ou seja, relacionadas com uma variação no tempo;

- c) Estar associadas a entidades;
- d) Estar associadas aos relacionamentos entre entidades.

2.2 Representação visual e metáfora visual

Uma **representação visual** é uma figura ou imagem que representa graficamente um conjunto de dados e que, portanto, auxilia o usuário a perceber visualmente características desses dados. São objetos visuais necessários nas tarefas de exploração e análise das informações [GER 97]. Uma representação visual deve ser adequada ao tipo de informação que será exibida.

Uma **metáfora visual** utiliza uma representação visual, e na maioria das vezes, mecanismos de interação. O uso de metáforas incrementa o processo de percepção por adaptar para uma nova situação processos cognitivos já empregados em outras.

Freqüentemente, as técnicas de visualização adotam um objeto ou elemento conhecido e estilizado como base de representação, como pode ser observado no *File System Navigator* da Silicon Graphics [TES 92], na técnica *Perspective Wall* [MAC 91] e no *Infobug*, de Chuah e Eick [CHU 98a]. Considera-se tal uso, a adoção de uma metáfora visual.

Não obstante o uso de alguma metáfora visual, as representações visuais podem ser classificadas em categorias como as apresentadas na Tabela 2.2. A Tabela 2.2 apresenta uma classificação das representações visuais e exemplos de sua utilização. Adicionalmente, as representações podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais, conforme a dimensão do espaço onde os elementos geométricos utilizados estejam definidos. Embora sendo pouco comuns, representações visuais unidimensionais poderiam ser utilizadas tendo como base uma linha para o mapeamento de um atributo para cor, por exemplo.

TABELA 2.2 - Classes de representações visuais (adaptada de Freitas e Wagner [FRE 95])

Classe	Tipo	Utilização
Gráficos 2D, 3D	De pontos Circulares De linhas De barras De superfícies (para 3D)	Representação da distribuição dos elementos no espaço domínio ou representação da dependência/correlação entre atributos.
Ícones Glifos Objetos geométricos	Elementos geométricos 2D ou 3D diversos	Representação de entidades num contexto ou representação de grupos de atributos de diversos tipos.
Mapas	de pseudo-cores de linhas de superfícies de ícones, símbolos diversos	Representação de campos escalares ou de categorias. Representação de linhas de contorno de regiões, isovalores. Idem, no espaço 3D. Representação de grupos de atributos (categorias, escalares, vetoriais, tensoriais).
Diagramas	Nodos e arestas	Representação de relacionamentos diversos: É-um, É-parte-de, Comunicação, Sequência, Referência, etc.

Como a visualização de informações usualmente opera com dados e espaços de informações abstratos, é muito importante inserir estas representações abstratas dentro do contexto de um espaço físico conhecido, o que caracteriza diferentes metáforas. Pesquisadores do Centro de Pesquisa da Xerox¹, em Palo Alto (PARC), desenvolveram diversas e interessantes metáforas visuais de espaços de informação, tais como *Perspective Wall* [MAC 91] (na qual informações lineares são mapeadas para uma parede em perspectiva, onde a face frontal corresponde ao foco de interesse e as laterais, ao contexto), *Data Sculpture* [ROB 93] (onde o usuário pode caminhar ao redor ou dentro de uma representação contendo milhares de pontos de amostras como se estivesse em uma escultura em um museu), *3D Rooms* [HEN 86] (na qual as informações espaciais são visualizadas através de uma construção tridimensional explorada com um *browser* estrutural), *Webbook* e *Webforager* [CAR 96] (que utilizam uma metáfora visual de uma biblioteca de documentos dentro de um espaço de informação tridimensional e trabalham dentro de ambientes da *Web*). Todas estas técnicas de visualização fazem parte de um projeto da Xerox conhecido como *Information Visualizer* [CAR 91] (Figura 2.1).

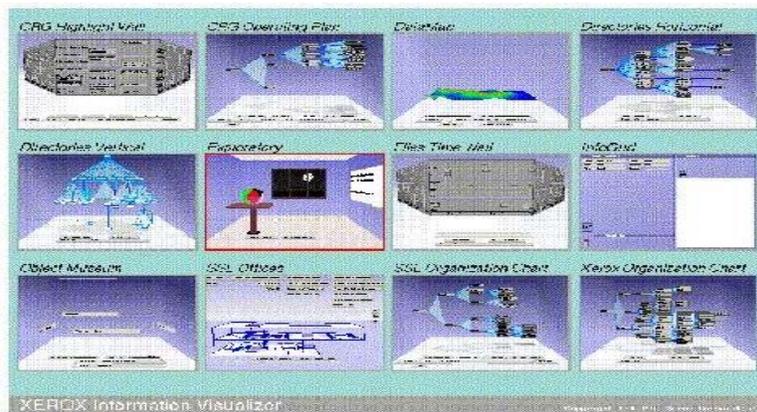


FIGURA 2.1 - Metáforas visuais adotadas pelo *Information Visualizer* (extraído de [CAR 99])

Além das técnicas de visualização de informações citadas anteriormente, e que utilizam metáforas visuais, outros sistemas de visualização de informações também implementam outros tipos de metáforas:

- a) Para informações organizadas em forma de **listas e tabelas**: nas faces de *Chernoff* [CHE 73], informações são mapeadas para uma face humana, e na técnica *Worlds-Within-Worlds* [FEI 90], informações multidimensionais são representadas como gráficos aninhados.
- b) Para **árvores**: *CityScope* [GER 95] representa as informações como uma cidade com prédios e ruas. No *Butterfly Citation Browser* [MAC 95] as informações são mapeadas para os membros de uma borboleta. O *Information Landscape* [TES 92] gera uma representação visual das informações sob forma de paisagem.
- c) Para **listas, tabelas, árvores e grafos**: *Fisheye* [FUR 81] [FUR 86] exibe as informações com uma visão olho de peixe, introduzindo o que se convencionou chamar de visão foco + contexto.

¹ XEROX Palo Alto Research Center

2.3 Tarefas de usuário e mecanismos de interação

Primeiramente é necessário distinguir tarefas de usuário e mecanismos de interação. **Tarefa de usuário** corresponde a um conjunto de ações de alto nível que os usuários podem executar sobre a representação visual para manipular informações, símbolos e objetos. **Mecanismo de interação** corresponde as operações geralmente de baixo nível que permitem aos usuários **realizarem** as tarefas de usuário diretamente sobre uma representação visual.

Em relação às tarefas básicas a serem utilizadas no processo de análise de dados, Freitas e Wagner [FRE 95] identificam sete tarefas que deveriam ser suportadas por uma ferramenta de análise exploratória visual: (a) **navegação** (pelo universo de objetos), (b) **seleção** (de um conjunto de objetos ou de parte de um objeto), (c) **consulta** (a atributos de objetos), (d) **preparação** (modificação de atributos e inicialização de parâmetros), (e) **processamento** (simulação, cálculos, monitoramento, controle e registro da evolução), (f) **anotação** (de textos) e (g) **armazenamento** (de imagens). Para apoiar a realização de tais tarefas, as ferramentas necessárias seriam: diferentes mapeamentos entre os dados e representações visuais, mecanismos de exploração de dados, preparação e controle de processamento, anotação e armazenamento de imagens.

Particularizando as tarefas de usuário para uma aplicação de visualização, Shneiderman [SHN 96] prevê sete tarefas de alto nível: **visão geral**, **zooming**, **filtragem**, **detalhes por demanda** ou **visão geral + detalhe**, **relações**, **histórico** e **extração**.

Os usuários necessitam uma **visão geral** de toda a coleção de dados. Esta visão deve mostrar os objetos com um número limitado de parâmetros e como estão relacionados com outros objetos. Restrições são impostas pelos limites dos equipamentos gráficos e pelo sistema perceptivo humano. A representação visual é limitada pela base espacial, símbolos e propriedades gráficas dos símbolos [BER 81] [CAR 99]. Os atributos gráficos mais comuns são localização, cores, tipos de símbolos e tamanho dos símbolos. O sistema perceptivo humano certamente limita a representação, porque ainda existem questões sobre a quantidade de informações que o usuário pode perceber e cognitivamente processar. Além disso, certos tipos de informações são melhores adaptadas a certos tipos de codificação [CAR 99] [MAC 86]. Por exemplo, valores contínuos são melhores mapeados para posições ao longo de um eixo. A visão geral do conjunto de informações é útil ao usuário pois diminui o tempo de buscas, auxilia na sua localização e na escolha do próximo passo.

Zooming combina filtragem com um limitado aumento de detalhes. Geralmente os usuários utilizam *zooming* por duas razões: para focalizar um subconjunto de dados ou para visualizar mais detalhes. Frequentemente, é importante preservar o contexto enquanto o usuário realiza um *zooming*. Isto pode ser feito com a utilização de técnicas de distorção [CAR 99], incluindo geometria hiperbólica [LAM 96a] ou a utilização de múltiplas janelas. Técnicas de distorção ampliam uma porção do conjunto de informações mantendo todo o conjunto na representação visual ao mesmo tempo. Para isto, devem distorcer a porção do

conjunto de informações que não é o foco de atenção. Exemplos são o *browser* de arquivos *Star Tree*² baseado na geometria hiperbólica e o *Document Lens* [ROB 93].

Juntamente com a redução do conjunto de informações pelo mecanismo de *zooming*, os usuários necessitam reduzir o tamanho do conjunto de dados pela eliminação de itens baseada em seus atributos. Uma das mais eficientes formas de **filtragem** que pode ser suportada é encontrada na técnica *Dynamic Queries* [AHL 94], pois permite aos usuários manipularem *sliders* e botões a fim de especificar faixas sobre parâmetros do conjunto de dados.

Detalhes por demanda permite ao usuário visualizar detalhes de um item de dado em particular enquanto estão explorando o conjunto de informações. Isto é normalmente acompanhado pela seleção sobre um ou mais itens, obtendo detalhes exibidos em uma janela auxiliar. **Visão geral + detalhe** fornece múltiplas visualizações, uma visão geral para orientação do usuário dentro do conjunto de informações e uma visão detalhada de uma parte desse conjunto que interessa mais ao usuário. As visões de uma apresentação que utiliza visão geral + detalhe podem ser mostradas uma de cada vez (*time multiplexing*) ou podem ser exibidas ao mesmo tempo em partes diferentes da tela (*space multiplexing*) [CAR 99]. A visão detalhada pode ser exibida como uma parte aumentada da visão geral, sem modificação no seu tamanho (*spatial zooming*) ou ainda incluir informações adicionais através de alterações na aparência (cor, preenchimento, textura) chamada por Bederson e Hollan de *semantic zooming* - [BED 94] apud [SPE 2001].

Uma alternativa para as técnicas de distorção é utilizar navegação em múltiplas janelas. A exibição é dividida em janelas, e a porção ampliada do conjunto de informações é exibida em uma janela enquanto todo o conjunto é exibido em outra janela. Uma importante função que deve ser implementada é a coordenação entre as diferentes janelas [PLA 95] [SHN 2000], ou seja, significa que as operações em uma janela são refletidas nas outras. Por exemplo, para manter o contexto, a porção da visão ampliada deve ser marcada na visão do conjunto de dados completo (talvez com um retângulo, representando a área foco de interesse). *Scrolling* na visão ampliada modificará sua posição dentro da visão de todo o conjunto de informações e, então, o retângulo se moverá a fim de manter o contexto.

Em algumas situações, quando o usuário focaliza uma determinada informação de interesse, ele pode necessitar conhecer as **relações** desta informação com as demais. Estas relações podem estar vinculadas a outras informações, eventos ou atributos. A seleção de uma informação deveria destacar todas as relações existentes. Esta técnica é utilizada nos sistemas de visualização *FilmFinder* [AHL 94], *LifeLines* [PLA 96] e *SDM* [CHU 95].

Os usuários necessitam suporte para desfazer ou repetir operações. É importante então manter um **histórico** de ações do usuário e permitir sua manipulação. Frequentemente, as visualizações não suportam histórico de ações ou o suporte destas ações é incompleto. Por exemplo, operações de navegação são frequentemente desfeitas somente por outras ações de navegação e não através do mecanismo de *undo*.

² (<http://inxight.com/sts/StarTrees>)

A tarefa **extração** permite ao usuário extrair sub-coleções e parâmetros de consulta. Esta tarefa preocupa-se também, em guardar o estado atual da visualização através da extração dos parâmetros de consulta e de sub-coleções.

Como pode ser visto, as tarefas definidas por Freitas e Wagner [FRE 95] são gerais, podendo-se notar uma certa similaridade entre essas tarefas e as tarefas de usuário definidas por Shneiderman [SHN 96], embora em níveis diferentes. Por exemplo, navegação pode ser executada através das tarefas de *zooming* e visão geral. Seleção e consulta estão relacionadas a filtragem, extração, detalhes por demanda e relações. Já anotação e processamento podem ser vistos como tarefas de histórico. As tarefas de preparação e armazenamento não possuem correspondente em Shneiderman.

Tendo em vista que as técnicas de visualização de informações são destinadas primordialmente a apoiar a exploração (no sentido de análise, observação detalhada) do conjunto de informações representadas visualmente, a utilização de mecanismos de interação é essencial. Estas técnicas permitem ao usuário: a) selecionar novo foco de interesse sem perder o contexto (técnicas chamadas de *foco+contexto*), b) filtrar informações desnecessárias, c) agrupar informações relacionadas, d) realizar operações de *zooming* sobre certas faixas de informação e e) realizar diversas consultas buscando uma informação em particular. Neste último caso, as técnicas provêm funções de recuperação de informações.

A categorização de tarefas de usuário é baseada nas classes de problemas que essas tarefas auxiliam a resolver. Em se tratando de conjuntos de dados, essas tarefas correspondem, em algum momento, a operações sobre os dados. Wehrend e Lewis [WEH 90] definiram onze tipos de operações que usuários realizam sobre objetos (estes representam classes de dados): localizar, identificar, distinguir, categorizar, agrupar, distribuir, classificar, comparar entidades, comparar relações, associar e correlacionar. Nesse trabalho, a preocupação dos autores era associar classes de problemas e representações visuais a pares (dado, operação).

Já Zhou e Feiner [ZHO 98] abordaram tarefas realizadas por usuários e as conseqüentes implicações em termos de técnicas visuais de maneira a associar o que foi denominado de “propósitos da visualização” (*presentation intents*) com técnicas interativas visuais de mais baixo nível. Para tanto, os autores caracterizaram “tarefas visuais”, especificando-as em duas dimensões: uma dimensão identificando os “objetivos” da técnica (*visual accomplishments*) e outra indicando as “implicações visuais” (*visual implications*). Por objetivo da técnica pode-se entender o que chamamos de tarefas e as implicações visuais correspondem a princípios de percepção e cognição. Assim, se uma tarefa visual como focalizar um objeto pode ser realizada através de uma ampliação ou de um realce visual do objeto, na dimensão das implicações visuais tem-se duas técnicas visuais que podem ser adotadas: mudança de escala e *highlight*. As Tabelas 2.3 e 2.4 apresentam, respectivamente, as relações entre propósitos da visualização e tarefas visuais e implicações visuais e tarefas visuais.

TABELA 2.3 - Propósitos da visualização e tarefas visuais (caixas cinzas) relacionadas (adaptada de [ZHO 98])

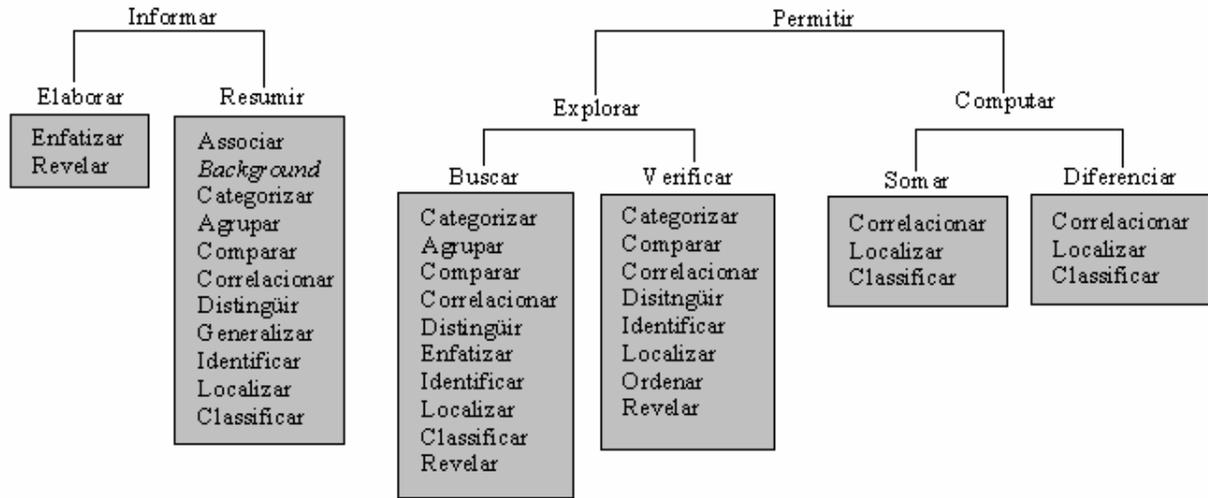


TABELA 2.4 - Implicações visuais e tarefas elementares relacionadas (extraída de [MOR 2000])

Implicação	Tipo	Subtipo	Tarefas elementares
Organização	Agrupamento visual	Proximidade	Associar, agrupar, localizar
		Similaridade	Categorizar, agrupar, distinguir
		Continuidade	Associar, localizar, revelar
		Fechamento	Agrupar, localizar, esboçar
	Atenção visual		Agrupar, distinguir, enfatizar, localizar
	Seqüência Visual		Enfatizar, identificar, classificar
	Composição visual		Associar, correlacionar, identificar, revelar
Sinalização	Estruturação		Tabular, plotar, estruturar, traçar, mapear
	Codificação		Rotular, simbolizar, retratar, quantificar
Transformação	Modificação		Enfatizar, generalizar, revelar
	Transição		Trocar

A análise das operações suportadas por várias técnicas de visualização e das tarefas abordadas nos trabalhos comentados acima, permite identificar tanto operações de alto nível como “busca”, como operações de baixo nível como “enfatizar”. Adicionalmente, identifica-se uma particularidade não observada nos trabalhos citados: algumas operações correspondem a operações sobre os dados, implicam manipular o conjunto de dados original; outras são operações sobre as representações e correspondem, na realidade, a uma re-exibição dos dados com alguma alteração visual. Assim, pode-se classificar os mecanismos de interação que as técnicas de visualização podem apresentar da seguinte forma (Figura 2.2):

- a) **Operações sobre os dados:** busca (*search* ou *querying*), filtragem (*filtering*) ou refinamento de consulta, poda (*prunning*), expansão (*growing*) e agrupamento (*clustering*).
- b) **Operações sobre a representação dos dados:** seleção de elementos, manipulação do ponto de vista, manipulação geométrica (rotação, translação, movimentação, mudança de escala), *zooming* (exibição de detalhes) e recuperação de situações anteriores (*undo*).

Estes mecanismos serão melhor detalhados no capítulo 5.

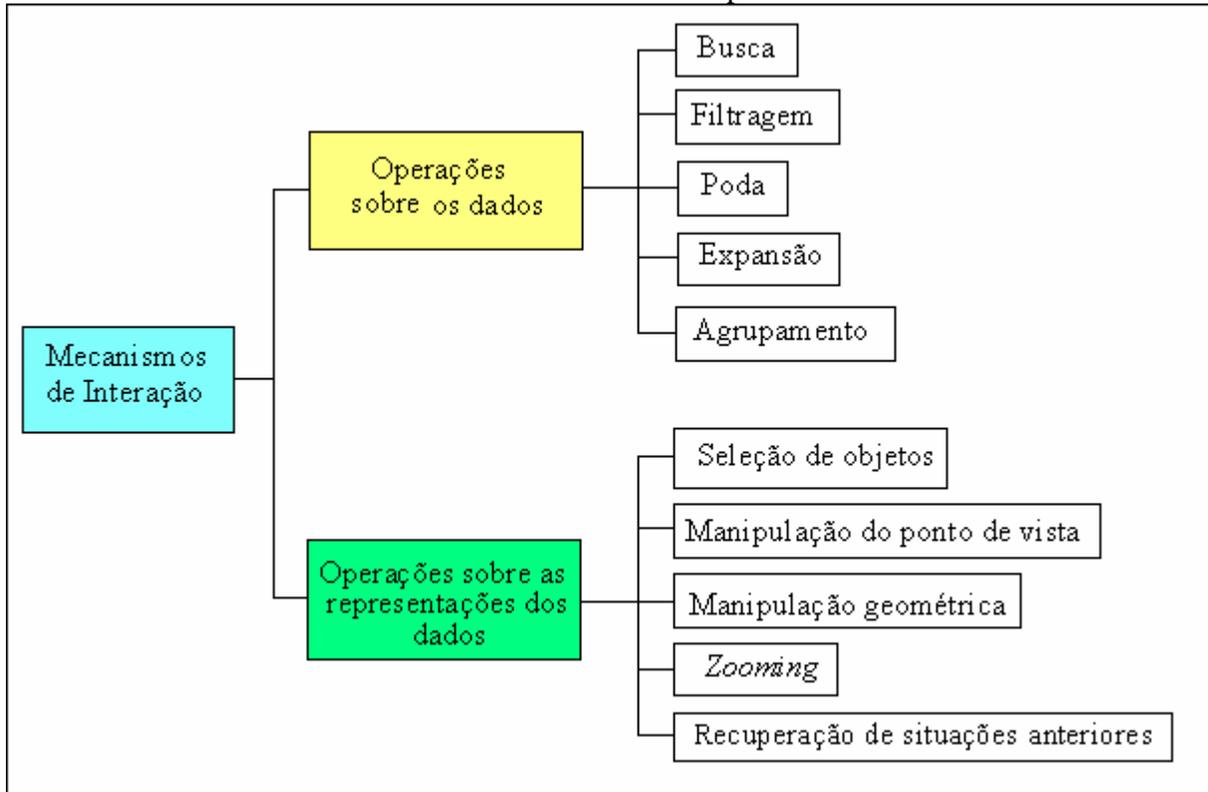


FIGURA 2.2 - Mecanismos de interação

2.4 Modelo de referência de visualização

Um modelo de referência de visualização permite a identificação dos componentes essenciais a serem considerados na utilização de uma determinada técnica ou no desenvolvimento de uma nova. Haber e McNabb [HAB 90] propuseram um *pipeline* simples (Figura 2.3), onde *dados* sofrem *filtragem*, para redução do conjunto de dados a ser exibido, e *mapeamento* para alguma representação geométrica, a qual, finalmente, passa por um processo de geração de imagem (*rendering*).



FIGURA 2.3 - Modelo clássico de visualização de Haber e McNabb [HAB 90]

Outros autores propuseram modelos alternativos deste *pipeline*, mais detalhados [CAR 99] [CHI 98b] [CAM 97]. Nestes modelos, está explicitamente representado o *estado dos dados*. O modelo de Chi e Riedl [CHI 98b] separa a estruturação dos dados, obtida através de uma transformação, da representação a ser utilizada para geração da imagem. Chi [CHI 2000] descreveu as técnicas de visualização utilizando um modelo de referência que ele denominou de "modelo de estado de dados" (Figura 2.4). Neste modelo, cada técnica é dividida em quatro estágios de dados, três tipos de transformações de dados e quatro tipos de operadores de estágios internos. A visualização dos dados é dividida em quatro estágios de dados distintos: **valor**, **abstração analítica**, **visualização abstrata** e

representação visual. A transformação dos dados de uma fase para outra requer um dos três tipos de operadores de transformação de dados: **transformação de dados**, **transformação de visualização** e **transformação de mapeamento visual**. Em cada estágio dos dados, há também operadores que não mudam as estruturas dos dados subjacentes. Estes são operadores de estágio internos, havendo quatro tipos, correspondendo a outros quatro estágios dos dados: **valor interno**, **abstração analítica interna**, **visualização abstrata interna** e **representação visual interna**.

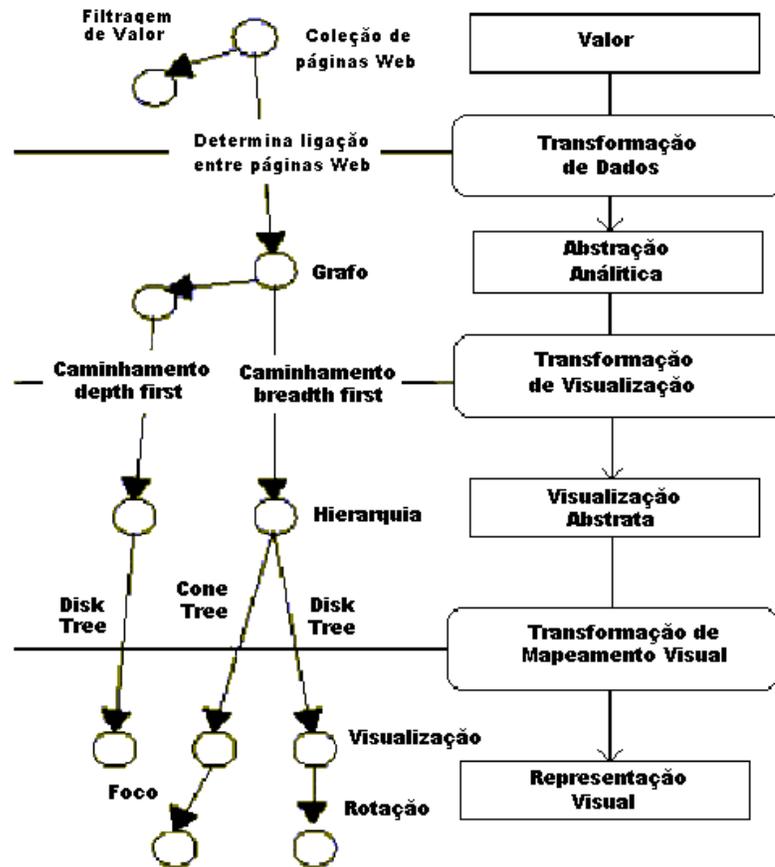


FIGURA 2.4 - Modelo de estado dos dados aplicado à Web Sites [CHI 2000]

Card *et al.* [CAR 99] descrevem visualização como uma seqüência de mapeamentos "ajustáveis" de dados para uma representação visual de modo a possibilitar interação do usuário com o espaço de informação objetivando o que foi chamado de *cristalização do conhecimento*. Esta seqüência de mapeamentos encontra-se reproduzida na Figura 2.5, e corresponde ao modelo de referência de visualização mais aceito atualmente.

Dados brutos (coletados ou gerados por algum processo) são transformados em *tabelas*, ou seja, descrições relacionais que incluem metadados. Aqui cabe ressaltar que o uso de tabelas é uma simplificação, pois os dados podem ser representados em outros tipos quaisquer de estruturas de dados, dependendo da aplicação.

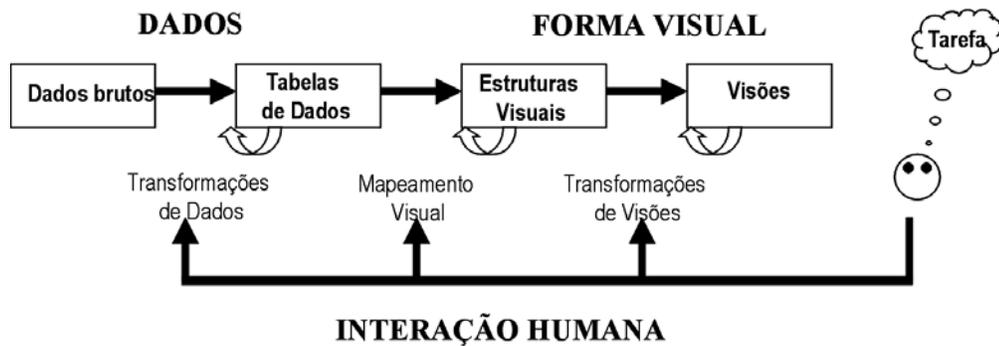


FIGURA 2.5 - Modelo de referência de visualização de Card *et al.* [CAR 99]

Além da transformação inicial dos dados brutos em descrições relacionais, novas transformações podem ser aplicadas, quer para agregar novos dados ao conjunto inicial, como, por exemplo, calcular grandezas estatísticas, quer para converter os dados originais para outros tipos ou reorganizar o conjunto de dados, classificando-o, por exemplo.

As **tabelas** relacionais são, então, mapeadas para **estruturas visuais** ou **representações visuais**. Estas estruturas visuais são, por sua vez, exibidas em **vistas**, ou **imagens**. Operações sobre essas representações visuais correspondem a **transformações visuais** e objetivam, genericamente, mostrar informações adicionais sobre elementos do conjunto de dados através de mudança do ponto de observação, manipulação geométrica ou indicação de região ou subconjunto de interesse.

2.5 Técnicas de visualização de informações

As técnicas de visualização de informações utilizam representações ou metáforas visuais para exibir graficamente dados que geralmente não possuem representação direta, óbvia e natural. Nas várias técnicas, freqüentemente, os autores buscaram inspiração em objetos do mundo real (ou geométricos), para mapear o conjunto de informações. As técnicas podem utilizar representações visuais 1D, 2D ou 3D, não necessariamente de acordo com a dimensão do espaço de informação.

Diversos autores [SHN 96] [OLV 99] [CAR 97] [CAR 99] [CHI 98b] tentaram criar classificações procurando auxiliar os usuários a enquadrar seus dados e informações, permitindo, desta forma, a escolha das técnicas de visualização mais adequadas.

A seguir são descritas brevemente algumas técnicas de visualização que representaram avanços significativos na área assim como algumas mais recentes, demonstrando a expansão da área. As técnicas são apresentadas de acordo com a natureza da informação a ser visualizada, seguindo a classificação apresentada na seção 2.1. Não se pretendeu aqui realizar uma revisão de todas as técnicas de visualização apresentadas, uma vez que há uma diversidade bastante grande. A revisão permitiu abstrair características importantes das técnicas e, principalmente, deduzir os aspectos críticos compartilhados por elas, o que contribuiu sobretudo para a especificação dos critérios de avaliação que são o tema central da tese.

2.5.1 Visualização de características e valores diversos

Em geral, características e valores diversos são exibidos em gráficos ou mapas dos mais variados tipos, desde os tradicionais gráficos de pontos ou linhas e mapas utilizando cores, a conjuntos de ícones, ou glifos, dispostos de acordo com o espaço-domínio. Ícones em geral são utilizados para identificar uma entidade ou elemento amostrado num contexto, representando na maioria das vezes a característica principal dessa entidade ou amostra. É o caso de identificação de veículos diferentes numa simulação de tráfego, por exemplo.

Utiliza-se a denominação glifo para um objeto geométrico que, representando uma entidade ou elemento de amostragem, tem a forma e outros atributos visuais determinados pelos valores dos atributos da entidade. Um exemplo clássico de utilização de glifos é o conjunto de faces de Chernoff [CHE 73]; outro, mais recente [CHU 98b], utiliza o glifo apresentado esquematicamente na Figura 2.6, representando valores associados a variáveis medidas no ciclo de vida de um sistema computacional.

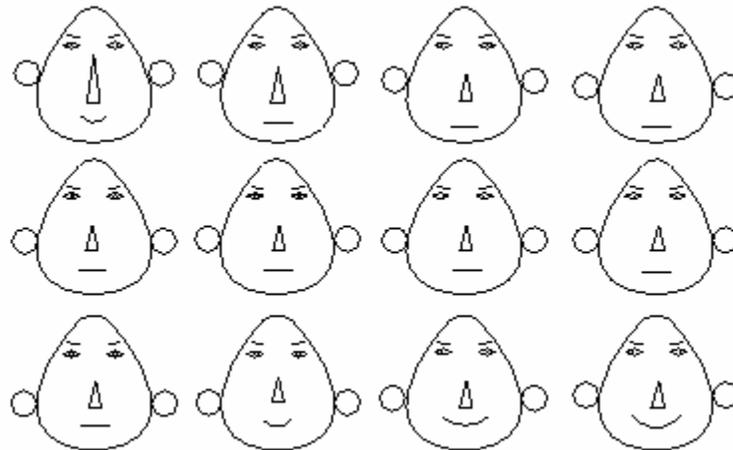


FIGURA 2.6 - *Chernoff Faces*: Ilustra variações dos valores de atributos³

Na Figura 2.6, o ícone corresponde às linhas irregulares dispostas circularmente que são, na realidade, gráficos de linha mostrando a variação de determinados valores ao longo do tempo (indicado pelas setas). Exemplos de tais valores são número de linhas-fonte adicionadas ao código do sistema, número de linhas removidas, número de erros detectados, etc. Assim, sistemas estáveis têm as linhas mais horizontais do que sistemas que sofrem contínuas alterações, o que pode ser facilmente observado pelo usuário.

A técnica de visualização *Information Mural* [JER 98] apresenta uma miniatura de um conjunto de informações em um espaço 2D, utilizando pontos dispersos e cores, além de técnicas de compressão para representá-lo. Muitos tipos de informações podem ser visualizados através do *Information Mural*, entre elas, dados geográficos e astrofísicos ou documentos textos. O *Information Mural* cria e exhibe uma representação gráfica do conjunto de informações. Além disso, a representação gráfica é feita de modo que o padrão

³ Extraído de (http://www.epcc.ed.ac.uk/computing/training/document_archive/SciVis-course/SciVis.book_47.html)

visual mantenha o padrão da informação original e a perda por compressão seja minimizada (Figura 2.7).

Média diária

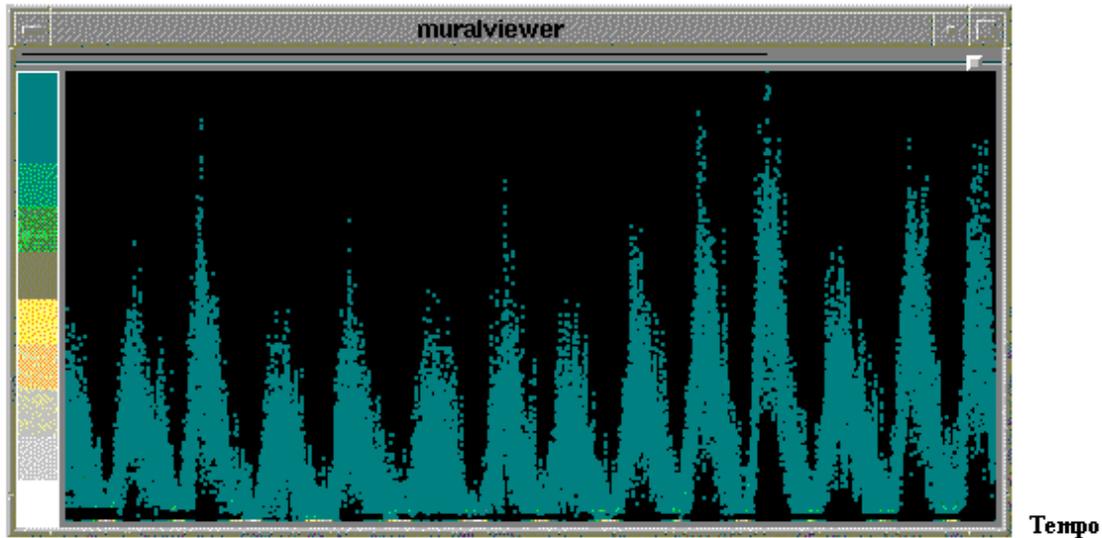


FIGURA 2.7 - *Information Mural* exibindo o número de manchas solares (eixo vertical) medidas diariamente de 1850-1993, totalizando 52.000 leituras. Em vez de utilizar escala de cinza para descrever densidade, uma escala de cor que vai do azul escuro (baixa densidade de dados) até o branco claro (alta densidade de dados) é utilizada porque é mais fácil visualizar detalhes com o uso de cores [JER 98]

2.5.2 Visualização de estruturas e relacionamentos

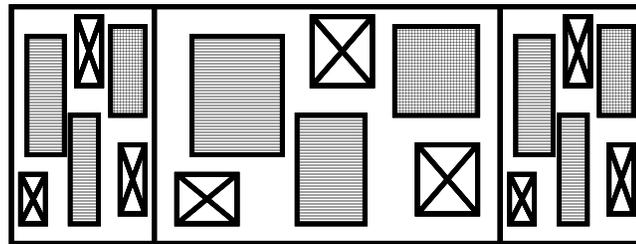
2.5.2.1 Estruturas lineares

Conjuntos de dados ou elementos que guardam uma organização hierárquica, como diretórios de arquivos, ou que apresentam relações diversas como documentos num *Web site*, são largamente utilizados na demonstração de técnicas de visualização desde os trabalhos pioneiros realizados no XEROX PARC [MAC 91] [ROB 91] [LAM 96b] até os mais recentes [MUN 97] [AND 98] [WIJ 99] [CUG 2000b] [STA 2000a] [SHN 2001a] [YAN 2002]. Da observação da literatura percebe-se também que muitos dos conceitos utilizados atualmente surgiram de técnicas que na realidade visavam apresentar documentos estruturados, isto é, arquivos seqüenciais que apresentam certa organização hierárquica, como a *Fisheye view* original de Furnas [FUR 81] e a *Bifocal Display*, de Spence e Apperley [SPE 82].

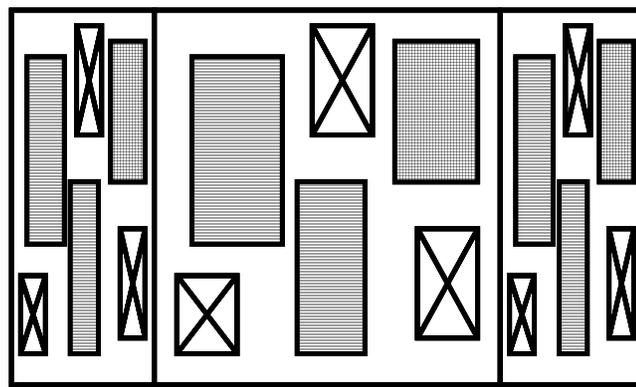
Bifocal Display

Na técnica *Bifocal Display* [SPE 82], itens de informação (documentos, figuras, gráficos, etc.) são apresentados em três áreas distintas, sendo a central aquela que contém a informação em foco, em destaque, e as outras informações do contexto geral são apresentados nas laterais da região focal. A parte central com o foco ocupa uma área maior que as laterais preenchidas pela informação contextual que, por isso, é exibida de forma

distorcida. Esta distorção é basicamente na direção X podendo ser aplicada também na direção Y (Figura 2.8).



Distorção na direção X



Distorção na direção Y

FIGURA 2.8 - *Bifocal Displays*: Distorções nas direções X e Y

O mesmo conceito foi utilizado de forma modificada por Mackinlay et al. [MAC 91] na *Perspective Wall* (Figura 2.13), onde o espaço de informação é mapeado para uma "parede", com as laterais contendo a informação contextual, e na *Document Lens* [ROB 93]. *Eureka (Table Lens)* [RAO 94] e *Flip Zooming* [HOL 97] também incorporaram estes conceitos.

Flip Zooming

A técnica *Flip Zooming* [HOL 97] é uma técnica de visualização foco+contexto para conjuntos hierárquicos de informações. A informação visualizada é representada por um número de objetos distintos em uma ordem seqüencial. Cada objeto é apresentado como uma área retangular, um "ladrilho" (*tile*), com um deles como o foco (Figura 2.9). Este foco é colocado no centro da área de exibição com outros *ladrilhos* colocados ao redor do foco, que recebe uma área com maior destaque na tela (Figura 2.10). O *Flip Zooming* divide a informação em porções adequadas que são apresentadas dentro da área reservada a um *ladrilho*. No caso da informação consistir de objetos distintos mas sem uma ordem seqüencial definida, um dos *ladrilhos* deve ser tomado como a informação inicial. Um exemplo disto é uma coleção não-relacionada de arquivos de imagens que podem receber uma ordem seqüencial pela ordenação alfanumérica dos nomes dos arquivos. *Flip Zooming* usa uma forma de distorção através de uma função de escala que apresenta os *ladrilhos* no contexto geral e no foco de forma que ambos estejam visíveis frontalmente. Isto torna o

reconhecimento de um dado objeto mais fácil, visto que apenas a localização e o tamanho do objeto pode mudar. A técnica permite mover o foco seqüencialmente através dos *ladrilhos* e modificar o foco acessando de forma randômica. Entretanto, a separação entre eles no contexto pode ficar comprometida quando o número de peças é muito grande, pois sua área pode ficar muito reduzida para uma boa visualização.

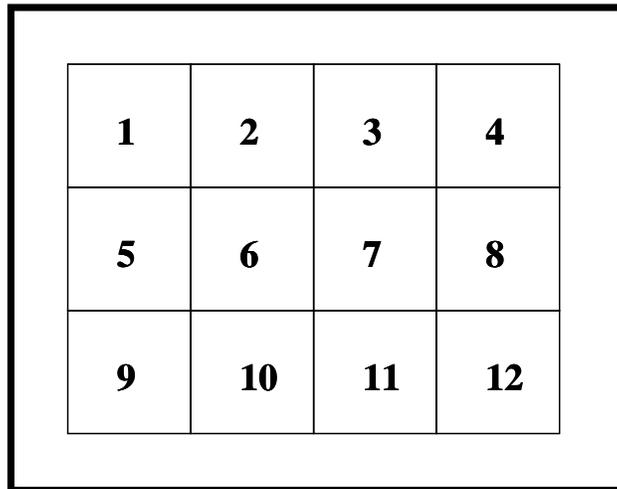


FIGURA 2.9 - Representação de uma estrutura sequencial de informações

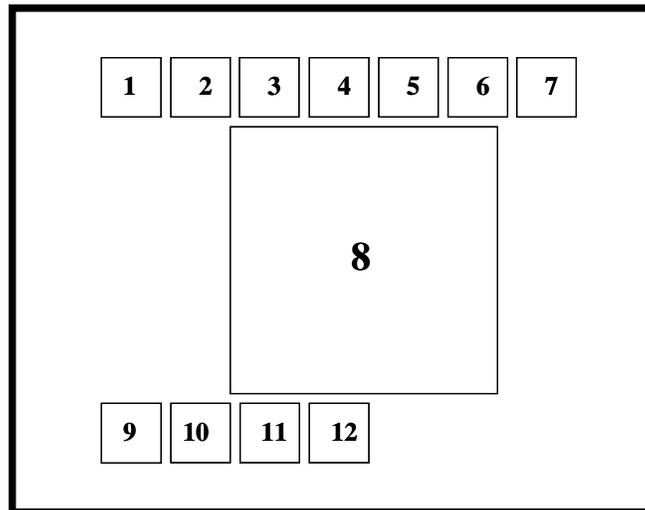


FIGURA 2.10 - Representação utilizando *Flip Zooming* com foco no objeto 8

Para a representação de informações textuais, pode ser utilizada a técnica *Document Lens* [ROB 93], onde as informações são mapeadas para uma pirâmide truncada, proporcionando um efeito de lente de distorção. Tabelas são visualizadas graficamente através de técnicas como *Information Grid* [RAO 92] ou *Table Lens* [ROB 93], esta última fornecendo também um mecanismo de "lente".

Table Lens

A técnica *Table Lens* [RAO 94] utiliza o mecanismo foco+contexto para visualização e manipulação de grandes tabelas. A técnica foco+contexto permite a visualização e interação da estrutura completa das informações e de itens específicos, de acordo com o nível de interesse do usuário, através da distorção da visão. Esta distorção é obtida pelo uso da função de determinação do grau de interesse DOI, introduzida por Furnas [FUR 81] [FUR 86], observando-se que, no caso da *Table Lens*, cada dimensão possui sua própria função DOI, ou seja, a distorção ocorre nas direções x e y de forma independente (Figura 2.11).

A técnica *Table Lens* apresenta as seguintes operações: *zoom*, que permite a alteração do tamanho da área de foco sem mudar o número de células contidas nesta área; *adjust*, que permite a mudança do conteúdo visualizado sem alterar o tamanho da área focal; *slide*, que muda a posição da área focal dentro do contexto e *adjust+zoom*, uma combinação destas duas operações para permitir ao usuário aumentar o número de células na área do foco sem alterar o tamanho original das células.

The screenshot shows the Inxight Table Lens application window titled "Inxight Table Lens - [foremost.txt]". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Tools, Options, Window, Help) and a toolbar with various navigation and zooming icons. The main display area shows a data table with columns: Year, Quarter, Product, Channel, Region, Saleperson, Units, Revenue, and Profits. A red-bordered zoomed-in view is overlaid on the table, focusing on rows 444 through 447 and the Units, Revenue, and Profits columns. The zoomed-in data is as follows:

Row ID	Year	Quarter	Product	Channel	Region	Saleperson	Units	Revenue	Profits
126	1993	2	ForeCode Pro	Direct Sales	Southwest	Kevin Polen	1029	439898	171561
444	1993	4	ForeCode Pro	VAR	West	Tom Tuttle	302	122310	51371
445	1993	4	ForeCode Pro	VAR	West	Ann Thomas	302	122310	51371
446	1993	3	ForeMost S...	Direct Sales	Midwest	Sal Vitatone	301	2.8595e+006	929338
447	1993	3	ForeMost S...	VAR	South	Gary Copper	301	2.709e+006	948150

At the bottom of the window, a status bar displays: "289 | Key: 1992 | Col: Profits | Median: 30813.0000 | Row: 1967, Col: 9".

FIGURA 2.11 - *Table Lens*: Representação visual de uma tabela com linhas e colunas de dados comprimidas em *pixels*. O usuário pode focalizar e expandir linhas e colunas para visualizar os dados, mantendo o contexto geral da tabela [RAO 94]

2.5.2.2 Estruturas hierárquicas e grafos

Diversas técnicas de visualização tem sido desenvolvidas para visualizar informações hierárquicas ou altamente relacionadas. Isto é devido à grande quantidade de informações que estão organizadas desta maneira, na forma de hiperdocumentos, sistemas de arquivos, *sites Web*, etc. Tais técnicas utilizam **objetos geométricos**, **preenchimento de área** ou **diagramas de nodos e arestas** para representar visualmente informações estruturadas dessa forma.

Dentre as técnicas mais conhecidas para visualização de árvores, podem ser citadas: *Cone Tree* [ROB 91], *TreeMaps* [SHN 92], *Information Slices* [AND 98], *Hyperbolic Tree* [LAM 96b], CHEOPS [BEA 96] e *Information Cube* [REK 93]. No caso de grafos, há uma quantidade considerável de algoritmos de *layout* [BAT 99], embora poucos estejam disponíveis na forma de ferramentas [DOG 2002]. O conjunto de técnicas para representação de grafos e árvores mereceu cuidadosa revisão de Herman et al. [HER 2000].

Tendo em vista a importância das técnicas de visualização de árvores no contexto do presente trabalho, sua revisão é expandida na próxima seção.

2.6 Visualização de informações hierárquicas

Conforme mencionado anteriormente, as técnicas para exibição de estruturas hierárquicas foram aqui organizadas em três classes.

A classe de técnicas baseadas em objetos geométricos representa os nodos da árvore por meio de estruturas geométricas como cubos e paralelepípedos. A relação hierárquica entre nodos é representada por linhas ou superfícies conectando os objetos ou por uma relação espacial como proximidade ou inclusão. As técnicas seguindo a abordagem de preenchimento de área representam a árvore através da subdivisão de um plano ou de uma região de um plano em subregiões que representam sub-árvores ou, em última instância, os nodos folha. Finalmente, as representações baseadas em diagramas de nodos e arestas correspondem a “reinterpretações” da forma clássica de representação de grafos.

A seguir, exemplos dessas três classes são apresentados.

2.6.1 Técnicas baseadas em objetos geométricos

File System Navigator

O sistema de visualização *File System Navigator* (FSN) [TES 92] foi desenvolvido pela Silicon Graphics para demonstrar o poder do *hardware* de suas máquinas na visualização de objetos tridimensionais, e com o objetivo de investigar o processo de navegação em hierarquias exibidas na forma de paisagem. O FSN foi projetado para fornecer uma visão geral da estrutura de diretórios de arquivos do tipo *Unix*. No FSN os arquivos em cada diretório eram representados por caixas localizadas em uma grade no topo de cada pedestal. Sobre cada caixa era exibido um ícone que representava o tipo de arquivo e a altura, o tamanho e a cor, a sua idade (Figura 2.14). O clique do *mouse* sobre

um arco que liga um subdiretório fazia surgir uma mão virtual com a qual o usuário podia movimentar e manipular os arquivos existentes dentro deste espaço. A seleção de um arquivo com o *mouse* ativava uma luz do tipo *spot*, sobre o objeto, destacando-o. Um duplo clique abria o arquivo para edição.

A paisagem virtual é construída por células que representam os diretórios com blocos de dados que representam os arquivos. O volume dos blocos representa o tamanho dos arquivos ou o tamanho de todos os arquivos no respectivo diretório. Linhas de conexão multi-direcional entre as células mostram a topologia do sistema de arquivo. A luz projetada sobre o painel marca um arquivo selecionado e move o objeto de interesse para o foco.

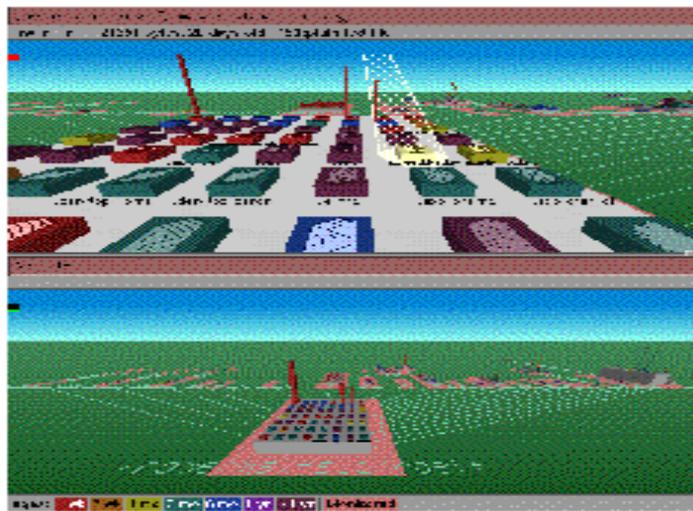


FIGURA 2.14 - *File System Navigator*: Representações visuais mostrando dois painéis que exibem a mesma estrutura de diretórios de arquivos *UNIX* com diferentes perspectivas [DAE 95]

Information Cube

A técnica de visualização *Information Cube* [REK 93] foi desenvolvida para a visualização de hierarquias no espaço tridimensional. As informações são exibidas como cubos translúcidos encaixados um dentro do outro, onde o mais externo representa o nodo raiz da hierarquia. Os cubos que denotam o segundo nível estão localizados no interior do mais externo, os do terceiro dentro daqueles que ocupam o segundo nível e assim por diante. Títulos são exibidos na superfície dos cubos representando as informações contidas nos nodos. São fornecidos mecanismos de *zooming*, movimentação e rotação da estrutura que são executadas através de animações para que o usuário não se sinta confuso com a troca brusca do foco. Esta técnica pode representar informações adicionais pela variação de seu nível de transparência. O *Information Cube* possui um mecanismo de interação de seleção onde o usuário, com o uso de uma luva, seleciona e manipula um determinado elemento (Figura 2.15).

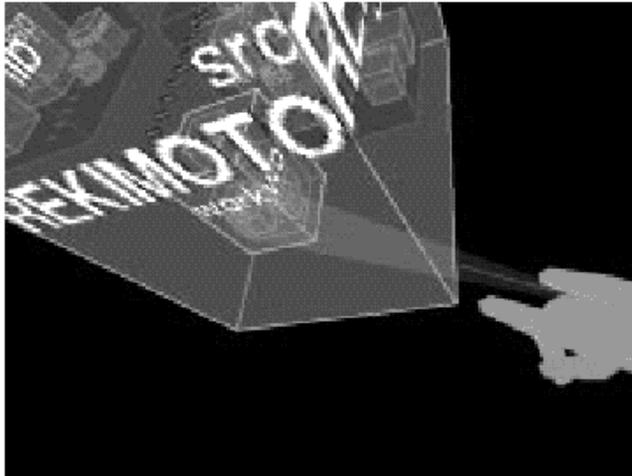


FIGURA 2.15 - *Information Cube*: Representação visual de uma estrutura de diretório de arquivos, onde o usuário seleciona um objeto utilizando uma luva [REK 93]

Cityscape

As representações visuais geradas pela técnica de visualização *CityScape* [GER 95] são generalizações de gráficos de barras em três dimensões para representar estruturas hierárquicas e redes. As construções e suas conexões representam ou contém informação e podem ser diferenciadas pela troca interativa de seu tamanho ou cor. Os usuários podem "voar" diretamente para a localização que querem. A informação é codificada em glifos 3D (que são os edifícios) com sua altura, cor e características gráficas (estilo de arquitetura) amarrando estas características à informação. As construções podem ser conectadas por linhas para descrever conexões e inter-relações. No projeto de visualização Sage [ROT 97], desenvolvido pela Universidade Carnegie Mellon, em Pittsburgh, o usuário pode alterar a visão das partes da *CityScape* interativamente, ajustando à sua necessidade. Em outros projetos, pesquisadores da Silicon Graphics⁵ Inc., Visible Decision⁶ Inc. e outros (Universidade Karlsruhe) desenvolveram ferramentas que exploram *CityScapes*⁷ para descrever dados financeiros e outras informações (Figura 2.16).

⁵ (<http://www.sgi.com/employment/>)

⁶ (<http://www.vdi.com/home/index.asp>)

⁷ (<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/~nibr/work/Methoden/Cityscapes.Html>)

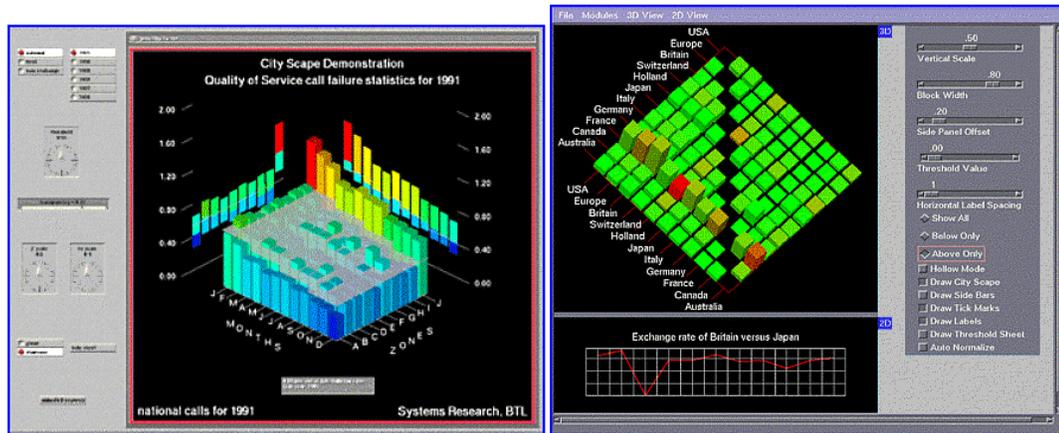


FIGURA 2.16 - *CityScape*: Exemplo da British Telecon, com um módulo AVS⁸ para auxiliar na análise estatística de redes [KAR 99]

Cone Tree

A técnica *Cone Tree* [ROB 91] utiliza uma representação tridimensional de informações hierárquicas na qual o nodo raiz de uma árvore, representado por um retângulo, é localizado no ápice de um cone translúcido e todos os seus filhos são dispostos na base circular do cone (Figura 2.17). Os cones apresentam mesma altura para cada nível da árvore mas seus diâmetros são reduzidos de um nível para outro de modo que toda a estrutura seja visível na área disponível na tela. O objetivo desta técnica é apresentar uma estrutura na qual uma hierarquia inteira ou um grande percentual desta seja visível sem necessidade de *scrolling*, mas permitindo supressão ou exibição de nodos durante a navegação. Recursos de rotação, animação e *zoom* permitem acesso rápido às informações com boa orientação para visualização. *Cam Trees* [ROB 91] e *Reconfigurable Disc Trees* [JEO 98] são variações de *Cone Trees* com representação horizontal da hierarquia, no primeiro caso, e uso de discos no lugar de cones para reduzir a oclusão de nodos, no segundo.

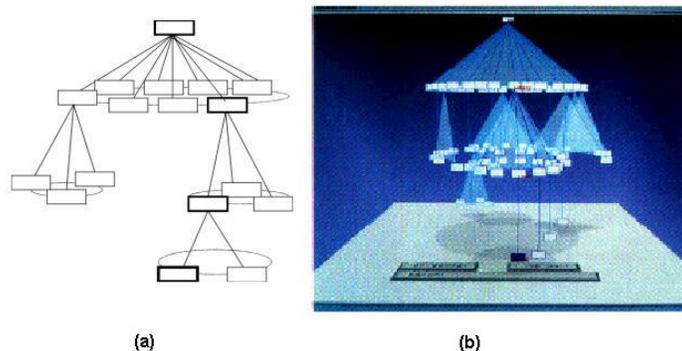


FIGURA 2.17 - (a) Esquema básico da técnica *Cone Tree*, com nodos filhos dispostos na base de um cone, com nodo pai no ápice e (b) *Cone Tree* representando a estrutura de diretório de arquivos, utilizando sombra e transparência na representação visual dos cones [ROB 93]

⁸ AVS (*Advanced Visual Systems*): <http://www.avis.com/>

2.6.2 Técnicas baseadas em preenchimento de área

TreeMaps

Uma abordagem diferente, utilizando o espaço de tela para representar elementos de informação, ao invés de utilizar objetos geométricos, foi adotada por Johnson e Shneiderman [JOH 91], com a técnica *TreeMaps*. Nesta técnica (Figuras 2.18 e 2.19), uma estrutura hierárquica, como a árvore de diretórios de um sistema, é representada pela subdivisão sucessiva do espaço de tela. Cada sub-espço representa um diretório e é subdividido em função dos sub-diretórios e arquivos que o compõem. Esta abordagem, conhecida como preenchimento de área, deu origem a outras como *Cushion TreeMaps* [WIJ 99], *Information Slices* [AND 98], a interface do *Sunburst* [STA 2000b], além de diferentes algoritmos de subdivisão do espaço [SHN 2001a].

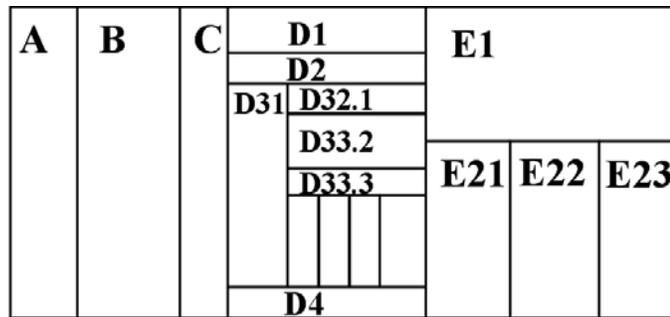


FIGURA 2.18 - Esquema básico da técnica *TreeMaps* [JOH 91]

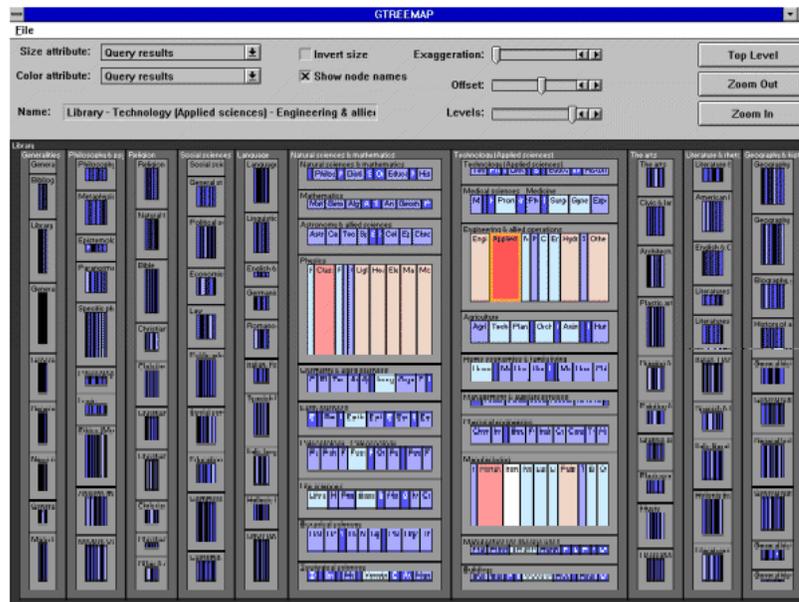


FIGURA 2.19 - *TreeMaps*: Representação visual exibindo a organização hierárquica utilizada em uma biblioteca [extraída SHN 92]

Cheops

A técnica de visualização **CHEOPS**⁹ [BEA 96], desenvolvida pelo *CRIM's*¹⁰, foi proposta com o objetivo de fornecer um método simples e poderoso para explorar grandes hierarquias. A estratégia adotada foi a de manter uma visão geral da estrutura e proporcionar um acesso fácil aos seus detalhes sem a utilização de técnicas como as de agrupamento nem de funções DOI (*Degree Of Interest*) normalmente utilizadas nas técnicas de foco+contexto [FUR 81] [FUR 86]. O método baseia-se em uma visualização comprimida do conjunto de dados hierárquicos, onde alguns de seus nodos são representados com um mesmo componente visual, neste caso, o triângulo. Os dados são representados por uma árvore de triângulos. Note-se que, numa representação da árvore da Figura 2.20a como um *TreeMap* (Figura 2.20b), os nodos E e F são representados pelo mesmo nodo 5. Desta forma, numa mesma área de tela pode-se exibir uma hierarquia muito maior se comparada aos métodos tradicionais de visualização de árvores. Nesta técnica há um mecanismo de *bookmarks* que permite ao usuário anotar os nodos já visitados, permitindo-lhe um alto grau de orientação. Possui um mecanismo de pré-seleção, que permite a exploração da hierarquia abaixo de um nodo selecionado sem efetivar a seleção de um novo nodo. A simples sobreposição do cursor do *mouse* em um componente visual destaca toda a sub-árvore associada a ele desde o nodo selecionado.

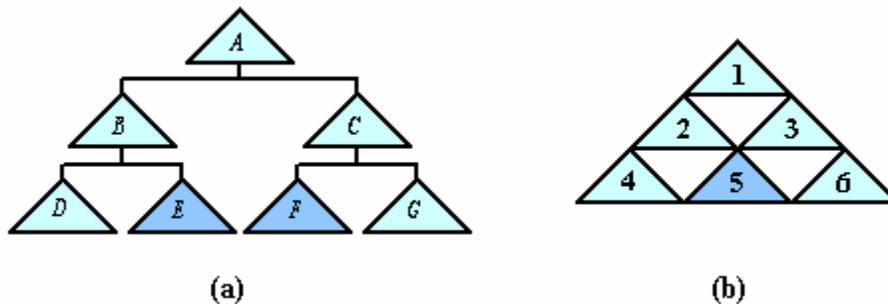


FIGURA 2.20 - *Cheops* (a) Representação tradicional de uma árvore
(b) Representação *Cheops* da mesma árvore [BEA 96]

Information Slices

A técnica *Information Slices* [AND 98] utiliza um ou mais discos semicirculares (Figura 2.21) para visualizar compactamente hierarquias com vários níveis em duas dimensões. Cada disco representa uma hierarquia de múltiplos níveis; geralmente entre 5 e 10 níveis são visualizados em cada disco. Em cada nível da hierarquia, os filhos são dispostos no espaço de acordo com o tamanho de cada filho. Grandes hierarquias são representadas usando uma série de discos em cascata. Uma fatia do disco semicircular é expandida para uma área à direita da primeira, também como um semicírculo. Para exibir mais do que dois níveis de uma hierarquia, os superiores são representados por ícones.

⁹ O termo CHEOPS origina de *CRIM's Hierarchical Engine for OPen Search*

¹⁰ *CRIM's - Centre de Recherche Informatique de Montréal*

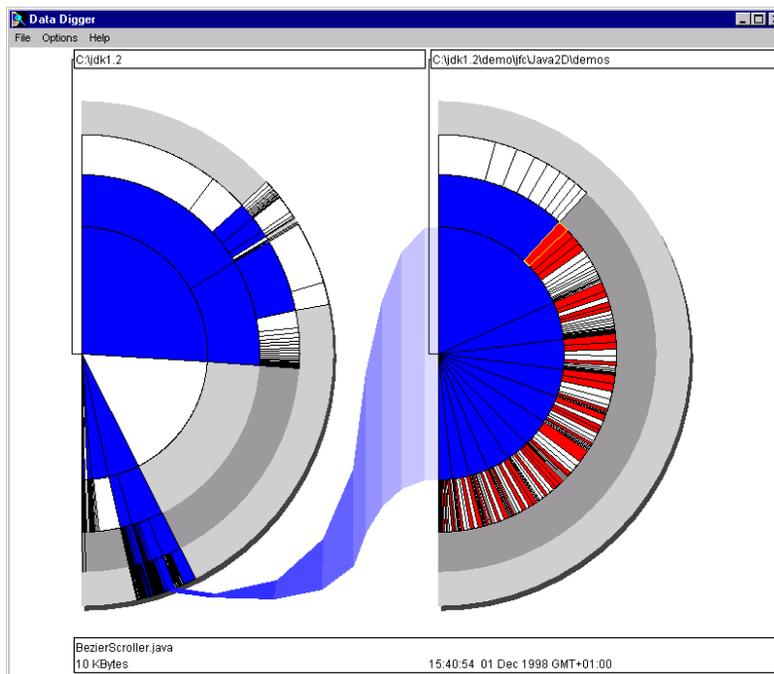


FIGURA 2.21 - Representação da técnica *Information Slices* (adaptada de [AND 98])

Time Tube

A técnica *Time Tube* foi criada por Chi *et al.* [CHI 98] como parte integrante de um sistema denominado WEEV (*Web Ecology and Evolution Visualization*) tendo como objetivo facilitar a interpretação dos relacionamentos existentes nos conteúdos da *Web*, bem como a topologia e as alterações que possam ocorrer através do tempo.

Um *Time Tube* é formado por uma ou mais *Disk Trees* que representam a estrutura de *hiperlinks* de um *site* em um determinado momento no tempo. A Figura 2.22 apresenta a evolução do *site* da Xerox (www.xerox.com) durante o mês de abril de 1997. A estrutura é formada por 4 discos, onde cada um representa um estado do *site* em cada uma das 4 semanas de abril.

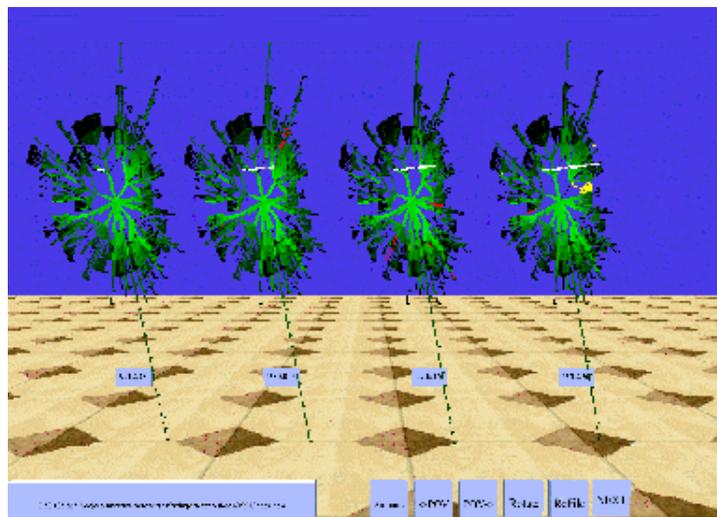


FIGURA 2.22 - *Time Tube* (extraída de [CHI 98])

Cada disco é representado através de uma técnica denominada *Disk Tree*. A técnica exhibe a estrutura em um *layout* circular localizando o nodo raiz no centro. Cada nível é representado através de círculos concêntricos, onde o mais externo denota o nível mais profundo. Os nodos folha são exibidos como fatias do círculo que representa o nível onde eles estão localizados. O ângulo que determina o espaço ocupado por cada fatia é obtido dividindo-se 360° pelo número de nodos folha existentes na árvore.

Os *links* da árvore são representados através de linhas, que podem variar em sua espessura em função da frequência de acesso de cada *link*. Aqueles que ligam páginas de acesso frequentes são representados com linhas mais espessas. A adição de brilho ao atributo cor reforça a identificação das páginas mais visitadas, onde as cores claras indicam as mais acessadas. A cor propriamente dita representa o estágio do ciclo de vida que a página se encontra. Vermelho indica novas páginas, amarelo páginas excluídas e verde, páginas existentes. A Figura 2.23 apresenta um exemplo de uma *Disk Tree*.



FIGURA 2.23 - *Disk Tree* (extraída de [CHI 98])

Em função da *Disk Tree* ser representada no plano, a terceira dimensão foi utilizada para mapear o tempo. O conjunto de discos é exibido de forma que eles não se situem paralelos entre si. Uma rotação é aplicada a cada um deles, de forma que ao serem exibidos ocupem a mesma porção de tela, a fim de evitar o efeito causado pela projeção perspectiva que produz uma redução nas dimensões de cada disco em função da sua localização na janela. Essa compensação angular evita que aqueles que estão localizados próximos ao centro possuam uma pequena porção de sua face exibida. Além disso, também evita que os discos localizados à esquerda do centro tenham a sua face frontal exibida, enquanto que os da direita sejam visualizados por sua face posterior, o que causaria uma maior dificuldade na compreensão global da estrutura. Essa característica também permite que um determinado disco possa sofrer uma rotação diferenciada a fim de ser enfatizado em relação ao demais.

O sistema mantém também diversas formas de interação com o usuário para permitir uma exploração das informações. Entre elas destacam-se : rotação simultânea de todos os discos posicionando as suas faces em uma vista frontal a tela; *zoom* para permitir a visualização de um nodo com um maior nível de detalhes; destaque de um nodo

selecionado em todos os discos simultaneamente; destaque das linhas que representam os *links* de um nodo selecionado.

Sunburst

Sunburst [STA 2000b] é uma ferramenta para visualização de estrutura de diretórios que utiliza uma abordagem semelhante à técnica *Treemap* [SHN 92] e *Information Slices* [AND 98], diferenciando-se pela utilização de um *layout* circular ao invés do retangular. Técnicas com essa característica são ditas técnicas de abordagem de preenchimento radial de área. Os níveis são representados por círculos concêntricos com a medida de seus raios variando de forma proporcional à distância do respectivo nível em relação ao nodo raiz da estrutura (Figura 2.24).

Na interface do sistema *Sunburst*, Stasko e Zhang [STA 2000b] utilizam discos completos, seguindo basicamente o mesmo conceito do *Information Slices*. Possibilitando a navegação rápida em hierarquias com muitos níveis, sendo possível integrar um disco de informações com uma árvore convencional, combinando desta forma, as vantagens de ambas as técnicas.

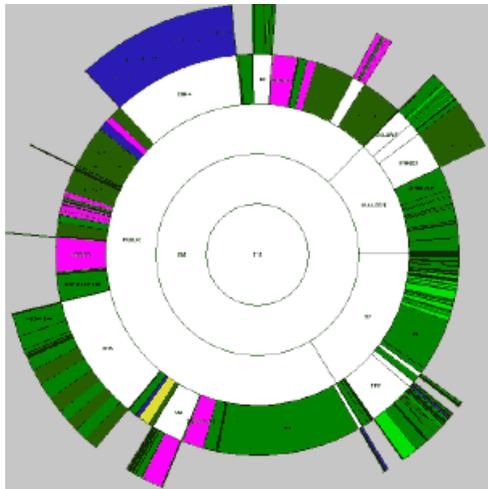


FIGURA 2. 24 - *Sunburst* (extraída de [STA 2000b])

Assim como a técnica *Information Slices* [AND 98], o ângulo utilizado para exibir cada fatia é proporcional ao tamanho do arquivo ou diretório que ele representa, e a cor identifica o tipo de arquivo ou a data da mais recente alteração. Um experimento de avaliação com um grupo de usuários identificou que os nodos referentes a pequenos arquivos tinham uma medida angular muito pequena, dificultando a leitura de seus atributos, o que é agravado em grandes hierarquias. Dessa forma, Stasko e Zhang [STA 2000b] propuseram três formas alternativas para o *layout*, a fim de permitir o exame de trechos da estrutura com um maior nível de detalhes.

Na primeira (*Angular Detail*), quando o usuário seleciona um nodo, o desenho que representa a estrutura inteira é reduzido de tamanho e movido para um local próximo a borda da janela no lado diametralmente oposto ao item selecionado. Logo após o setor que representa a sub-árvore do nodo selecionado é exibido fora do desenho original da estrutura, com suas medidas radial e angular ampliadas. A transição entre os dois

momentos é executada através de animação a fim de minimizar a desorientação do usuário. Os dois parâmetros (raio e ângulo) podem ser alterados conforme a necessidade. A Figura 2.25 mostra 3 momentos dessa seleção.



FIGURA 2.25 - *Angular Detail* (extraída de [STA 2000b])

Na segunda alternativa (*Detail Outside* - Figura 2.26), o desenho da estrutura é reduzido de tamanho, mas mantém-se no centro da janela. A sub-árvore do nodo seleccionado também é exibida externamente ao desenho da estrutura, mas ocupa uma medida angular de 360 graus formando um anel em torno do desenho original.

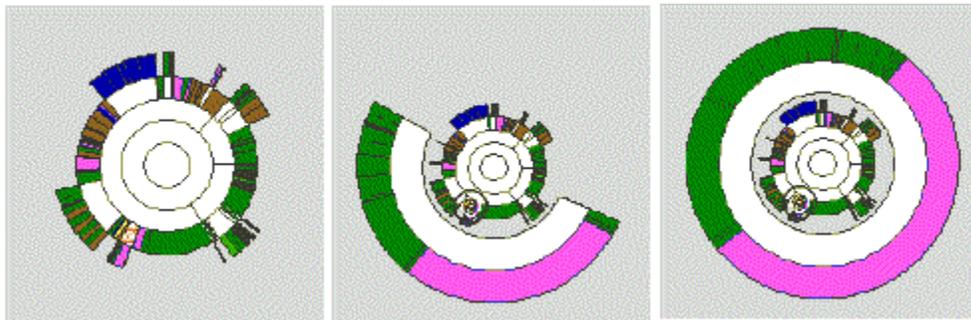


FIGURA 2.26 - *Detail Outside* (extraída de [STA 2000b])

Na terceira (*Detail Inside*), o diâmetro do círculo onde é exibida a estrutura é ampliado de forma que a sub-árvore do nodo seleccionado seja exibida em seu interior conforme mostra a Figura 2.27. Nesta situação é a estrutura geral que forma um anel circundando a área detalhada.

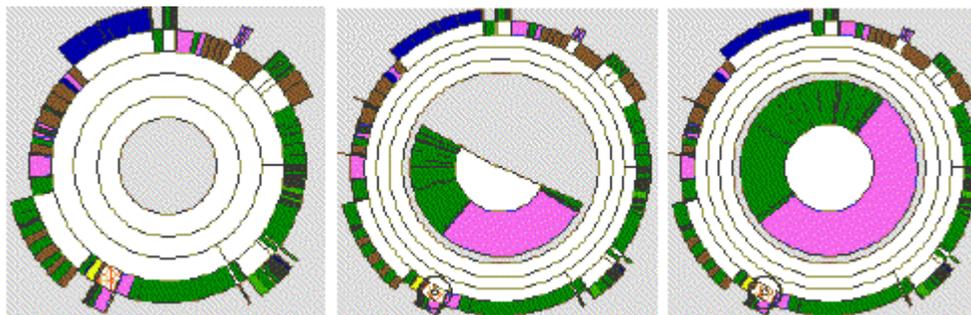


FIGURA 2.27 - *Detail Inside* (extraída de [STA 2000b])

Nessa mesma abordagem, o trabalho mais recente é a técnica *InterRing* [YAN 2002], que implementa uma série de operações necessárias a um ambiente para a exploração de dados multidimensionais. Nesse ambiente, dados multidimensionais são reduzidos para hierarquias de agrupamentos (Figura 2.28), de modo que a representação visual hierárquica desses agrupamentos pode ser explorada utilizando funções de expansão de agrupamentos, reconfiguração interativa da árvore, *zooming*, *panning*, rotação, distorção controlada e seleção de nodos.

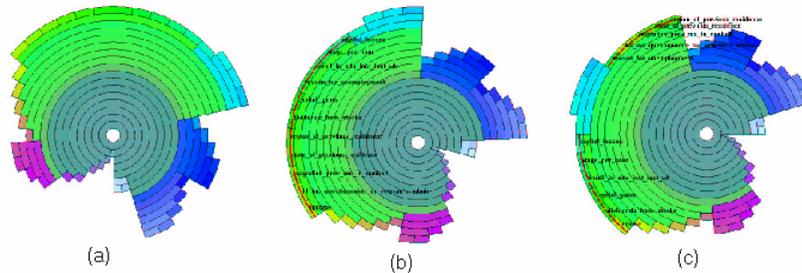


FIGURA 2.28 - *InterRing* exibindo as dimensões hierárquicas de um conjunto de dados de um censo: (a) mostra a geração automática da hierarquia; (b) exibição dos detalhes de um agrupamento depois de operações de *brushing* e rotação e (c) modificação da hierarquia depois de mover algumas dimensões do agrupamento para outro lugar (extraída de [RUN 2002])

2.6.3 Técnicas baseadas em diagramas de nodos e arestas

Hyperbolic Tree [LAM 96b] e H3 [MUN 97]

Esta técnica representa hierarquias através de um *layout* radial (Figura 2.29) definido no plano hiperbólico e depois mapeado para um disco 2D. Apresenta aspectos de construção como o efeito *fish-eye* [FUR 81] [FUR 86] aliados a mecanismo simples de navegação pela indicação de um nodo de interesse, que é exibido no centro da representação em detalhe e o contexto é mantido pela exibição do restante do diagrama com nodos diminuindo de tamanho até serem suprimidos na borda do círculo. A técnica *Hyperbolic Tree* é empregada atualmente no *browser* comercializado pela Inxight Co. (*Star Tree Studio*), cuja primeira implementação distribuída foi o *Magnifind*¹¹, representado na Figura 2.30. Ambas as implementações exibem inicialmente a raiz da árvore como ponto central da estrutura, a qual pode ser modificada pela seleção de um novo foco ou através do arrasto do novo ponto de interesse até o centro do disco.

A Figura 2.29 mostra a transição da figura quando um nodo diferente é selecionado como foco. O foco é destacado por um contorno mais escuro assim como os ramos associados a ele.

¹¹ (<http://www.inxight.com/MagniFind/MagniFind.html>)

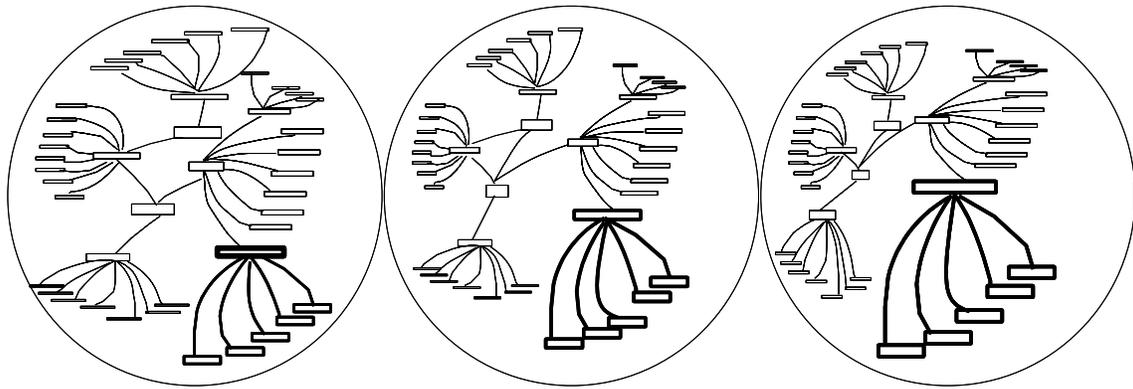


FIGURA 2.29 - Representação da *Hyperbolic Tree*

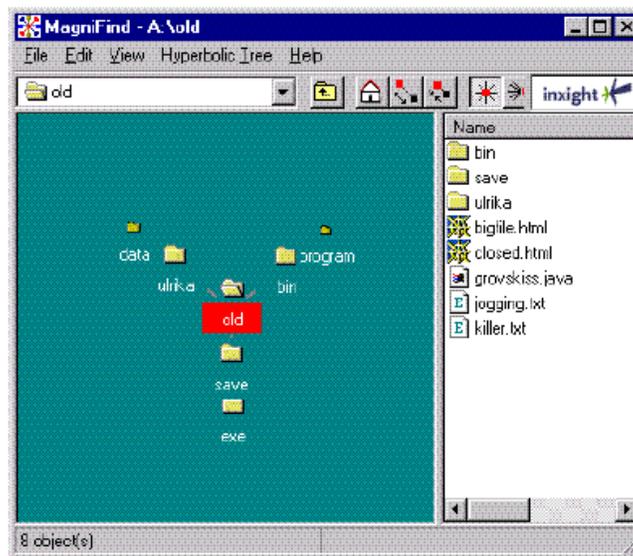


FIGURA 2.30 - *Magnifind*¹²: Visualização de uma árvore de diretório sobre o Microsoft Windows

Uma extensão para 3D desta técnica foi desenvolvida por Munzner [MUN 97]. A estrutura é exibida dentro de um espaço delimitado por uma superfície esférica, onde os nodos folhas são representados por pequenas pirâmides como pode ser visto na Figura 2.31.

A idéia básica utilizada no *layout* é semelhante à técnica de visualização *Cone Tree* [ROB 91], diferenciando-se pela utilização de um formato de semi-esfera ao invés de cones para a exibição de um nodo com seus respectivos filhos. A cor também é utilizada para identificar o tipo que os nodos representam. Os textos exibidos em cada nodo são ocultos quando eles estão posicionados longe da origem. A seleção de um nodo através do clique do mouse faz com que ele seja transladado para o centro da esfera através de uma transição animada, semelhante ao mecanismo existente no *Hyperbolic Browser*. Junto com esse deslocamento está associado um componente de rotação que faz com que ao ser alcançada a origem, os nodos ancestrais estejam localizados à esquerda e os descendentes à direita. Essa

¹² (<http://www.inxight.com/MagniFind/MagniFind.html>)

disposição horizontal tem como objetivo orientar o usuário e minimizar a oclusão. A técnica foi estendida recentemente como um browser XML3D para a Web [RIS 2000].

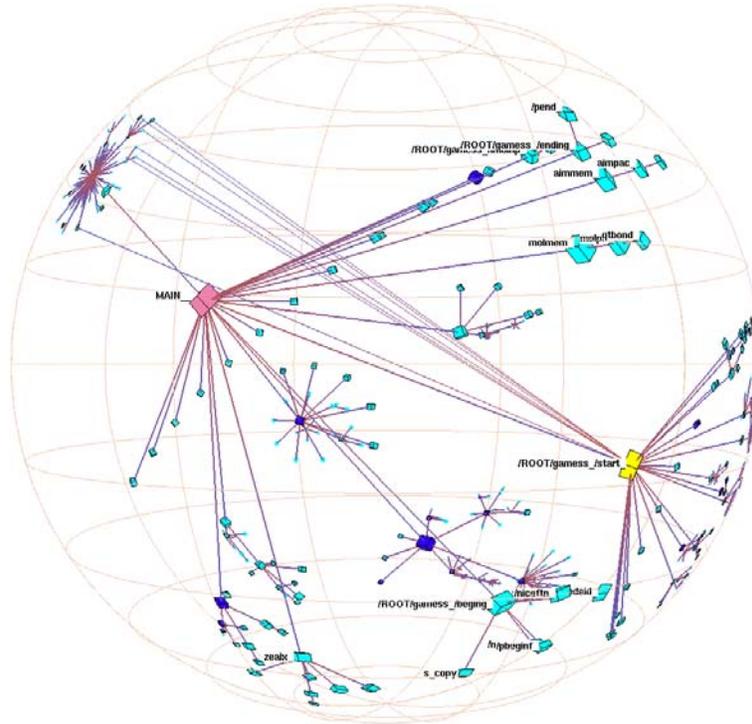


FIGURA 2.31 - *Hyperbolic Tree Browser*: Visualização de um grafo utilizando a biblioteca H3Viewer [MUN 98]

Bifocal Tree

Características de duas abordagens, hiperbólica e preenchimento de espaço, foram utilizadas em técnica proposta recentemente, a *Bifocal Tree* [CAV 2001a] [CAV 2001b] [CAV 2002]. Nesta técnica uma hierarquia é exibida através de um diagrama composto, em duas áreas conexas, uma área de contexto e uma área de detalhe (Figuras 2.32). Inicialmente, a raiz da hierarquia está no foco da área de detalhe, não havendo diagrama na área de contexto. Quando um nodo é selecionado, este passa a ser o foco na área de detalhe e o seu nodo-pai passa a ser o foco na área de contexto. Estes focos definem áreas circulares e são separados por uma distância arbitrária. Desta forma, é permitida ao usuário uma visão detalhada da sub-árvore que contém o nodo de interesse sem que a percepção da hierarquia completa seja perdida. O efeito *fisheye* é obtido através do cálculo do tamanho dos nodos folhas e da distância do centro do nodo aos focos. Nodos mais distantes dos focos são menos detalhados que os nodos mais próximos. Os nodos são representados por retângulos dispostos de maneira radial com os focos nos centros das estruturas. Expansão, poda e seleção são operações disponibilizadas pela técnica, que são realizadas sempre mantendo a sub-árvore visível, o que reduz no usuário a sensação de perda de contexto.

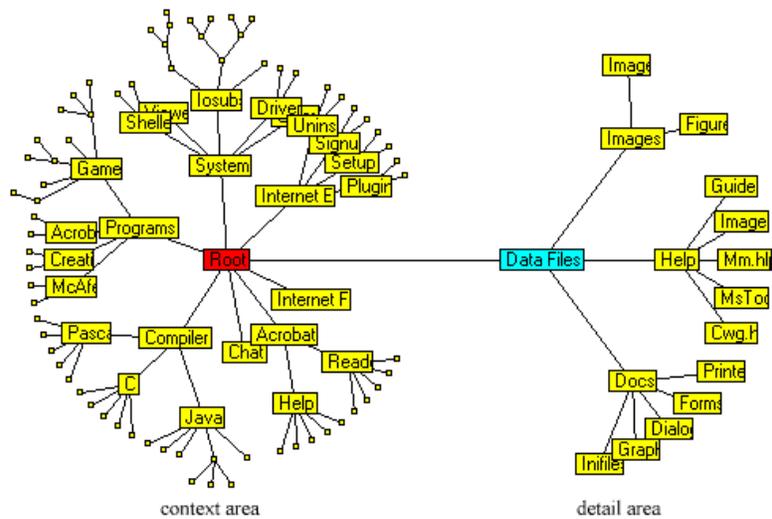


FIGURA 2.32 - *Bifocal Tree*: Técnica para informações hierárquicas com dois focos [CAV 2001a]

Space Tree

Space Tree [PLA 2002] é uma técnica de visualização que combina *layout* convencional para exibição de árvores (diagrama de nodos e arestas) e um ambiente que ajusta dinamicamente as folhas (e ramos) da árvore preenchendo melhor o espaço disponível da tela. Esta característica permite que grandes árvores sejam exploradas interativamente. As folhas que não cabem na tela são representadas por um triângulo. Quando os usuários selecionam um nodo, trocando o foco do *layout*, o número de níveis abertos é maximizado. A *Space Tree* permite ainda operações de busca e filtragem. Os usuários digitam um texto e a localização dos nodos é destacada na estrutura (Figura 2.33). A técnica permite também consultas dinâmicas [SHN 94]. Os usuários rapidamente podam a árvore quando os nodos possuem um determinado atributo (os usuários manipulam um *slider* limitando o valor deste atributo). As folhas e ramos da árvore são dinamicamente pintados de cinza para mostrar o efeito da consulta.

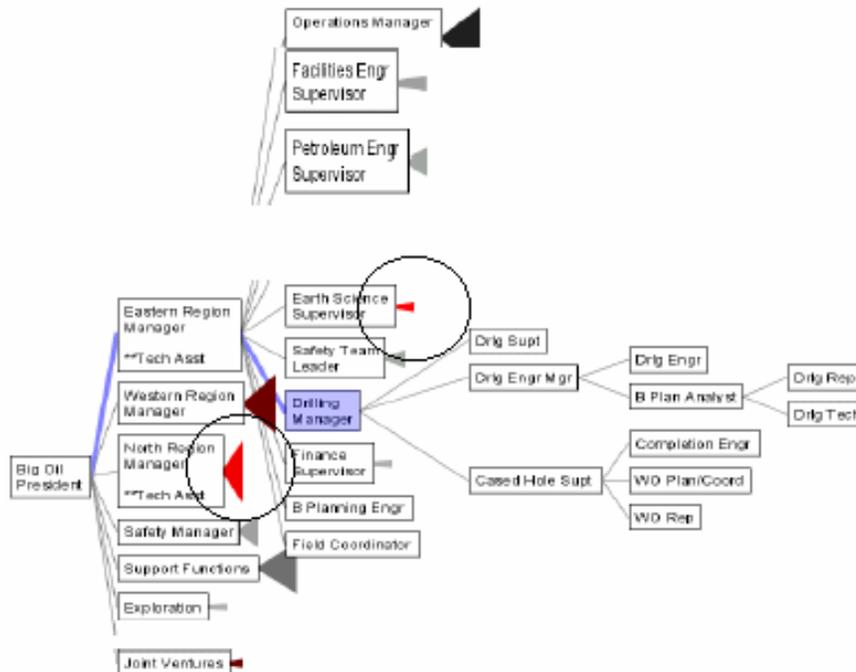


FIGURA 2.33 - *Space Tree*: Resultado de uma operação de busca por “scientist”. A localização dos resultados desta busca é exibida em vermelho (extraído de [PLA 2002])

2.7 Comentários finais

Nos últimos anos o volume crescente de informações fornecido por diversas aplicações, diferentes instrumentos e, principalmente, a *Web* acarretou o desenvolvimento de técnicas para seleção de uma parte dos dados do subconjunto de informações que são relevantes para uma necessidade ou objetivo particular. A pesquisa em sistemas de consultas visuais, mineração de dados e técnicas de visualização interativas resultaram em uma grande variedade de apresentações visuais e técnicas de interação que podem ser aplicadas em diferentes situações. Esta estreita relação deverá fazer surgir técnicas mais poderosas, combinando algoritmos estatísticos típicos de mineração de dados e testes de hipóteses de um lado com técnicas de visualização de dados e análise exploratória visual de outro [SHN 2001b].

Não obstante essa tendência, e ainda que haja uma grande variedade de modelos e técnicas para a visualização de informações [CAR 99], cada aplicação requer um estudo particular a fim de determinar se a técnica selecionada é adequada e utilizável. Este estudo é usualmente dirigido pelo **tipo de informação** que deveria ser representado e as **tarefas de usuário** ou processo de análise que a visualização deveria auxiliar ou suportar.

Trabalhos anteriores do nosso grupo de pesquisa [MAN 97] [BAO 98], resultaram na classificação de categorias de informações e/ou representações visuais, o que forneceu uma base conceitual para desenvolvimento de novas técnicas [MAN 2001] [CAV 2001a] [CAV 2001b] [CAV 2002]. Durante a criação destes projetos tornou-se evidente que não se pode separar os aspectos visuais da representação das informações e as características da

interface dos mecanismos de interação que auxiliam o usuário a navegar e consultar o conjunto de dados através de sua representação visual. Além disso, a experiência do grupo confirma que a avaliação destes dois aspectos é uma importante questão que deve ser considerada com diferentes experimentos incluindo, certamente, testes empíricos com usuários, os quais tem provado, que estes, freqüentemente, tem suas próprias ferramentas de análise e não estão conscientes dos benefícios das técnicas de visualização.

A necessidade de avaliação de técnicas de visualização começou a dar origem a publicações específicas apenas a partir do final de 2000 [CHE 2000b], quando os desenvolvedores de técnicas de visualização passaram a buscar na área de IHC apoio para suas avaliações, ao mesmo tempo que pesquisadores de IHC buscavam nas técnicas de visualização formas de melhorar as interfaces gráficas de sistemas de recuperação de informações. Os próximos dois capítulos abordam o tema avaliação segundo essas duas comunidades de pesquisadores.

3 Avaliação da interação homem-computador

3.1 Conceitos e métodos

A usabilidade é definida pela norma ISO 9241 (*International Organisation for Standardisation*) como a capacidade que apresenta um sistema interativo de ser operado, de maneira eficaz, eficiente e agradável, em um determinado contexto de operação, para a realização das tarefas de seus usuários. Desta forma, a avaliação de usabilidade de um sistema interativo tem como objetivos gerais: (a) validar a eficácia da interação homem-computador, face a efetiva realização das tarefas por parte dos usuários, (b) verificar a eficiência desta interação, face os recursos empregados (tempo, quantidade de incidentes, passos desnecessários, busca de ajuda, dentre outros) e (c) obter indícios da satisfação ou insatisfação (efeito subjetivo) que ela possa trazer ao usuário. A usabilidade de um sistema está sempre associada às características de determinados tipos de usuários, tarefas, equipamentos e ambientes físicos e organizacionais.

Pode-se dizer, ainda, que a usabilidade é uma adequação entre características físicas/cognitivas dos usuários e características da interação (com o sistema) para realização de tarefas. Para Abowd [ABO 92] a usabilidade pode ser expressa por três fatores:

- **facilidade de aprendizado:** agrupa os aspectos da interface que permitem ao usuário inexperiente compreender inicialmente como utilizar a interface e, em seguida, alcançar, por experiência, um nível elevado de performance;
- **flexibilidade de interação:** agrupa os aspectos que permitem multiplicidade de formas de trocar informações entre o usuário e o sistema;
- **robustez de interação:** agrupa os aspectos de interação que suportam a realização e a avaliação de objetivos.

Os aspectos correspondentes a **facilidade de aprendizado** são: (a) previsibilidade (histórico de interações → interação futura); (b) rastreabilidade (influência de operações passadas no estado atual); (c) familiaridade (correlação entre o conhecido e o necessário) e (d) "generalisabilidade" (interação específica → similares). Para a **flexibilidade de interação**, os aspectos são: (a) iniciativa do diálogo (latitude ou liberdade decisional); (b) múltiplos diálogos (intercalados ou paralelos); (c) migração de tarefas (usuário ↔ sistema); (d) substitutividade (de valores de entrada e saída); (e) multimodalidade (modos ou canais de comunicação) e (f) configurabilidade (pelo usuário). Para a **robustez de interação** tem-se: (a) observabilidade (do estado corrente); (b) recuperabilidade (de erros) e (c) conformidade à tarefa do usuário.

Nielsen [NIE 93], por sua vez, enfatiza que a usabilidade não é uma propriedade simples. Ela possui múltiplos componentes e a sua definição está associada, a princípio, a cinco atributos, que são: **capacidade de aprendizado, eficiência de uso, satisfação subjetiva do usuário, erros do usuário e memorização.**

A **capacidade de aprendizado** está relacionada à facilidade do usuário em aprender a utilizar uma interface gráfica, levando-se em consideração o nível de habilidade física e mental requerida por uma interface para que o usuário domine suas operações interativas.

A **eficiência de uso** refere-se ao tempo necessário para que um usuário possa tornar-se moderadamente eficiente no uso de uma interface, ou seja, em relação ao uso de suas funções e a rapidez no desenvolvimento de suas tarefas.

A **satisfação subjetiva** tenta medir a satisfação do usuário com a interface gráfica de forma geral. Refere-se então, basicamente, a como cada usuário sente-se diante de uma nova interface de um sistema e ao impacto psicológico causado por estas mudanças no ambiente profissional.

Os **erros do usuário** referem-se à frequência e à gravidade dos erros cometidos pelo usuário ao interagir com uma interface gráfica.

A **memorização** é a capacidade do usuário de não ter necessidade de um novo treinamento para executar as funções disponíveis na interface gráfica, após uma pausa considerável na utilização de uma ferramenta.

Para esse mesmo autor [NIE 93] [NIE 94], um método de avaliação visa encontrar problemas de usabilidade. Um problema de usabilidade é um aspecto do sistema e/ou da demanda sobre o usuário que torna o sistema ineficiente, difícil de usar ou impossível de ser operado pelo usuário.

A avaliação de usabilidade permite: (a) constatar, observar e registrar problemas efetivos de usabilidade durante a interação; (b) calcular métricas objetivas para eficácia, eficiência e produtividade do usuário na interação com o sistema; (c) diagnosticar as características do projeto que provavelmente atrapalham a interação por estarem em desconformidade com padrões implícitos e explícitos de usabilidade; (d) prever dificuldades de aprendizado na operação do sistema; (e) prever os tempos de execução de tarefas informatizadas; (f) conhecer a opinião do usuário em relação ao sistemas e (g) sugerir as ações de re-projeto mais evidentes face aos problemas de interação efetivos ou diagnosticados.

Durante a última década, a utilização de um grande número de métodos de avaliação de usabilidade tornou o planejamento de um projeto mais curto e mais barato. Geralmente, o esforço e o custo envolvido no teste com usuários reais tem sido visto pela comunidade de desenvolvimento como muito proveitoso no desenvolvimento de um novo *software*.

Rubin [RUB 94] distingue três tipos de técnicas para avaliação de interfaces gráficas. São elas:

- a) **Preditivas** ou **analíticas**: buscam prever os erros de projeto de interfaces sem a participação direta de usuários, ou seja, baseada no conhecimento de um especialista. As técnicas deste tipo são:
 - **inspeção cognitiva**: baseada em modelos formais e/ou cognitivos;

- **avaliação heurística:** baseada no julgamento do avaliador;
 - **inspeção de conformidade:** baseada na confrontação com princípios, *guidelines*, recomendações e normas (aplicação de checklists).
- b) **Objetivas** ou **empíricas:** buscam constatar os problemas a partir da observação do usuário interagindo com o sistema. Tais técnicas podem ser de dois tipos:
- **sistemas de monitoramento:** baseada em análise de dados comportamentais;
 - **ensaios de interação:** baseada em experimentos controlados;
- c) **Prospectivas:** buscam a opinião do usuário sobre a interação com o sistema através da aplicação de questionários.

As técnicas **preditivas** ou **analíticas** dispensam a participação direta de usuários nas avaliações, baseando-se em verificações e inspeções de versões intermediárias ou finais de sistemas interativos, sendo realizadas pelos projetistas ou por especialistas em usabilidade. Estas verificações consistem na decomposição e na organização hierárquica da estrutura da tarefa interativa para verificar as interações propostas.

A **inspeção cognitiva** é uma técnica que visa inspecionar os processos cognitivos que se estabelecem quando o usuário realiza a tarefa interativa pela primeira vez [BOV 90]. Está baseada em um modelo de como se desenvolvem as ações cognitivas dos usuários. Esta técnica visa avaliar as condições que o *software* oferece para que o usuário aprenda rapidamente as telas e as regras de diálogo. A validade desta técnica está justamente em seu enfoque nos processos cognitivos. Para realizá-la, o avaliador deve atentar para que o usuário conheça a tarefa e a operação dos sistemas informatizados. Deve também conhecer o caminho previsto para a realização das principais tarefas do usuário. Com estas informações, o avaliador passa a percorrer os caminhos previstos, aplicando, para cada ação, a seguinte lista de verificação: (a) O usuário tenta realizar a tarefa certa? Ao encontrar-se no passo inicial de determinada tarefa, o usuário, baseado no que lhe é apresentado, se propõe a realizar o objetivo previsto pelo projetista? (b) O usuário verá o objeto associado a esta tarefa? Este objeto está suficientemente à vista do usuário? (c) O usuário reconhecerá o objeto como associado à tarefa? As denominações ou representações gráficas são representativas da tarefa e significativas para o usuário? (d) O usuário saberá operar o objeto? O nível de competência na operação de sistemas informatizados é compatível com a forma de interação proposta? e (e) O usuário compreenderá o *feedback* fornecido pelo sistema como um progresso na tarefa?

Na técnica de **avaliação heurística**, os avaliadores julgam a interface baseados em seu conhecimento empírico e/ou com heurísticas ou, ainda, utilizando critérios ergonômicos. Nielsen [NIE 94] definiu dez heurísticas de usabilidade para condução de uma avaliação heurística. Já Bastien e Scapin [BAS 93] definiram critérios ergonômicos, pois a avaliação heurística representa um julgamento de valor sobre as qualidades ergonômicas das interfaces homem-computador. Em ambas as propostas, esta avaliação é realizada por especialistas em ergonomia, baseados em sua experiência e competência no assunto. Eles examinam o sistema interativo e fazem um diagnóstico dos problemas e barreiras que os usuários provavelmente encontrarão durante a interação. Esta técnica produz ótimos resultados, em termos de rapidez na avaliação, quantidade e importância dos problemas diagnosticados, mas, por serem subjetivos, exigem um grupo razoável de

ergonomistas, de modo a identificar a maior parte dos problemas ergonômicos das interfaces [JEF 91]. As seções 3.2 e 3.3 examinam com mais detalhes, respectivamente, os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin [BAS 93] e as heurísticas de Nielsen [NIE 94].

Na verificação baseada na confrontação com princípios, *guidelines*, recomendações ou normas é realizada uma **inspeção de conformidade** do *software* a padrões de qualidade explícitos para as interfaces. Para tanto, podem ser utilizadas listas de verificação (*checklists*) formais ou informais. As inspeções de usabilidade por *checklists* são vistorias baseadas em listas de verificação, através das quais os profissionais, não necessariamente especialistas em ergonomia, como por exemplo, programadores e analistas, diagnosticam rapidamente problemas gerais e repetitivos das interfaces [JEF 91]. Neste tipo de técnica, ao contrário da avaliação heurística, são as qualidades da ferramenta (*checklists*) e não os avaliadores, que determinam as possibilidades para a avaliação. Listas de verificação bem elaboradas devem produzir resultados mais uniformes e abrangentes, pois os inspetores são conduzidos no exame da interface através de uma mesma lista de questões a responder sobre a usabilidade do projeto.

Listas de verificação formais correspondem a uma das normas ISO de usabilidade: (a) **ISO 9126**, para características de qualidade; (b) **ISO 9241**, para ergonomia de software de escritórios; (c) **ISO 11581**, para ícones e *design*; (d) **ISO 14915**, para interface multimídia e *design*; (e) **ISO 13407**, para projeto centrado no usuário; (f) **ISO 16982**, para métodos de usabilidade e (g) **ISO 14598**, para projeto de avaliação. Exemplos de listas de verificação informais, ou melhor, não elevadas ao nível de padrão, são Evadis II [OPP 92], ISometrics [GED 99] e ErgoList¹.

A avaliação realizada através de listas de verificações apresenta as seguintes potencialidades: (a) possibilidade de ser realizada por projetistas, não exigindo especialistas em interfaces homem-computador, que são profissionais mais escassos no mercado, pois o conhecimento ergonômico está embutido nas listas de verificação; (b) sistematização da avaliação, que garante resultados mais estáveis mesmo quando aplicada separadamente por diferentes avaliadores, pois as questões ou recomendações constantes nas listas de verificação sempre serão efetivamente verificadas; (c) facilidade na identificação de problemas de usabilidade, devido a especificidade das questões das listas de verificação; (d) aumento da eficácia de uma avaliação, devido a redução da subjetividade, que normalmente está associada a processos de avaliação e (e) redução do custo da avaliação, pois é um método de aplicação rápida.

Entretanto, estes resultados dependem essencialmente das qualidades das listas de verificação, e nem sempre são atingidos. Muitas vezes, a sistematização é prejudicada devido às questões subjetivas, que solicitam do avaliador um nível de competência em usabilidade ou de conhecimento sobre o contexto que ele não possui. Outras vezes a abrangência das inspeções é prejudicada devido ao conteúdo incompleto e organização deficiente das listas. A economia na inspeção fica prejudicada por listas propondo uma grande quantidade de questões, que na sua maioria não são aplicáveis ao sistema em avaliação.

¹ (<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/>)

As técnicas **objetivas** ou **empíricas** contam com a participação direta de usuários e se referem basicamente aos **ensaios de interação** e às sessões com sistemas "espiões" (sistemas de monitoramento).

Nos **ensaios de interação** ocorrem simulações de uma situação real de trabalho, em campo ou em laboratório, da qual participam usuários representativos da população alvo do sistema, com o objetivo de revelar problemas ligados à utilização real do sistema e obter dados objetivos sobre a produtividade na interação (Figura 3.1). Neste método é feita uma análise e interpretação dos dados obtidos através: (a) da comprovação de hipóteses; (b) de novos problemas e (c) de métricas objetivas. Em suma, um ensaio de interação consiste de uma simulação de uso de um sistema da qual participam pessoas representativas de sua população-alvo, tentando realizar tarefas típicas de suas atividades, com uma versão do sistema pretendido. Sua preparação requer um trabalho detalhado de reconhecimento do usuário-alvo e de sua tarefa típica para a composição dos cenários e roteiros que serão aplicados durante a realização dos testes.

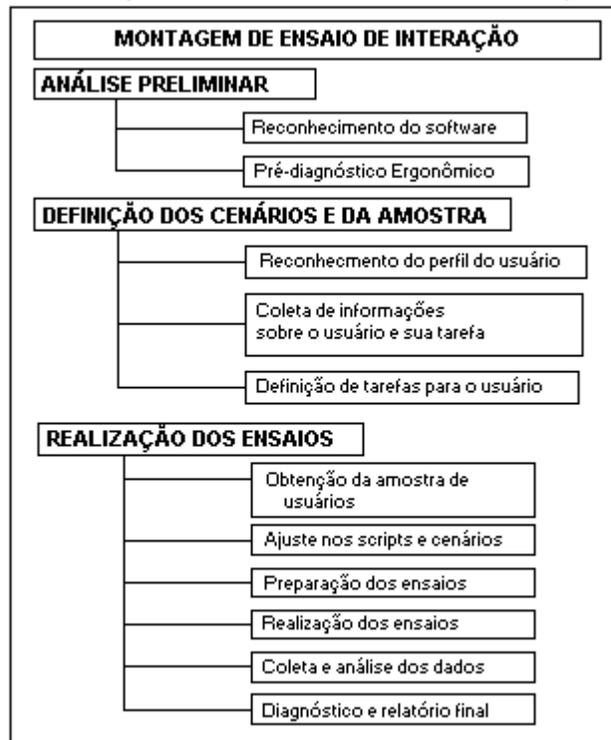


FIGURA 3.1 - Esquema de montagem de um ensaio de interação²

Nos **sistemas de monitoramento**, outra forma de realizar uma validação objetiva ou empírica, isto é, com a observação direta de usuários, a avaliação ocorre através do emprego de sistemas de monitoramento ou “espiões”. Estes sistemas são utilitários de *software* que permanecem residentes na máquina do usuário, simultaneamente ao aplicativo em teste. Eles são concebidos de maneira a capturar e registrar todos os aspectos das interações do usuário com seu aplicativo, em sua própria realidade de trabalho. Nesse

² (<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/apostila/Apost4-4.pdf>)

sentido, essa técnica permite contornar dois inconvenientes dos ensaios de interação. Mesmo que os usuários estejam cientes dos testes, os sistemas espões não causam constrangimentos ao usuário e capturam as interferências causadas por sua realidade de trabalho. Por outro lado, não há como incentivar ou registrar as verbalizações dos usuários. Os sistemas espões apresentam, também, limitações de ordem técnica, relacionadas principalmente, à portabilidade das ferramentas de espionagem face a diversidade de ambientes de programação existentes. A quantidade de dados a tratar pode se tornar muito grande. Dessa forma, a duração dos testes deve ser bem planejada pelos analistas. As características dos sistemas de monitoramento são: (a) permitem rápida e barata coleta de dados e (b) a análise de dados pode ser custosa. A presença de um especialista é necessária para interpretar a análise corretamente. Os seguintes aspectos podem fazer parte de um sistema "espão": (a) monitoramento dos eventos do *mouse*, teclado, ambiente, sistema e janelas utilizando o mecanismo de captura do *Windows*, por exemplo, e (b) investigação do número de ocorrências, tempo médio de execução, percentual de sucesso e insucesso, análise de tarefas incompletas ou um tempo de execução distante da média.

As técnicas **prospectivas** estão baseadas na aplicação de questionários ou entrevistas com o usuário para avaliar sua satisfação ou insatisfação em relação ao sistema e sua operação. Estes questionários mostram-se bastante pertinentes na medida em que é o usuário a pessoa que melhor conhece o sistema, seus defeitos e qualidades em relação aos objetivos de suas tarefas. Nada é mais natural do que buscar opiniões para orientar revisões de projeto. Muitas empresas de *software* elaboram e aplicam regularmente este tipo de questionário, como parte de sua estratégia de qualidade. Alguns questionários de satisfação encontram-se disponíveis na Internet como o QUIS [NOR 89] (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction* da Universidade de Maryland). É importante ressaltar que os questionários de satisfação tem uma taxa de devolução reduzida (máximo 30% de retorno), indicando a necessidade de elaboração de um pequeno número de questões. Um espaço para opiniões e sugestões livres deve ser sempre proposto ao usuário. Este tipo de técnica pode ser empregada para aumentar a efetividade de avaliações analíticas, realizadas por especialistas que diagnosticam problemas de usabilidade. Apoiados pelas respostas do questionário de satisfação, os especialistas podem centrar suas análises sobre os pontos problemáticos do sistema, apontados pelo usuário. ISONORM [PRU 99], por exemplo, é um questionário de satisfação com o objetivo de direcionar a aplicação da norma ISO 9241 (parte 10) somente aos quesitos apontados como problemáticos pelo usuário.

Na escolha de um método de avaliação, é importante examinar suas qualidades no confronto com os recursos disponíveis e com as expectativas dos resultados da avaliação de usabilidade. Os diferentes métodos de avaliação apresentam diferentes qualidades em termos do tipo e quantidade de problemas que identificam, da sistematização de seus resultados, da facilidade de aplicação e das chances que seus resultados tem de poder convencer os projetistas das necessidades de mudanças nas interfaces homem-computador.

As características que devem ser analisadas e confrontadas entre os diferentes métodos são:

- a) **efetividade**: referentes à quantidade de problemas sérios (recorrentes, transponíveis e assimiláveis) identificados. Para Jeffries *et al.* [JEF 93], os métodos mais efetivos são as avaliações heurísticas e os ensaios de interação;
- b) **abrangência**: referentes à quantidade de problemas reais de todos os tipos identificados. As inspeções por listas de verificação (*checklists*) e as avaliações heurísticas são as mais abrangentes;
- c) **eficiência**: é a razão da quantidade de problemas sérios (recorrentes, transponíveis e assimiláveis) identificados face a quantidade de problemas reais identificados de todos os tipos. A mesma pesquisa [JEF 93] indica os ensaios de interação como a técnica mais eficiente;
- d) **produtividade**: referente à razão entre a quantidade de problemas reais de todos os tipos identificados em relação a quantidade de recursos financeiros necessários;
- e) **sistematização**: para esta qualidade concorrem dois fatores igualmente importantes: repetitividade e reproduzibilidade. O primeiro refere-se à medida pela qual os resultados produzidos pela técnica se repetem, quando o mesmo avaliador examina a mesma interface algum tempo depois da primeira avaliação. O segundo fator se refere à medida pela qual dois avaliadores diferentes, examinando uma mesma interface, produzem os mesmos resultados. As inspeções por *checklists* são as mais sistemáticas;
- f) **facilidade de aplicação**: referente à qualidade do método de não exigir formação ou competências específicas para sua realização. Neste sentido, as inspeções por *checklists* são de mais fácil aplicação;
- g) **poder de persuasão**: referente à qualidade do método de produzir resultados capazes de convencer os projetistas da gravidade dos problemas de usabilidade identificados;
- h) **poder de desobstrução**: referente à qualidade da técnica de produzir indicações de melhorias na usabilidade dos sistemas.

Ao comparar o resultado de três diferentes técnicas de avaliação de interfaces **revisão com especialistas** (avaliação heurística e inspeção de conformidade), **revisão com usuários** (técnica prospectiva) e **teste de usabilidade interativo** (ensaio de interação), Savage [SAV 96] encontrou evidências que avaliações heurísticas descobrem os problemas mais sérios nas interfaces quando comparados a teste de usabilidade, *guidelines* e revisão cognitiva. Os dados para comparação foram obtidos durante o projeto interativo de uma interface gráfica para uma aplicação multimídia interativa. A avaliação utilizando o método **revisão com especialistas** tendeu a identificar áreas que requeriam teste adicional de usuário. Tanto **os testes de usabilidade** como a **revisão com usuários** resultaram no mais significativo replanejamento do projeto da interface, porém, envolveu também a maior parte do esforço e do custo da avaliação.

Conforme mencionado anteriormente, tanto Nielsen [NIE 93] [NIE 94] como Bastien e Scapin [BAS 93] desenvolveram parâmetros para a fundamentação da avaliação de interfaces gráficas. A próxima seção revisa os critérios ergonômicos propostos por Bastien e Scapin [BAS 93] enquanto a seção 3.3 descreve as heurísticas de Nielsen [NIE 94].

3.2 Critérios ergonômicos

Os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin [BAS 93] são utilizados em testes de usabilidade para avaliar a eficiência, efetividade e facilidade de uso de interfaces com o usuário. Esta verificação pode ser realizada tanto através de *checklists* utilizados em avaliações heurísticas e inspeções de conformidade, como em métodos empíricos e prospectivos.

A Figura 3.2 apresenta esses critérios de acordo com os agrupamentos e detalhamento propostos.

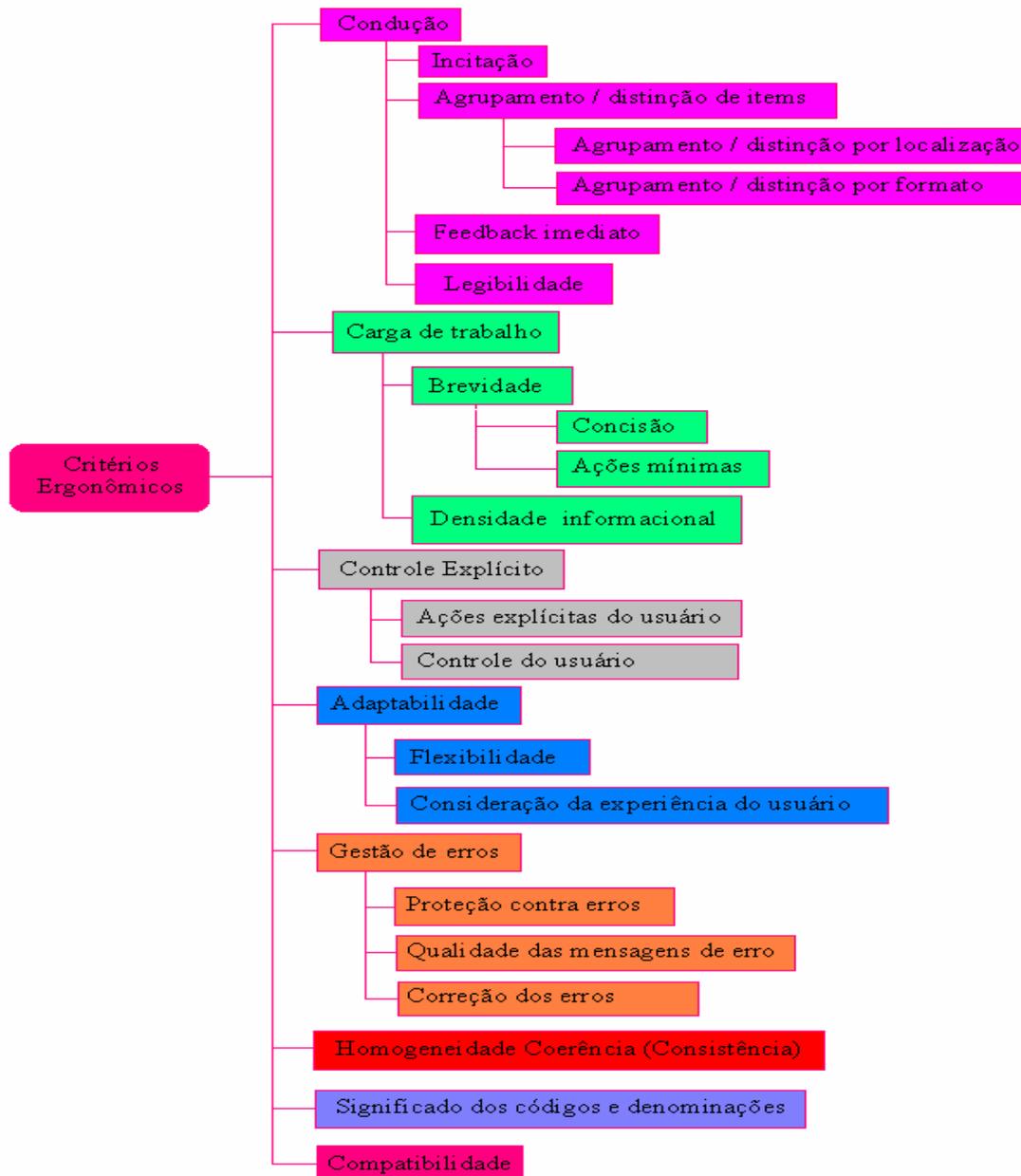


FIGURA 3.2 - Critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin [BAS 93]

O critério **condução** permite avaliar a orientação ao usuário fornecida pela interface. Esta orientação pode ser dada através de “conselhos”, dicas, informações ou instruções quando estes estão interagindo com um sistema através dela. Os usuários podem receber mensagens de alarme ou dicas facilitando sua percepção. Boas orientações facilitam o aprendizado e a utilização de uma interface. O critério condução está dividido em quatro sub-critérios: incitação, agrupamento/distinção de itens, *feedback* imediato e legibilidade:

- a) **Incitação** (ou **presteza**, segundo³): fornece sugestões ao usuário, de tal forma que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e fáceis de usar. Permite que o usuário conheça as alternativas quando diversas ações são permitidas pela interface. Em uma entrada de dados, por exemplo, exibir o formato ou a faixa aceitável para estes dados.
- b) **Agrupamento/distinção de itens**: está ligado à organização visual dos itens de uma interface, levando em conta sua localização e distribuição e algumas características gráficas (formato) dos itens, a fim de indicar as relações entre os vários itens exibidos. Leva em conta, ainda, a organização de itens dentro de classes. Pode-se avaliar esse aspecto de uma interface, observando agrupamento/distinção por localização e agrupamento/distinção por formato. **Agrupamento/distinção de itens por localização** diz respeito ao uso da posição relativa dos itens para indicar se eles pertencem ou não a uma determinada classe. Já no **agrupamento/distinção de itens por formato**, a indicação da pertinência às classes é realizada através de cor, formato, textura.
- c) **Feedback imediato**: está relacionado às respostas do sistema frente às ações executadas pelos usuários, ou seja, realimentação imediata de uma nova situação. Em todas as situações, o sistema deve fornecer uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada.
- d) **Legibilidade**: refere-se às características léxicas que as informações apresentam sobre a tela, de forma a facilitar a compreensão destas informações. Deve-se levar em consideração, ainda, o brilho, contraste, cor, tamanho de fonte, espaçamento, etc.

O critério **carga de trabalho** está ligado a todos os elementos da interface que permitem reduzir a carga cognitiva ou perceptiva do usuário, acrescentando eficiência no diálogo entre o usuário e a interface. Pode-se analisar a carga de trabalho observando a brevidade e a densidade informacional.

- a) **Brevidade**: a brevidade consiste no conjunto de ações necessárias para completar um objetivo ou tarefa. Quanto menos ações melhor. A avaliação da brevidade pode ser feita considerando dois sub-critérios: concisão e ações mínimas:

³ (<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/>)

- **Concisão:** está relacionada com as entradas e saídas de informações, ou seja, a interface deve permitir pequenas entradas de informações ou eliminar a entrada de informações redundantes.
 - **Ações mínimas:** está relacionada à quantidade de ações mínimas necessárias para realizar uma tarefa ou atingir um objetivo. Quanto mais ações forem feitas para atingir um fim, existirá maior a probabilidade de ocorrerem erros por parte do usuário.
- b) **Densidade Informacional:** está diretamente ligada ao desempenho do usuário quando este executa uma determinada tarefa ou procura atingir um determinado objetivo. Por exemplo, se a densidade de informação for demasiadamente alta ou baixa demais, isto pode acarretar um mau desempenho do usuário em resolver uma determinada situação.

O **controle explícito** está relacionado ao processamento do sistema frente às ações explícitas do usuário e também, ao controle que o usuário tem sobre o processamento de suas ações pelo sistema. O critério controle explícito pode ser analisado sob dois aspectos: ações explícitas do usuário e controle do usuário.

- a) **Ações explícitas do usuário:** referem-se às relações entre o processamento computacional e as ações do usuário. As ações devem ser explícitas, ou seja, o sistema deve processar somente aquelas ações requisitadas pelo usuário e somente quando for requisitado para isto.
- b) **Controle do usuário:** refere-se ao fato que os usuários sempre devem ter o controle da interface, ou seja, interromper ações, cancelar operações, suspender ou continuar tarefas. Para toda ação do usuário devem ser fornecidas opções apropriadas.

A **adaptabilidade** indica a capacidade de adaptação que uma interface deve possuir em reagir de acordo com as preferências e necessidades dos seus usuários e conforme o contexto. O critério adaptabilidade está dividido em dois sub-critérios: flexibilidade e consideração da experiência do usuário.

- a) **Flexibilidade:** reflete o número de possíveis formas de atingir um objetivo, ou seja, a interface deve-se adaptar às necessidades do usuário. A interface deve colocar meios à disposição do usuário que lhe permitam personalizá-la, levando em conta as exigências de cada tarefa, suas estratégias ou seus hábitos de trabalho.
- b) **Consideração da experiência do usuário:** a interface deve levar em consideração o nível de experiência de cada usuário.

Por **gestão de erros** entende-se que a interface deve fornecer mecanismos que permitam reduzir ou prevenir a ocorrência de erros e, ainda, facilitar a recuperação quando eles ocorrerem. O aspecto gestão de erros está dividido em três sub-critérios: proteção contra erros, qualidade das mensagens de erro e correção dos erros.

- a) **Proteção contra erros:** a interface deve preocupar-se em detectar e prevenir erros de entrada de informações, comandos ou ações de conseqüências desastrosas e/ou não recuperáveis executadas pelos usuários.
- b) **Qualidade das mensagens de erro:** a qualidade das mensagens de erro deve ser um objetivo a ser atingido no desenvolvimento de qualquer interface com o usuário, ou seja, o conteúdo e formato das mensagens de erros são muito importantes.
- c) **Correção dos erros:** a interface deve permitir que o usuário corrija os seus erros.

A **homogeneidade/coerência** refere-se à consistência ou similaridade de aspectos da interface (códigos, denominações, formatos, procedimentos e operações) em contextos semelhantes, diferenciando-se quando em outros contextos.

O **significado dos códigos e denominações** está diretamente ligado à adequação entre o objeto ou a informação apresentada ou solicitada e sua referência. Códigos e denominações significativos possuem uma forte relação semântica com sua referência. Os termos com pouca expressão para o usuário podem acarretar problemas de condução, podendo levá-lo a selecionar uma opção errada.

A **compatibilidade** refere-se à relação entre as características dos usuários (tais como memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas) e suas tarefas com a organização das entradas, saídas e diálogos em uma dada aplicação. Diz respeito ainda, ao grau de semelhança entre diferentes ambientes e aplicações.

3.3 Heurísticas de avaliação

A avaliação heurística [NIE 90] é um método de avaliação de usabilidade onde um avaliador procura problemas de usabilidade, verificando e analisando a interface com o usuário, através de um conjunto de princípios ou heurísticas. Nielsen [NIE 94] definiu um conjunto de dez heurísticas que permitem a um avaliador experiente analisar e avaliar uma interface gráfica. As heurísticas propostas por Nielsen são brevemente descritas a seguir.

A **visibilidade do status do sistema** refere-se ao fato do sistema manter os usuários informados sobre o que eles estão fazendo, com *feedback* imediato.

Na **compatibilidade entre o sistema e o mundo real**, o sistema deve utilizar a linguagem do usuário, com palavras, frases e conceitos familiares a ele, fazendo as informações aparecerem em ordem lógica e natural, de acordo com as convenções do mundo real.

Liberdade e controle do usuário estão relacionados à situação em que os usuários freqüentemente escolhem as funções do sistema por engano e, então, necessitam de "uma saída de emergência" claramente definida para sair do estado não desejado sem ter que percorrer um longo diálogo. Simplificadamente, é necessário suporte a *undo* e *redo*.

Consistência e padrões referem-se ao fato de que os usuários não deveriam ter acesso a códigos e elementos de interface diferentes, representando a mesma coisa em diferentes situações (por exemplo, um botão de confirmação com rótulos diferentes); ou, ainda, aos mesmos códigos e elementos de interface com significados diferentes em situações diferentes (por exemplo, a mesma cor sendo usada para representar entidades de classes distintas num diagrama). A interface deve ter convenções não-ambíguas.

Na **prevenção contra erros** é necessário prevenir que problemas ocorram através de um cuidadoso projeto de interface. Sem um sistema eficiente de prevenção contra erros, a única solução para estes problemas é a utilização de mensagens de erro depois que eles ocorrem.

A heurística **reconhecimento em lugar de lembrança** diz respeito à característica da interface de ter objetos, ações e opções visíveis e coerentes, para que os usuários não necessitem recordar as informações entre os diálogos, ou seja, as instruções de uso do sistema devem ser visíveis ou facilmente recuperadas sempre que necessário.

Na **flexibilidade e eficiência de uso**, os atalhos, a princípio não utilizados por usuários inexperientes, podem freqüentemente melhorar a interação da interface para usuários mais experientes de tal forma que, mais tarde, ambas as classes de usuários aproveitem estes aceleradores.

No **projeto minimalista e estético** os diálogos não devem conter informações que são irrelevantes ou raramente necessárias, pois cada nova informação, em um diálogo, compete com as informações relevantes, diminuindo sua relativa visibilidade.

Para que o sistema **auxilie os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros**, as mensagens devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), indicando o problema e sugerindo uma solução.

Na **ajuda e documentação**, mesmo que seja melhor que o sistema possa ser utilizado sem documentação, pode ser necessário fornecer ajuda e documentação. Qualquer informação deveria ser fácil de achar e estar focalizada nas tarefas do usuário; deveria ser fornecida uma lista sucinta das etapas concretas a serem realizadas.

3.4 Comentários finais

Como pode-se perceber, apesar da apresentação diferenciada das duas listas de características de ergonomia e usabilidade, a análise de ambas mostra a já esperada convergência entre critérios e heurísticas.

A Figura 3.3 mostra a relação entre os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin [BAS 93] e as dez heurísticas de Nielsen [NIE 94]. Em alguns itens observa-se um detalhamento maior nos critérios ergonômicos, sendo a relação estabelecida entre um critério de nível mais alto e uma heurística. Por outro lado, em outros aspectos, as

heurísticas de Nielsen correspondem a dois ou mais critérios ergonômicos, indicando avaliação num nível mais alto de abstração.

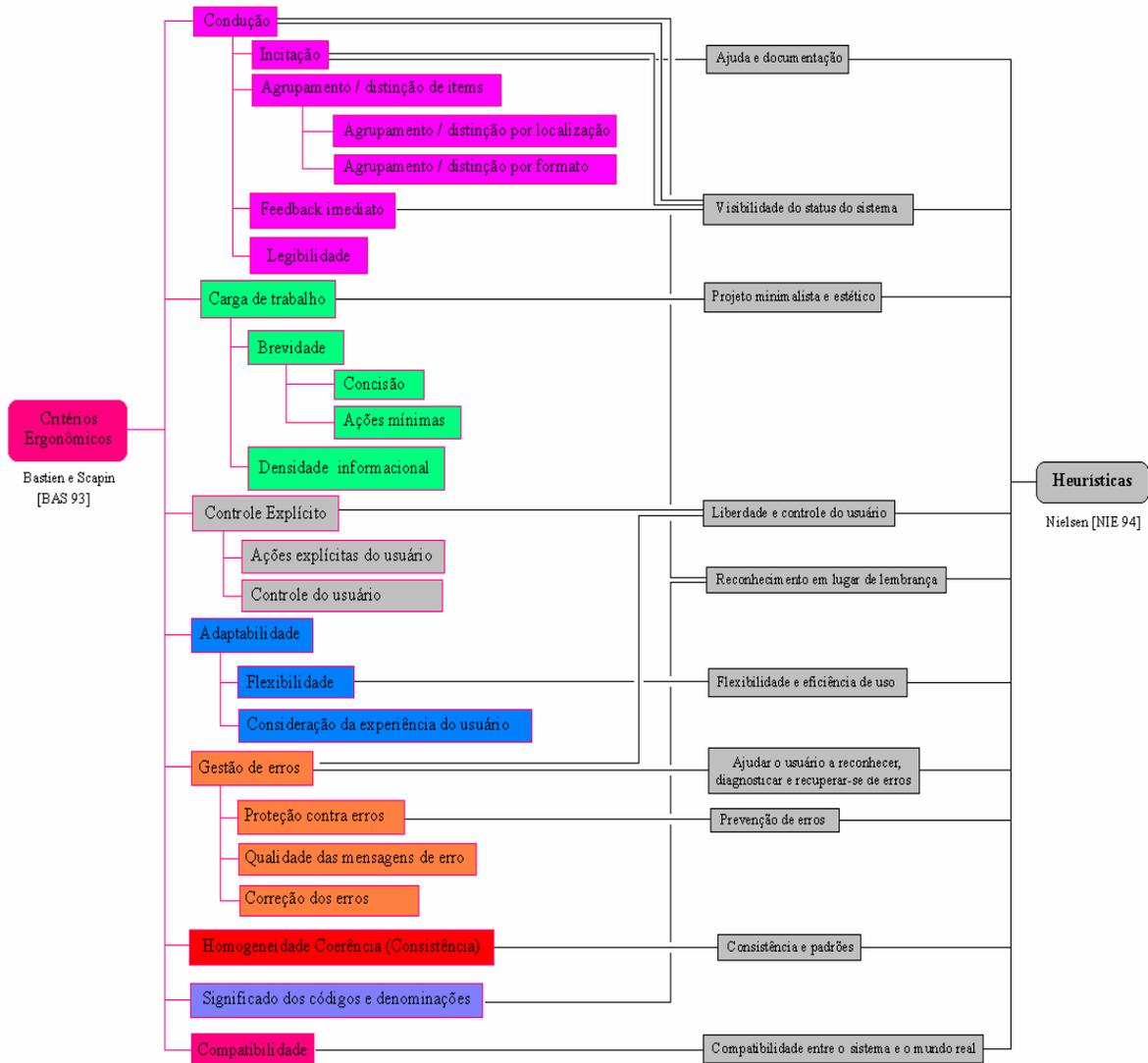


FIGURA 3.3 - Relação dos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin [BAS 93] e as heurísticas de Nielsen [NIE 94]

4 Avaliação de técnicas de visualização

Até pouco tempo atrás, a pesquisa em visualização de informações era focada no desenvolvimento de novas técnicas de visualização e na melhoria e extensão das existentes, tanto pelo desenvolvimento de novos algoritmos de geração de *layout* como pela inclusão de diferentes operações. Evidências desse tipo de evolução são encontradas nos trabalhos abordando a técnica *TreeMaps* [JOH 91] [WIJ 99] [SHN 2001a], diferentes abordagens para representações radiais [AND 98] [STA 2000b] [CAV 2001b] [YAN 2002] e diferentes operações suportando tarefas de análise exploratória visual [WEH 90] [ZHO 98] [MOR 2000].

A grande maioria das técnicas de visualização é apresentada com testes de usabilidade baseados em poucos experimentos levados a efeito com um grupo geralmente pequeno de usuários. Incipientes em 1997 e 1998, os trabalhos dedicados especificamente à avaliação de técnicas de visualização começaram a ser mais freqüentes a partir do final de 2000 [CHN 2000].

Para a revisão aqui realizada, esses trabalhos foram categorizados de acordo com seu objetivo principal: (a) avaliação empírica de uma técnica de visualização; (b) comparação entre diferentes técnicas de visualização e (c) avaliação baseada em critérios específicos para técnicas de visualização.

4.1 Avaliação empírica de uma técnica de visualização

Com poucas exceções, alguns trabalhos apresentam novas técnicas de visualização contendo dados de avaliação oriundos de ensaios de interação. Nesses trabalhos, um ou mais conjuntos de tarefas são planejados e experimentados com usuários. Nestes experimentos, geralmente, são medidos o tempo de execução das tarefas e o número de erros cometidos ao longo da tarefa. Essas duas medidas contribuem para a análise do desempenho do usuário, permitindo estabelecer uma conclusão aproximada a respeito da técnica em termos de facilidade e eficiência de uso. Entretanto, cabe ressaltar que, em geral, os dados são apresentados informalmente e, não raro, se resumem a uma avaliação subjetiva dos usuários após os experimentos. Apenas recentemente, segundo Chen [CHN 2000], os autores passaram a incluir análise mais formalizada dos resultados, incluindo estatística.

A Tabela 4.1 apresenta uma relação de trabalhos contendo relatos sobre avaliação de técnica em questão de visualização. Procurou-se indicar o tipo de avaliação realizada (avaliação da representação visual isoladamente, avaliação da interação), os critérios de avaliação e as métricas utilizadas, além do tipo de informação e da técnica em si.

Observa-se que, dos trabalhos originais descrevendo as técnicas clássicas como *Cone Trees*, *Perspective Wall*, *Hyperbolic Browser*, etc., apenas CHEOPS [BEA 96] apresenta informações de avaliação, embora pouco formais. Tanto *Table Lens*, como o *Hyperbolic Browser* foram avaliados posteriormente, incluindo outra técnica conhecida na análise para efeito de comparação. A maioria das técnicas foi posteriormente avaliada na

validação de sistemas que as implementam (por exemplo, *fsviz* [CAI 95]) ou no contexto dos trabalhos de comparação (ver seção 4.2).

TABELA 4.1 - Relação dos trabalhos relatando avaliação empírica de uma técnica de visualização

Autor(es)	Ano	Representação visual	Interação	Crítérios de avaliação	Métricas	Tipo de informação / técnicas avaliadas
Carrière & Kazman	1995	Não	3 tarefas para encontrar arquivos	Eficácia	Tempo de execução da tarefa	Hierárquicas (fsviz)
Beaudoin, Parent & Vroomen	1996	Não	Tarefa de navegação	Qualidade (pontos fortes ou fracos)	Análise das dificuldades dos usuários	Hierárquicas (CHEOPS)
Pirolli & Rao	1996	Sim	Sim	Desempenho(EDA e GOMS)	Estimativa do custo de tempo gasto	Informações multivariadas (Table Lens)
Sutcliffe, Ennis & Hu	2000	Não	2 tarefas de busca	Desempenho do usuário Problemas de usabilidade Estratégias e comportamento	Tempo gasto	Hierárquicos (browser para recuperação de informações) (Integrated Thesaurus-Results Browser)
North & Shneiderman	2000	Não	3 + 9 tarefas	Construção	Taxa de sucesso Tempo gasto	Visualizações de múltiplas coordenadas (Visualização Snap-together)
				Operação	Conhecimento das pessoas Tempo de aprendizagem Taxa de sucesso Tempo gasto	
Westerman & Cribbin	2000	Não	tarefa de busca	Dimensionalidade Variância Habilidade cognitiva	Tempo de resposta Frequência de "time-out"	Espaço virtual 2D e 3D SDMS - Sistemas de gerenciamento de dados espaciais
				Variância em soluções textuais	Número de diferentes objetos visitados Número total de objetos visitados Medição da "lostness" Medição da eficiência da navegação Medição da carga de trabalho	
Pirolli, Card & Van Der Wege	2000	Não	56 tarefas de busca de um total de 128 tarefas	Desempenho do usuário	Tempo de execução Número de fixações dos olhos Padrões de fixação dos olhos	Hierárquicos (Hyperbolic Tree Browser e CHI '97 Browser off)
			8 tarefas das 56 selecionadas		Tempo de execução Número de fixações dos olhos Número de nodos visitados Taxa da busca descendente da árvore Movimento dos olhos na área de contexto do Hyperbolic Tree Browser	
Pohl & Purgathofer	2000	Sim	Tarefas livres	Processo de autoria	Média de idade dos nodos e links Modo de criação dos nodos Número de nodos e links	Mapas de visão geral 2D / documentos hipertexto (HyperCard)
			Editar texto Criar Movimentar Apagar Outras ações	Dinâmica do processo de autoria	Análise quantitativa dos dados Análise descritiva	
Shneiderman & Wattenberg	2001	Sim		Desempenho de 5 algoritmos de layout	Relação de aspecto Alteração da distância	Informações hierárquicas (TreeMaps ordenados)
Havre, Hetzler, Perrine, Jurrus & Miller	2001	Não	Conjunto de tarefas simples	Relevância		Documentos (Sparker)

O trabalho de Carrière e Kazman [CAI 95] apresenta um sistema de visualização denominado *fsviz* que utiliza *Cone Trees* como forma de representação base, estendendo-a nos aspectos de representação visual (algoritmo de *layout*, cores, visão *fisheye*), animação e filtragem para permitir o tratamento de grandes hierarquias. Enquanto na maioria das técnicas, até então disponíveis, 1.000 nodos era um limite para a exibição de hierarquias sem perda de desempenho devido à oclusão, o sistema em questão admitia hierarquias de até 5.000 nodos. Um experimento com a hierarquia obtida do sistema de arquivos local foi realizado, envolvendo cinco usuários e tarefas como: (a) encontrar o maior arquivo; (b) encontrar todos os arquivos com tamanho maior que 1MB; e (c) encontrar os quatro arquivos mais acessados. Tomados os tempos de execução, estes foram comparados aos obtidos com as tarefas sendo realizadas com a *shell* padrão do UNIX. Observa-se, portanto, que a avaliação realizada mediou apenas indiretamente o efeito global das *Cone Trees* no desempenho dos usuários.

A avaliação de CHEOPS [BEA 96], por sua vez, foi realizada somente com usuários principiantes, que exploravam uma hierarquia de conceitos realizando navegação para uma tarefa de consulta simples a um documento, baseada em palavra-chave. CHEOPS [BEA 96] é uma ferramenta de visualização em que a idéia básica é manter o contexto juntamente com a informação focalizada pelo usuário. Isto é conseguido sem a utilização de técnicas de agrupamento. A técnica exhibe todos os nodos da hierarquia dentro de um triângulo. Cada nodo é representado por um triângulo dentro do triângulo maior. Os nodos de diferentes ramos são representados por apenas por um triângulo. Quando o usuário seleciona um nodo toda a sua estrutura é destacada no triângulo principal. A descrição dos testes é sucinta, indicando praticamente apenas resultados qualitativos para o projeto de melhorias no método. Esta técnica foi avaliada com testes de usabilidade informais com o objetivo de descobrir as principais características da técnica. Os testes foram baseados na navegação de usuários no uso da ferramenta em tarefas de busca de documentos por palavra-chave. Os resultados obtidos demonstraram que a interface e a navegação poderiam ser melhorados. O teste identificou, ainda, a necessidade de pesquisar novos paradigmas de busca.

Enquanto o *Hyperbolic Browser* foi avaliado na “*Great CHI’97 Browse-Off*”, uma competição entre *browsers* realizada durante o CHI de 1997, utilizando os participantes do evento como usuários do teste, *Table Lens* [RAO 94] foi avaliado por Pirolli e Rao [PIR 96] utilizando a metodologia GOMS [CAR 83]. GOMS, ou “*Goals, Operators, Methods, and Selection Rules*”, corresponde a um formalismo para descrição de interfaces que permite a caracterização e análise de métodos para a realização de tarefas. Esta análise provê estimativas básicas de tempos para as tarefas e, assim, permite tanto a confrontação com dados da literatura como com estimativas de outras técnicas. Os autores analisaram *Table Lens* (em relação a outra técnica – *Splus* [BEC 98]) quanto a tarefas típicas de análise exploratória visual de dados: análise de características dos valores de uma variável (tendência central, dispersão, distribuição, valores extremos, etc.) e análise de relações entre diferentes variáveis (correlação, por exemplo). Para isso, os métodos empregados nas técnicas para essas duas tarefas foram analisados segundo a metodologia GOMS, o que resultou em estimativas de tempo que foram usadas na avaliação de *Table Lens*.

A técnica *Hyperbolic Tree Browser*, como foi dito anteriormente, participou de uma competição, no CHI’97, entre seis *browsers* diferentes. Em cada browser, usuários experientes e principiantes, navegaram e visualizaram informações executando um

conjunto genérico de tarefas de recuperação de informações. O objetivo da competição foi analisar qual técnica de visualização de informações operava melhor nas diferentes classes de problemas de recuperação. Nesta disputa, o *Hyperbolic Tree* provou ser extremamente eficiente graficamente, compreensivo e efetivo na execução das tarefas pelos usuários.

Em outro trabalho, Pirolli, Card e Van Der Wege [PIR 2000] também estudaram técnicas do tipo foco + contexto. Os autores analisaram como a distorção destas visualizações afetam o comportamento dos usuários quando estes estão buscando informações. A comparação foi realizada utilizando dois *browsers*: *Hyperbolic Tree Browser* [LAM 96a] e um *browser* convencional. Uma constatação deste trabalho é que, apesar de manterem o contexto, facilitando o senso de orientação, as técnicas de visualização de informações foco + contexto também aumentam a carga cognitiva humana devido ao aumento da quantidade de informações disponíveis aos usuários ao mesmo tempo.

A avaliação empírica realizada neste estudo foi feita através de dois experimentos sob condições controladas de laboratório, utilizando uma instrumentação mais sensível, ou seja, permitindo analisar o movimento do olho do usuário. O primeiro experimento foi realizado para avaliar como as visualizações foco + contexto e os componentes interativos de ambos os *browsers* afetam o **desempenho** dos usuários (8 pessoas e 56 tarefas de um conjunto de 128). O objetivo do segundo experimento foi analisar e comparar ambos os *browsers* com diferentes tipos de buscas visuais (8 pessoas, 8 tarefas de 56). Os resultados foram obtidos através da análise da varredura dos olhos dos usuários na execução de cada tarefa em ambos experimentos, além da análise dos padrões de fixação dos olhos sobre a visualização. As métricas utilizadas no primeiro experimento foram (a) tempo de execução; (b) número de fixações dos olhos e (c) padrões de fixação dos olhos, e no segundo: (a) tempo de execução; (b) número de fixações dos olhos; (c) número de nodos visitados; (d) taxa de busca descendente da árvore e (e) movimento dos olhos na área de contexto do *Hyperbolic Tree Browser*.

Sutcliffe, Ennis e Hu [SUT 2000] descrevem a avaliação empírica de um sistema de recuperação de informações (*Integrated Thesaurus-Results Browser* [SUT 98]) que incorpora uma visão olho-de-mosca e um dicionário hierárquico para a exibição de documentos recuperados. O estudo foi baseado em duas tarefas de recuperação de informações (duas formas de buscar informações baseadas em similaridade). Doze pessoas participaram do experimento executando estas duas tarefas de procura de informações. Primeiramente, os participantes responderam um questionário sobre sua experiência subjetiva e demográfica. Durante a execução das tarefas, foram coletadas informações como **desempenho** do usuário através do **tempo empregado na realização das buscas, problemas de usabilidade** durante as tarefas e **comportamento** na busca de informações.

Westerman e Cribbin [WES 2000] realizaram dois estudos empíricos em visualizações, analisando o conteúdo semântico das informações em uma base de dados utilizando localização de objetos em espaços virtuais 2D e 3D. Testes com usuários permitiram avaliar como as exibições 2D e 3D diferiam em termos das demandas cognitivas e da riqueza semântica das informações.

O primeiro estudo foi feito sobre os efeitos da dimensionalidade, variância e habilidade cognitiva associadas com a execução de uma tarefa de busca de informação. Foram considerados, também, os efeitos dos custos cognitivos na navegação multidimensional, das diferenças individuais na habilidade de memória associativa e nas habilidades espaciais dos usuários no desempenho das tarefas. No segundo estudo, foi utilizada análise automática de texto para gerar visualizações 2D e 3D para conjuntos de documentos de diferentes tipos e tamanhos. Foi utilizada uma tarefa de busca, sendo medidos: (a) tempo de resposta por tarefa (tempo para localizar um item); (b) frequência de “*timed-out*” por tarefa; (c) número total de objetos visitados; (d) “*lostness*” (número de objetos visitados x número de repetições de objetos visitados [SMI 96]); (e) eficiência navegacional, baseada na relação entre a distância percorrida enquanto o usuário estava buscando a informação e (f) medição da carga de trabalho [VID 86]).

Os autores concluíram que, com a finalidade de buscar informação, a quantidade de informação semântica adquirida com uma solução tridimensional é excessivamente maior do que a bidimensional, não compensando as demandas cognitivas adicionais associadas.

North e Shneiderman [NOR 2000] introduziram uma ferramenta de visualização baseada em um modelo de dados relacional (chamado *Snap*) para visualizações coordenadas múltiplas. Esta ferramenta permite que os usuários configurem as próprias interfaces. O trabalho descreve dois estudos empíricos com usuários para avaliar dois aspectos distintos destas visualizações coordenadas: a **construção** e sua **operação**.

A primeira avaliação empírica serviu a dois propósitos: (a) avaliar a usabilidade e os benefícios do sistema *Snap* procurando, desta forma, descobrir prováveis melhorias no sistema e (b) garantir um nível mais profundo de compreensão sobre a habilidade dos usuários em compreender, construir e utilizar estratégias de visualizações coordenadas. A avaliação foi realizada em duas etapas: na primeira etapa foi avaliada a fase de construção deste tipo de visualização através do treinamento de seis pessoas que executaram três tarefas. O objetivo da avaliação foi determinar se os usuários aprenderam a construir as visualizações coordenadas múltiplas e a dificuldade na sua construção. Neste estudo foram medidos **taxa de sucesso** e o **tempo gasto** para completar as tarefas além da identificação dos problemas cognitivos no processo de construção.

Na segunda avaliação, a operação da ferramenta foi analisada utilizando 18 pessoas que executaram tarefas (verificação da existência ou inexistência de informações, teste padrão de visão geral, pesquisa visual, pesquisa nominal, compare dois, compare cinco, busca e varredura). Foram medidos o **conhecimento das pessoas**, o **tempo de aprendizagem**, o **sucesso** (sim, não ou quão perto) e o **tempo gasto na execução das tarefas**. Foi coletada, ainda, a satisfação subjetiva dos usuários. Cada usuário utilizou uma escala de 1 a 9 para os seguintes itens: (a) compreensibilidade (confuso até compreensivo); (b) facilidade de uso (difícil até fácil); (c) velocidade no uso (lento até rápido) e (d) satisfação geral (terrível até maravilhoso). Como resultado do segundo experimento, a interface de coordenadas múltiplas teve um desempenho significativamente mais rápido do que as visualizações não-coordenadas e que as visualizações que exibem somente detalhes.

TreeMaps [SHN 92] é uma técnica de visualização que permite exibir grandes conjuntos de informações hierárquicas através de métodos de preenchimento de espaço.

Isto ocorre pela divisão da área de exibição em uma seqüência aninhada de retângulos correspondentes a atributos de um conjunto de dados. Este tipo de visualização combina aspectos de diagrama de Venn e diagrama de torta. Shneiderman e Wattenberg [SHN 2001b] introduzem os *TreeMaps* ordenados para suprir duas deficiências das *TreeMaps* originais: instabilidade no tempo de re-exibição de uma nova visualização (pois a técnica exhibe itens muito pequenos) e falha em preservar a ordem das informações adjacentes.

A técnica foi avaliada para verificar o desempenho de cinco algoritmos de geração de *layout* (*slice-and-dice*, *Pivot-by-middle*, *Pivot-by-size*, *Cluster* e *Squarified*) presentes nos *TreeMaps* ordenados. Foram realizados dois experimentos medindo-se **relação de aspecto** e **alteração da distância** do *layout*, no primeiro caso, e apenas a **relação de aspecto** da representação de um conjunto estático de informações da bolsa de valores, no segundo.

Havre, Hetzler, Perrine, Jurrus e Miller [HAV 2001] apresentaram a ferramenta *Sparkler*. Esta ferramenta é utilizada para visualizar a relevância dos resultados de múltiplas consultas para uma coleção de documentos. Estes resultados são apresentados visualmente e podem ser explorados pelos usuários. Esta técnica possui uma visão olho-de-touro (Figura 4.1) como modo de seleção para os documentos recuperados. A exibição dos resultados considera a similaridade / relevância dos documentos.

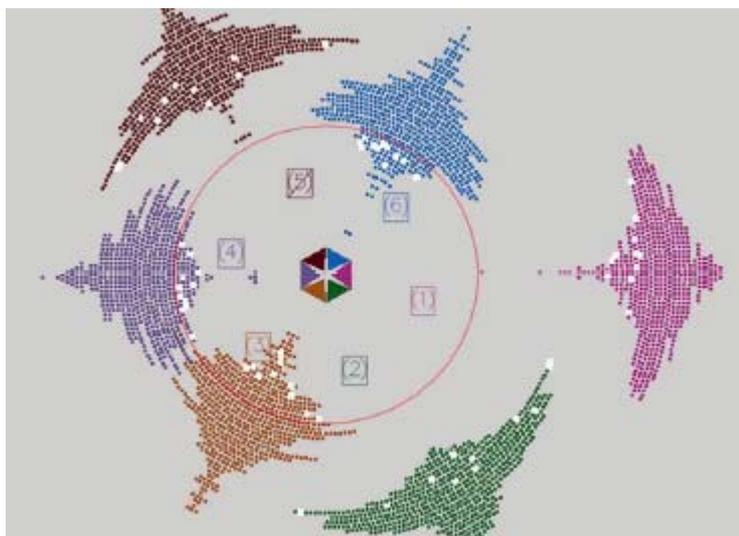


FIGURA 4.1 - *Sparkler* exibindo uma visão olho-de-touro do perfil do resultado de seis consultas com os mesmos documentos selecionados (extraído de [HAV 2001])

Os autores conduziram dois experimentos: (a) uma avaliação de usabilidade informal com quatro usuários (dois homens e duas mulheres) executando um conjunto de tarefas simples e (b) um teste de usabilidade (dois analistas de informações profissionais) procurando encontrar e analisar informações em grandes base de dados textuais.

Pohl e Purgathofer [POH 2000] investigaram se a visualização de hipertextos em forma de mapas de visão geral 2D suporta escritas em documentos, além de leituras. Foram analisadas, também, as relações entre o processo de autoria e as características dos documentos prontos. A avaliação do processo de autoria foi através de testes com usuários, executados por 168 estudantes, que criaram documentos hipertexto utilizando

uma ferramenta de autoria desenvolvida no projeto *HyperCard* (ambiente de rede multi-usuário) [POH 2000]. Todas as ações dos usuários foram gravadas usando um mecanismo simples de gravação de eventos, ou seja, armazenamento de *logs*. As medições feitas foram: **média de idade dos nodos e links**, **modo de criação dos nodos** (informações dinâmicas) e **número de nodos e links** (informação estática).

As informações dinâmicas, por sua vez, foram avaliadas através da análise do movimento da janela e da análise descritiva [POH 98], do formato da estrutura do documento no mapa de visão geral e do projeto da tela e do *layout*. A análise do movimento da janela contém cinco classes de ações: edição de texto (escrever e apagar texto), criação (criar nodos e *links*), movimentação (posicionar nodos no mapa de visão geral), apagar (apagar nodos e *links*) e outras ações (como renomear nodos).

4.2 Comparação entre diferentes técnicas de visualização

Uma segunda categoria de trabalhos contemplando o tema avaliação de técnicas de visualização pode ser observada na Tabela 4.2. São trabalhos cujo objetivo é a comparação de diferentes técnicas de visualização, sejam elas baseadas numa mesma abordagem de representação visual, ou dedicada a uma categoria de dados em particular.

Um dos primeiros trabalhos em que foi realizada uma comparação entre diferentes técnicas de visualização e onde houve uma tentativa de definição de uma metodologia de avaliação específica para técnicas de visualização de informações foi o trabalho de Wiss, Carr e Jonsson [WIS 98].

Nesse trabalho, os autores descrevem a avaliação de três técnicas de visualização: *Cam Tree* [ROB 91], *Information Cube* [REK 93] e *Information Landscape* [TES 92]. Foi realizada uma análise informal das representações visuais e uma avaliação do suporte às sete tarefas de usuário definidas por Shneiderman [SHN 96].

Como resultado desta pesquisa, tem-se que estas três técnicas possuem problemas inerentes quando são utilizadas para visualizar diferentes conjuntos de dados, e que certas tarefas interativas não são suportadas por elas. Para superar estes problemas, os autores propõem uma visão multi-visualização, sugerindo também, um conjunto de heurísticas para auxiliar na escolha da melhor técnica de visualização das informações.

O método descrito por Wiss, Carr e Jonsson [WIS 98], para comparar e avaliar as técnicas de visualização de informações, consta das seguintes heurísticas:

1. Selecionar técnicas de visualização de informações que parecem adequadas a solucionar o problema proposto.
2. Avaliar as técnicas para diferentes conjuntos de dados:
 - Construir dois ou três conjuntos de dados diferentes que representem as possíveis informações da aplicação.
 - Criar representações visuais destes conjuntos de informações com todas as técnicas de visualização de informações selecionadas.

- Testar as representações visuais.
3. Avaliar o suporte para as tarefas do usuário:
 - Fazer uma análise de cada tarefa para identificar as tarefas mais importantes que as representações visuais precisam suportar.
 - Verificar se as técnicas selecionadas suportam as tarefas mais importantes. As representações visuais criadas no passo anterior podem ser utilizadas como um auxílio nesta avaliação.
 4. Utilizar os resultados destas duas avaliações para decidir:
 - Qual das técnicas selecionadas utilizar na aplicação (possivelmente mais do que uma).
 - Qual funcionalidade adicional deve ser incluída na aplicação.

Em 1999, Wiss e Carr realizaram um outro estudo [WIS 99], comparando novamente as mesmas três técnicas de visualização de informações utilizadas anteriormente. Este novo estudo serviu para analisar quais fatores são importantes para testar a usabilidade de visualizações tridimensionais. O estudo envolveu 25 pessoas que executaram três tipos de tarefas: **busca**, **contagem** e **comparação**. A avaliação levou em consideração o **desempenho** dos usuários na execução destas tarefas, sendo coletados o **tempo gasto** e a **frequência de erros**. As conclusões dos autores foram que existem diferenças de velocidade na execução das tarefas devido a oclusão e navegação e que ocorrem, ainda, problemas de desorientação espacial. O trabalho também mostrou que visão global e local são fatores extremamente importantes e que a navegação é essencial nas interfaces de técnicas de visualização tridimensionais. Finalmente, o estudo levanta uma pergunta: A que tipos de tarefas, uma interface de uma técnica de visualização tridimensional é melhor adaptada?

Morse, Lewis e Olsen [MOR 2000] utilizaram sete sistemas de recuperação de informações (*TileBars* [HEA 95], *Cougar* [HEA 94], *GUIDO* [NUC 96], *BIRD* [KIM 94], *InfoCrystal* [SPO 93], *Component State* e *VIBE* [OLS 93]) para avaliar quatro tipos de visualização (textual, ícones, gráficos cartesianos e *springs*) usados para representar resultados de consultas. Da taxonomia proposta por Zhou e Feiner [ZHO 98], foram escolhidas 10 classes de tarefas: comparação de entidades, comparação entre relações, associação, distinção, priorização (*ranking*), agrupamento, correlação, localização, categorização e identificação. A motivação dos autores foi criar um método para avaliar técnicas de visualização sem se ater às funcionalidades dos sistemas existentes.

O desempenho dos usuários foi avaliado através da verificação do número de respostas corretas e do tempo gasto para completar o conjunto de tarefas. Foi aferida, também, a preferência dos usuários de cada tipo de visualização, através de um questionário de pós-avaliação.

TABELA 4.2 - Relação dos trabalhos que comparam diferentes técnicas de visualização

Autor(es)	Ano	Representação visual	Interação	Critérios de avaliação	Métricas	Tipo de informação / técnicas avaliadas
Wiss, Carr & Jonsson	1998	Análise informal	Tarefas de usuário [SHN 92]	Qualidade da combinação para diferentes conjuntos de dados Suporte às tarefas de usuário	Existência	Hierárquicos (<i>Cam Tree, Information Cube e Information Landscape</i>)
Wiss & Carr	1999	Não	Busca Contagem Comparação	Desempenho	Tempo gasto Frequência de erros	Hierárquicos (<i>Cam Tree, Information Cube e Information Landscape</i>)
Stasko, Catrambone, Guzdial & McDonald	2000	Não	16 tarefas	Desempenho (eficácia e utilidade)	Tempo gasto Exatidão	Hierárquicos (<i>TreeMap e Sunburst</i>)
Morse, Lewis & Olsen	2000	Sim	9 tarefas extraídas de Zhou e Feiner [ZHO 98]	Desempenho do usuário Preferências do usuário	Tempo gasto para completar cada tarefa Exatidão da resposta	Documentos (VIBE) Características e valores diversos
Risden, Czerwinski, Munzner & Cook	2000	Não	4 tarefas de busca	Desempenho dos browsers	Tempos da tarefa Consistência Utilização de característica Satisfação do usuário	<i>Web browsers (XML3D)</i>
Kobsa	2001	Não	26 tarefas	Precisão Tempo da solução	Exatidão Tempo da execução	Multidimensionais (<i>Eureka, InfoZoom e SpotFire</i>)
Barlow & Neville	2001	Sim	As árvores são binários ou <i>n-ary</i> Balanceadas ou não-balanceadas Ancestral mais profundo Número de níveis Três maiores folhas Descrição do nodo Memória do nodo	Facilidade de Interpretação Comparação do Tamanho do Nodo Preferência do Usuário	Tempo de resposta Exatidão da resposta	Hierárquicos Árvore de decisão (aplicações em mineração de dados) (<i>Organization chart, icicle plot, TreeMap e Tree Ring</i>)
Hornaek, Bederson & Plaisant	2001	Sim	10 tarefas para cada mapa 5 tarefas de navegação 5 tarefas para <i>browsing</i>	5 hipóteses	Precisão na resposta das questões Lembrança do mapa dos objetos Tempo gasto para completar as tarefas Medições de navegação Satisfação com as interfaces Preferência	Mapas organizados (interfaces <i>zoomable</i> e <i>overview+detail</i>)
Tavanti & Lind	2001	Sim	Tarefas de exploração	Tipo de interface (<i>2D e 3D</i>)	Desempenho geral Posição no nível mais profundo	Informações hierárquicas

Kobsa [KOB 2001] descreve uma comparação empírica de três diferentes sistemas comerciais de visualização de informações, *Eureka* [RAO 94], *InfoZoom* [SPN 96] [SPN 99] e *SpotFire* [AHL 95], utilizando três diferentes conjuntos de dados. A avaliação foi baseada em um experimento realizado com 83 pessoas e um conjunto de 26 tarefas. Foi coletado o **tempo gasto** na execução de cada tarefa e, posteriormente, os usuários responderam um breve questionário de avaliação subjetiva.

Stasko, Catrambone, Guzdial e McDonald [STA 2000a] apresentam dois experimentos empíricos em técnicas de visualização hierárquicas, utilizando exibições *TreeMaps* [JOH 91] [SHN 92] para estruturas de diretórios e arquivos e o sistema *Sunburst* [STA 2000b]. Ambas as técnicas utilizam preenchimento de área para exibir grandes hierarquias.

A avaliação foi realizada através de teste com usuários utilizando 16 **tarefas de análise e busca** em estruturas de diretórios e arquivos. Para cada ferramenta, foram adotadas diferentes estratégias de busca, as quais mostraram influenciar diretamente o **desempenho** do usuário. As tarefas foram executadas usando cada uma das duas ferramentas agrupadas em 11 categorias: (a) identificar o maior ou o segundo maior arquivos; (b) identificar o maior diretório; (c) localizar um arquivo, dado somente o nome; (d) identificar o subdiretório mais profundo; (e) identificar um diretório que contém arquivos com um tipo em particular; (f) identificar um arquivo baseado no tipo ou tamanho; (g) comparar dois arquivos por tamanho e identificar o maior; (h) localizar duas estruturas de diretórios duplicados contendo os mesmos arquivos; (i) comparar dois diretórios por tamanho e identificar o maior e, finalmente, (j) comparar dois diretórios pelo número de arquivos e identificar o que tem mais arquivos. Foram medidos o **tempo gasto** nas tarefas e a **correção** dos resultados obtidos. Nas tarefas utilizadas, geralmente, os usuários preferiram o *Sunburst* do que a visualização gerada pelo *Treemaps*. Foi aplicado ainda um teste de satisfação subjetiva aos usuários.

Da mesma forma que Stasko [STA 2000a], que analisou duas técnicas de visualização representativas de uma categoria (preenchimento de espaço), Hornaek, Bederson e Plaisant [HOR 2001] também estudam uma categoria de técnicas de visualização. Nesse trabalho, os autores comparam interfaces com *zoom* com interfaces com visão geral + detalhe. O objetivo foi compreender os padrões de navegação e a usabilidade destas ferramentas.

A avaliação foi realizada por 32 pessoas que executaram tarefas de navegação sobre mapas organizados (um ou múltiplos níveis), tendo os autores analisado: (a) como as interfaces com *zoom* e *visão geral + detalhe* afetam a usabilidade; (b) como estas interfaces influenciam a forma dos usuários navegarem nos espaços de informação; (c) como a usabilidade e os padrões de navegação são influenciados por diferentes organizações dos espaços de informação e (d) como as diferenças individuais, especialmente as diferenças na habilidade da visualização, afetam a usabilidade e os padrões de navegação.

Foi conduzido um experimento controlado com as seguintes hipóteses:

- (a) Os usuários poderiam preferir utilizar a interface *visão geral + detalhe*, devido às informações adicionais contidas na janela de visão geral e as características adicionais de navegação;

- (b) A interface *visão geral + detalhe* poderia ser mais rápida para tarefas que necessitassem comparar objetos e varrer grandes áreas;
- (c) A lembrança das localizações do mapa poderiam ser melhores nas interfaces com *zoom*;
- (d) A organização da informação em múltiplos níveis conduziria mais rapidamente e com soluções mais precisas as tarefas na interface com *zoom* em comparação com a interface *visão geral + detalhe*;
- (e) A interface *visão geral + detalhe* poderia ser rápida e mais precisa para usuários com pouca habilidade em visualização espacial.

Foram criadas dez tarefas para cada mapa, cinco tarefas de navegação e cinco para *browsing*. Foram aferidas a **precisão na resposta das questões**, a **lembrança do mapa dos objetos**, o **tempo gasto para completar as tarefas**, **medições de navegação**, a **satisfação com as interfaces** e a **preferência**.

Risden, Czerwinski, Munzner e Cook [RIS 2000] avaliaram algumas características de dois *browsers* bidimensionais convencionais (*browser* semelhante ao *Windows Explorer*¹ e o *Snap Web Site*²) e outro, XML3D, que possui uma visão hiperbólica tridimensional interativa integrada com uma visão de uma lista bidimensional tradicional. Os autores realizaram uma avaliação empírica através da aplicação de um teste de usabilidade que utilizou um conjunto de tarefas. As tarefas possuíam diferentes níveis de complexidade: **encontrar uma categoria existente** ou **adicionar uma nova categoria** na árvore de diretórios. Para cada categoria, foram considerados também, os aspectos: possuir um único pai/caminho ou ter múltiplos pais/caminhos. Foi coletado o **tempo gasto** para a execução de cada tarefa. Os resultados finais foram obtidos pela análise da variância (ANOVA) dos tempos coletados.

A coleta destes tempos e uma análise de consistência indicaram que as tarefas foram completadas rapidamente e com o mesmo grau nos *browsers* avaliados. Os autores demonstraram que a integração da habilidade de visualizar toda estrutura no espaço de informação com a possibilidade de avaliar as relações globais e locais, melhora o desempenho do usuário na busca por informação. O artigo mostra também que as técnicas interativas tridimensionais podem ser introduzidas com visualizações bidimensionais tradicionais, permitindo ao usuário utilizar estratégias alternativas quando necessário.

Barlow and Neville [BAR 2001] descrevem dois experimentos que comparam quatro técnicas de visualização bidimensionais de hierarquias: *Organization Chart* [REI 81], *icicle Plot* [KLE 81], *TreeMaps* [SHN 92] e *Tree Ring* [AND 98] [CHU 98b].

As técnicas são avaliadas no contexto da análise de árvores de decisões em aplicações de mineração de dados. Os critérios utilizados no primeiro experimento para avaliar os *layouts* das visualizações foram **facilidade de interpretação**, **comparação do tamanho dos nodos** e **preferência do usuário**. São utilizadas cinco tarefas para testar a habilidade das visualizações representarem as topologias das árvores. As tarefas são: (a) identificar se a árvore é binária ou *n-Ary*; (b) se é balanceada ou não-balanceada; (c) qual o ancestral mais profundo; (d) qual o número de níveis e (e) quais

¹ <http://www.microsoft.com>

² <http://www.snap.com>

são as três maiores folhas. No segundo experimento são utilizadas duas tarefas: (a) tarefa de descrição do nodo e (b) tarefa de memória do nodo. As métricas utilizadas nos experimentos foram **tempo de resposta** e **exatidão da resposta**.

A avaliação demonstrou que a *Tree Ring* e a *icicle Plot* são equivalentes à *Organization Chart*. *TreeMaps* mostrou-se pior do que as outras três devido às respostas lentas na execução das quatro tarefas. No primeiro experimento, a visualização *icicle Plot* mostrou-se igual ou melhor do que a *Organization Chart* e a *Tree Ring* na maioria das tarefas. Na avaliação subjetiva, os participantes preferiram o *icicle Plot* e o *Organization Chart* em detrimento do *Tree Ring*.

Tavanti e Lind [TAV 2001] mostram os resultados de uma avaliação empírica do desempenho da memória espacial em exibições 2D e 3D. Os autores executaram dois experimentos com visualizações de estruturas hierárquicas. A hipótese levantada para o primeiro experimento foi que uma árvore 3D poderia ser mais efetiva (em uma tarefa que envolve memória espacial) do que uma representação 2D da mesma árvore. Vinte estudantes participaram de um experimento em três fases: (1) exploração de visualizações (2D e 3D); (2) preenchimento de um questionário com itens não relacionados diretamente com as tarefas e, finalmente, (3) execução das tarefas propostas. As tarefas envolviam a memorização das posições de caracteres alfanuméricos ocultos nos nodos das representações. As medições foram o **desempenho geral**, ou seja, número de associações corretas entre caracteres e posições na hierarquia, e **associação de um caracter com o nível correto na árvore**, para comparar quantos caracteres foram associados corretamente ao nível de profundidade apropriado da árvore. O segundo experimento foi, essencialmente, similar ao primeiro, mas utilizando uma representação 2D sem barra de rolagem. Os resultados de ambos os experimentos mostraram que as visualizações 3D são mais efetivas na execução de tarefas que precisam da memória espacial dos usuários.

4.3 Avaliação baseada em critérios específicos para técnicas de visualização

Nesta seção, são revisados os trabalhos relatados na literatura apresentando ou abordando critérios específicos para a avaliação de aspectos importantes de técnicas de visualização. Esses trabalhos estão sumarizados na Tabela 4.4, ao final da seção.

Num dos primeiros trabalhos nessa linha, Brath [BRA 97] propõe um conjunto de critérios e métricas para avaliar as representações visuais estáticas, ou seja, não considerando operações sobre as representações. A Tabela 4.3 exhibe os critérios e métricas definidas por Brath.

TABELA 4.3 - Critérios e métricas definidas por Brath [BRA 97]

Critérios de avaliação	Métricas associadas
<i>Densidade dos dados</i>	<i>Número de pontos de dados</i>
<i>Complexidade cognitiva</i>	<i>Número de dimensões</i>
<i>Oclusão de objetos e contexto de referência</i>	<i>Porcentagem de oclusão</i>
<i>Identificação de pontos de dados</i>	<i>Porcentagem de pontos identificáveis</i>

Nesse trabalho Brath concluiu que as métricas precisavam ser testadas sobre diferentes tipos de visualizações para estabelecer um comportamento adequado e sua aplicabilidade. Além disso, as métricas poderiam ser estendidas para avaliar as

interações e a navegação. Estes critérios ainda hoje estão sendo utilizados como heurísticas de avaliação.

Cugini et al. [CUG 2000a] [CUG 2000b] discutem a eficiência da exibição gráfica dos resultados de buscas realizadas através do sistema de busca de informação NIRVE. O protótipo explora diversas técnicas de visualização interativas fornecendo um acesso fácil ao conjunto de documentos resultante de uma consulta efetuada. Nesse trabalho, vários critérios de avaliação são discutidos, de acordo com a representação visual básica utilizada, pois diversos tipos de visualização foram explorados pelos autores.

Os aspectos considerados importantes foram: (a) **mapeamento palavra-chave para conceito**, já que é um mecanismo de busca de documentos; (b) **agrupamento explícito de elementos de informação recuperados**; (c) **uso de representações 2D e 3D** e a (d) **relação entre a estrutura lógica do conjunto recuperado e a representação visual** que está sendo avaliada.

Explicitamente, os autores afirmam que, não importando a representação visual escolhida, o fato de que essa representação necessita ser manipulada interativamente, introduz questões básicas de avaliação de interfaces gráficas, tais como:

- Como medir resultados.
- Nível das métricas a serem utilizadas.
- Quais tarefas são apropriadas para avaliação.

As métricas de avaliação definidas pelos autores são organizadas em classes: (a) as que capturam as grandes propriedades de um sistema, tais como desempenho funcional completo ou a satisfação subjetiva do usuário (alto nível) e (b) as que verificam os detalhes da interação do usuário com um sistema (baixo nível). Como métricas de alto nível, os autores utilizaram:

- a) Satisfação subjetiva do usuário, percentagem de documentos relevantes encontrados em um determinado tempo quando a tarefa é encontrar a quantidade possível;
- b) Erro relativo na resposta, quando a tarefa é estimar rapidamente se muitos documentos no conjunto resultante são relevantes;
- c) Escore de relevância de um documento selecionado, quando a tarefa é encontrar o "melhor";
- d) Tempo gasto para encontrar um documento relevante;
- e) Tempo gasto para responder uma questão específica.

Já como métricas de baixo nível, utilizaram:

- a) Profundidade da árvore de busca.
- b) Número total de agrupamentos e nodos de rede percorridos.
- c) Tempo gasto para cada nodo percorrido da rede.
- d) Comprimento do caminho da busca.

Para Yang-Peláez e Flowers [YAN 2000] as representações visuais podem ser analisadas em diferentes níveis: **sintático**, **semântico** e **pragmático**. A informação **sintática** de uma visualização pode ser definida como sinais, linhas, regiões e sua

organização na representação visual. Entretanto, a análise sintática não envolve uma interpretação do que a representação visual representa. Informação **semântica** associada a uma representação visual é o significado transmitido por seus elementos geométricos e atributos (sinais e configurações). É o usuário que percebe, processa e cria uma leitura semântica da representação visual, leitura esta que pode mudar já que as diferentes representações visuais conduzem informação com diferentes graus de efetividade. E, finalmente, o nível **pragmático** da comunicação visual fornece a situação real da comunicação e o valor ou a utilidade da representação acima da interpretação semântica direta.

Estes conceitos foram utilizados por Yang-Peláez e Flowers [YAN 2000] para a determinação do conteúdo de informação em representações visuais. Esses autores identificaram quatro tipos de medidas que permitem avaliar o conteúdo da informação:

- e) Transportado pelos dados, com base nas dimensões do conjunto de dados;
- f) De uma representação visual, com base no tipo de gráfico utilizado;
- g) Capacidade de informação de uma imagem, com base na sua resolução;
- h) Conteúdo topológico da informação, com base nos relacionamentos entre os elementos de informação.

Yang-Peláez e Flowers utilizaram estas medidas para quantificar o conteúdo da informação presente nos dados, na forma de dimensões ou topologia, e também de sua representação visual. Enfatizam também que, o conteúdo da informação, não afeta a interpretação semântica das visualizações, ou seja, o conteúdo da informação não pode quantitativamente assegurar qualquer aumento na informação devido às características que surgem e que não fazem parte do conjunto da relação original.

Juarez, Hendrickson e Garrett [JUA 2000] utilizam um ensaio de interação para avaliar a ferramenta de visualização Visual EIO-LCA (*Economic Input-Output Life-Cycle Assessment*). A ferramenta possui, como formas de exibição das informações, tabelas interativas e três diferentes tipos de visualizações interativas (*chart view*, *scatter plot* e *data view*). A ferramenta de visualização foi avaliada com usuários executando a tarefa de selecionar um produto com duas alternativas baseadas em parâmetros ambientais.

O trabalho descreve uma metodologia alternativa para avaliar o suporte aos mecanismos de interação (efetividade das visualizações) utilizando um método específico para estimar o **tempo de execução** de uma tarefa e a **qualidade da solução** obtida pelo usuário quando este está utilizando técnicas de visualização. O método foi aplicado em um projeto experimental onde o autor afirma que os usuários não precisaram utilizar técnicas de visualização complexas para realizar suas tarefas porque eles trabalhavam frequentemente com sumários. Entretanto, os usuários que utilizavam efetivamente representações visuais executavam suas tarefas mais eficientemente.

Chen e Yu [CHN 2000] consideram três fatores no processo de avaliação de uma técnica de visualização através de uma meta-análise: **usuários**, **tarefas** e **ferramentas**. As medições sobre os usuários foram: **memória associativa**, **habilidade espacial** e **memória visual**. Para as tarefas: **exatidão** e **eficiência**. A medição da **exatidão** inclui precisão, taxa de erros, média de número de respostas incorretas e quantidade de

informação recuperada corretamente. Para **eficiência**, média de tempo gasto e o tempo de execução.

Graham, Kennedy e Benyon [GRA 2000] desenvolveram e avaliaram uma técnica de visualização que representa e explora as relações existentes entre estruturas hierárquicas múltiplas em classificações botânicas. A metodologia para teste de usabilidade utilizada foi a definida por Nielsen (*Discount Usability Engineering* [NIE 94]). As metodologias tradicionais de IHC utilizadas foram observação direta, protocolos verbais concorrentes, gravação de vídeo e *logs*. A avaliação foi dividida em seis fases: (1 e 2) verificar as necessidades básicas sobre as representações visuais; (3) testes qualitativos sobre a funcionalidade dos protótipos e escolhas de projeto (teste informal com usuários com um conjunto de doze tarefas); (4) teste de usabilidade qualitativo inicial para verificar as capacidades da visualização em relação a mudança de escala (observação direta, gravação de vídeo); (5) teste de usabilidade adicional (teste informal com os usuários – técnica *think-aloud protocol* [TOG 92]) e (6) experimento quantitativo no estágio final do protótipo.

Como pode ser observado, praticamente todos os trabalhos empregam experimentos com usuários com base em tarefas. A definição de quais tarefas utilizar nos experimentos é, pois, fator determinante no processo de avaliação. Em função disso, é importante mencionar o trabalho de Zhou e Feiner [ZHO 98] que, com base na proposta pioneira de Wehrend e Lewis [WEH 90], propôs uma taxonomia para o que ele chamou de tarefas visuais.

Tarefas visuais são caracterizadas por efeitos visuais (*visual accomplishments*) e implicações visuais (*visual implications*). Tais efeitos visuais visam especificar as “intenções visuais” que são objetivos de mais alto nível da tarefa, por exemplo, sumarizar informações, buscar, verificar, etc. As tarefas visuais correspondentes à sumarização das informações seriam, por exemplo, associar, categorizar, comparar, distinguir, etc. Já as implicações visuais dizem respeito a ações visuais que uma técnica pode causar, por exemplo, certos tipos de organização, transformações ou sinalização. Assim, dependendo das implicações visuais das técnicas, o suporte a tarefas visuais pode ser escolhido de forma coerente com as intenções visuais. Por exemplo, para uma tarefa visual como focalizar, é importante atrair atenção; técnicas visuais de baixo nível como realce ou ampliação atraem atenção e podem, então ser utilizadas na implementação de focalizar.

Os autores utilizaram um mecanismo de inferência chamado IMPROVISE [ZHO 97] para mostrar o uso da classificação das tarefas visuais. IMPROVISE é um sistema experimental e é usado para determinar as tarefas visuais adequadas para a aplicação, num primeiro momento, e as técnicas visuais para suportá-las, num segundo. No exemplo apresentado pelos autores, as intenções visuais são: (a) sumarizar o estado de pacientes que sofreram uma operação de desvio da artéria coronariana para enfermeiros, e (b) sumarizar e elaborar para médicos essa mesma informação.

TABELA 4.4 - Relação dos trabalhos abordando avaliação baseada em critérios específicos para uma técnica de visualização

Autor(es)	Ano	Representação visual	Interação	Critérios de avaliação	Métricas	Tipo de informação / técnicas avaliadas
Brath	1997	Sim	Não	Densidade dos dados	Número de pontos de dados	Escalares
				Complexidade cognitiva	Número de dimensões	
				Oclusão de objetos e contexto de referência e	Porcentagem de oclusão	
				Identificação de pontos de dados	Porcentagem de pontos identificáveis	
Zhou &Feiner	1998	Sim	Tarefas	Classificação de tarefas visuais		(IMPROVISE)
Juarez, Hendrickson & Garrett	2000	Não	Tarefas	Eficácia	Tempo de execução	Escalares (EIO-LCA)
Yang-Pèlaez & Flowers	2000	Sim	Não	Eficácia das visualizações	Quantidade de informações transportada pelos dados Quantidade de informações transportada pela visualização Quantidade de informações na visualização dos dados Quantidade de conteúdo topológico da informação	Grafos
Cugini	2000	Sim	Sim	Mapeamento palavra-chave para conceito	5 métricas de alto nível (desempenho funcional completo ou satisfação subjetiva do usuário)	Documentos recuperados de Sites (NIRVE)
				Agrupamento explícito de elementos recuperados		
				Utilização de representações 2D e 3D	4 métricas de baixo nível (capturam os detalhes da interação do usuário com um sistema)	
				Relação entre estrutura lógica do conjunto recuperado com a representação visual		
Chen & Yu	2000	Não	Sim	Usuários	Memória associativa Habilidade espacial Memória visual	Diversos
				Tarefas	Exatidão (precisão, taxa de erros, média de número de respostas incorretas e quantidade de informação recuperada corretamente) Eficiência (média de tempo gasto e tempo de execução)	
				Ferramentas		
Graham, Kennedy & Benyon	2000	Sim	Sim	Funcionalidade		Informações hierárquicas

4.4 Aspectos críticos em avaliação de técnicas de visualização

Como pode ser observado, diversos estudos empíricos de avaliação de técnicas de visualização de informações utilizaram teste com usuários, aplicando um conjunto de tarefas relativamente simples e limitadas à estrutura dos dados subjacentes. Tais tarefas incluem procurar um ou todos objetos com uma determinada propriedade [STA 2000a], especificando todos os atributos de um objeto [CAL 2000] ou executando tarefas de contagem [WIS 99]. A utilização destas tarefas simples de navegação e busca facilitou a descoberta das principais diferenças entre as técnicas de visualização avaliadas, eliminando desta forma, alguns fatores complexos de serem considerados.

Alguns trabalhos utilizaram teste de usabilidade explorando um conjunto de tarefas de usuários mais complexas [WIS 98] [RIS 2000] [KOB 2001], onde alguns fatores influenciaram significativamente os resultados observados. Tais fatores incluem: (a) a compreensão das tarefas pelos usuários; (b) habilidade dos usuários em executar as tarefas adequadamente; (c) utilizar eficientemente as operações sobre as visualizações e (d) o problema que em algumas técnicas de visualização de informações comerciais, freqüentemen-te, existem diversas formas de visualização e várias formas de solucionar as tarefas propostas.

Desta forma, é necessário analisar quais fatores influenciam o teste de usabilidade e quais não influenciam. Isto pode ser feito através de uma análise de como os usuários solucionam cada tarefa.

Kobsa [KOB 2001], por exemplo, descreve alguns fatores que podem influenciar a avaliação de técnicas de visualização, tais como:

- **Propriedades de uma visualização:** No sistema *SpotFire* [AHL 95], por exemplo, as diferentes visualizações fornecidas podem exibir poucas dimensões. Os usuários devem então, planejar com antecedência quais variáveis devem ser utilizadas e como elas deveriam ser representadas. Este planejamento deve ser executado sem ajuda de uma visualização e sua recuperação deve ser feita em tempo finito.
- **Operações que podem ser executadas sobre uma visualização:** O *InfoZoom* [SPN 96] [SPN 99], por exemplo, permite operações de *zooming* facilmente operadas por seus usuários. Embora o mecanismo de *zooming* também possa ser executado no *Eureka (Table Lens)* [RAO 94], esta técnica permite apenas operações que preservem o contexto. Desta forma, os usuários encontraram dificuldade em explorá-los quando as tarefas incluíram três ou mais atributos.
- **Implementação concreta do paradigma da visualização:** As técnicas de visualização *Eureka* [RAO 94] e *InfoZoom* [SPN 96] [SPN 99] oferecem uma visualização tipo tabela, porém os atributos são alinhados verticalmente no *Eureka*, e horizontalmente, no *InfoZoom*. Por outro lado, atualmente as exibições são praticamente todas orientadas em modo paisagem. Como resultado de ambos, a altura das linhas do *InfoZoom* é menor do que a largura das colunas do *Eureka*, esta parece à razão de que os usuários do *Infozoom* tiveram mais dificuldades para visualizar as correlações que os usuários do *Eureka*. Entretanto, as colunas no *Eureka* eram muito pequenas

para poder exibir mais do que as primeiras duas ou três letras dos nomes das variáveis quando havia mais de aproximadamente 20 variáveis presentes. Os usuários do *Eureka* encontraram, então, problemas de desorientação consideráveis.

- **Problemas de usabilidade independentes da visualização:** O sistema *Spotfire* [AHL 95], por exemplo, fornece diversos tipos de visualização, mas exibe uma representação *scatterplot* por *default*. Desta forma, os usuários tiveram uma grande tendência em utilizar apenas este tipo de representação, sendo incapazes de utilizar outros tipos de exibições possíveis.

Nos estudos de caso realizados ao longo do presente trabalho, os três últimos fatores citados por Kobsa [KOB 2001] foram detectados no processo de avaliação das técnicas de visualização. Além desses, um fator igualmente crítico é a escolha do conjunto de usuários nos ensaios de interação. Chen e Yu [CHN 2000] focalizaram características dos **usuários** como impactantes no processo de avaliação de uma técnica de visualização. Estes podem ser caracterizados através de medições como **memória associativa**, **habilidade espacial** e **memória visual**. Segundo estes autores, poucos trabalhos apontaram para estes aspectos.

Em relação ao fator, **operações que podem ser executadas sobre uma visualização**, notou-se algumas divergências entre alguns autores [WEH 90] [SHN 96] [ZHO 98] sobre a classificação das diferentes tarefas de usuários.

O fator **implementação concreta do paradigma da visualização** mostrou-se muito preocupante, pois normalmente, a implementação de uma técnica de visualização não cumpre à risca todas as definições da metáfora de visualização proposta. Com isso, a realização das tarefas pode ser afetada pela implementação e não necessariamente pela técnica originalmente proposta.

Na avaliação de técnicas de visualização de informações encontram-se diversos **problemas de usabilidade independentes da visualização**, ou seja, como a técnica de visualização de informações possui uma interface gráfica, ela pode apresentar todos os problemas de usabilidade e de construção inerentes à área de IHC, necessitando ser avaliada com testes de usabilidade.

Esta preocupação pode ser vista no trabalho de Graham, Kennedy e Benyon [GRA 2000]. Os autores apresentaram um estudo sobre o desenvolvimento de uma visualização para representar e explorar os relacionamentos entre estruturas hierárquicas múltiplas em classificações botânicas. A avaliação da técnica de visualização foi realizada com metodologias de usabilidade tradicionais, tais como **observação direta**, **protocolos verbais concorrentes**, **gravação de vídeo** e **registros das interações (logs)**. As conclusões desse estudo apontaram que o uso de técnicas padrões para avaliação e projeto interativo de visualizações de informações produzem as mesmas dificuldades e resultados dos métodos de avaliações aplicados em interfaces gráficas.

Um dos principais problemas dos desenvolvedores de aplicações de visualização é a escolha de uma técnica adequada para solucionar seus problemas. Um trabalho voltado para essa escolha foi realizado por Wehrend e Lewis [WEH 90]. Os autores descrevem um experimento baseado numa classificação de técnicas de visualização que é independente dos domínios de aplicação. Para tanto, o desenvolvedor divide seus

problemas em subproblemas, descrevendo-os em termos de objetos a serem representados e as operações que devem ser suportadas pela representação. Uma classificação de técnicas orientadas-a-problemas permite localizar e combinar técnicas de visualização para obter uma representação composta adequada ao problema original.

4.5 Comentários finais

Chen [CHN 2000] já afirmava que os estudos empíricos realizados em técnicas de visualização de informações eram muito diversos e que alguns fatores deveriam ser investigados. Estes fatores incluem: (a) investigar as habilidades dos usuários e (b) conduzir estudos empíricos e sistemáticos de técnicas de visualização de informações. Segundo esse autor, para melhorar a consistência e permitir a comparação dos resultados destes estudos experimentais, as avaliações de técnicas de visualização deveriam examinar cuidadosamente os seguintes seis aspectos:

- a) Utilização de dados de teste padronizados;
- b) Propriedades espaciais e visuais das representações visuais;
- c) Utilização de tarefas classificadas de alguma forma, tais como as propostas em alguns trabalhos [WEH 90] [FRE 95] [SHN 96] [ZHO 98];
- d) Os efeitos das características visuais e das tarefas nos próprios estudos;
- e) Habilidades cognitivas padrões dos usuários;
- f) Análise estatística dos resultados obtidos.

No próximo capítulo (Capítulo 5), é apresentada detalhadamente a abordagem adotada para sistematizar a avaliação de técnicas de visualização de informações. Esta sistematização é baseada na definição de critérios de avaliação específicos, divididos em duas categorias: um conjunto de critérios para avaliar representações visuais, contemplando o item (b) acima; e um segundo conjunto, voltado para os mecanismos de interação usualmente oferecidos pelas técnicas, indo ao encontro da necessidade mencionada no item (c) acima. Estes critérios são flexíveis de modo que podem ser adaptados para uso em métodos de avaliação de usabilidade, como será exposto no capítulo 6.

5 Critérios de avaliação

Conforme já mencionado, o desenvolvimento de técnicas de visualização de informações tem acontecido, em geral, baseado em implementações experimentais avaliadas de forma empírica e isolada. Apesar da existência de inúmeras diretrizes clássicas para representações visuais de informações [BER 83] [TUF 83] [TUF 90] [TUF 97] e de heurísticas, para o projeto e avaliação de interfaces gráficas [NIE 93][NIE 94][BAS 93], apenas recentemente a questão começou a ser tratada objetivamente [BRA 97] [WIS 99] [YAN 2000] [BAR 2001] [KOB 2001] [GRA 2002].

A base de um processo objetivo de avaliação de qualquer sistema computacional é a determinação de **critérios de avaliação** (ou **heurísticas**) de modo a facilitar a descoberta dos principais problemas de usabilidade que afetam a sua eficiência e a facilidade de uso pelos usuários. Testes de usabilidade, em geral, levam em consideração também a satisfação do usuário.

Neste capítulo, são propostos critérios para avaliação de técnicas de visualização, em particular para técnicas de visualização específicas para informações hierárquicas, ou seja, informações organizadas em forma de árvore.

Os critérios de avaliação foram divididos em duas classes distintas: uma destinada à avaliação das características estáticas da técnica, ou seja, a representação visual base da técnica; e outra, voltada para avaliação das operações fornecidas por ela, isto é, seus mecanismos de interação. Em princípio, aspectos de interfaces gráficas em geral (posicionamento de botões, menus, mensagens, etc.) não estão contemplados neste conjunto de critérios. Os critérios são apresentados com exemplos de técnicas mostrando situações em que se aplicam.

5.1 Critérios de avaliação para a representação visual

A Figura 5.1 apresenta, esquematicamente, os critérios propostos para avaliar representações visuais de informações hierárquicas. Os critérios estão organizados em cinco classes:

- Limitações,
- Complexidade cognitiva,
- Organização espacial,
- Codificação de atributos e
- Transição entre estados.

Com exceção da última classe, os critérios avaliam um “momento” da representação visual, ou seja, suas características estáticas desconsiderando a transição de um estado a outro. As características da transição entre um estado e o seguinte, resultado de alguma operação, são avaliadas seguindo os critérios reunidos na última classe.

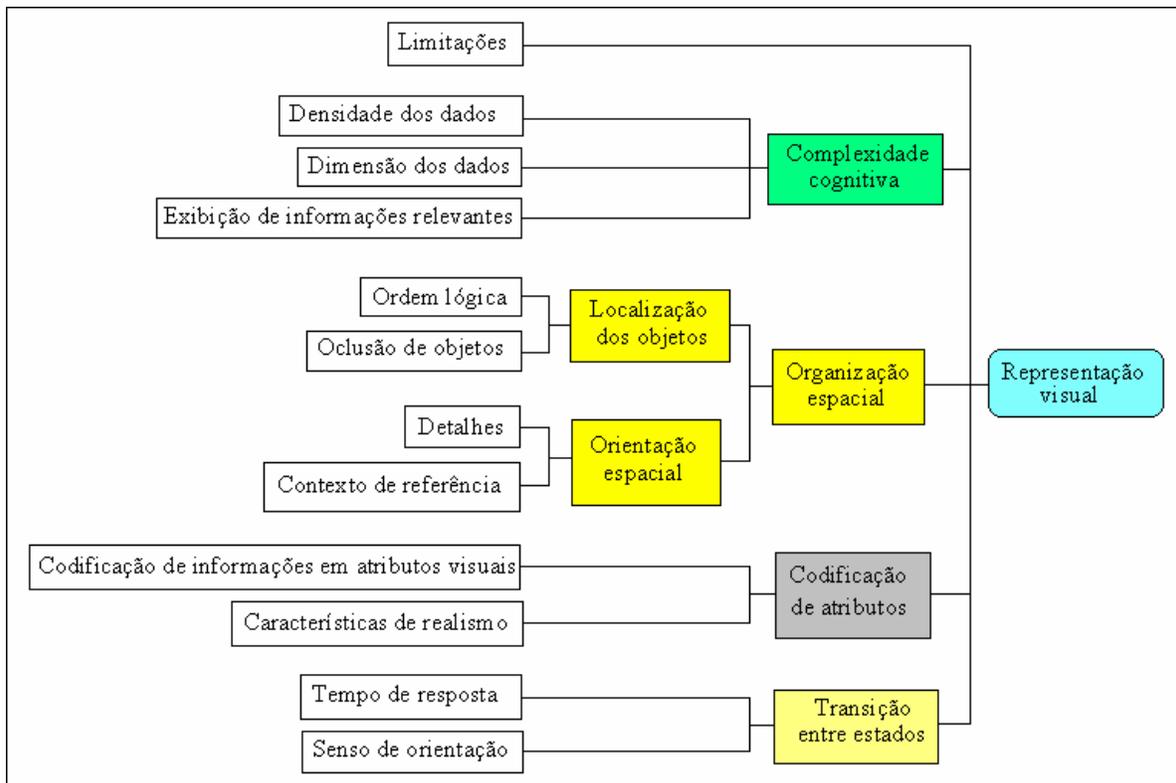


FIGURA 5.1 - Critérios de avaliação para representação visual

5.1.1 Limitações

Algumas técnicas de visualização de informações procuram exibir todo o conjunto de informações em uma única representação visual. Entretanto, devido a problemas relacionados ao grande volume de informações, pequeno espaço disponível de tela, oclusão total ou parcial de objetos e desordem visual, geralmente, não é possível representar todas estas informações de forma adequada. Em algumas situações, é necessário criar restrições geométricas que limitem a densidade dos dados exibidos, permitindo desta forma, reduzir o volume de informações, facilitando a interpretação pelo usuário. Por outro lado, se houver muitas limitações, elas podem prejudicar a compreensão por parte do usuário, dificultando, desta forma, a obtenção de importantes informações “escondidas” sob a estrutura.

Assim, diversas técnicas de visualização utilizam alguma forma de limitação. O critério **limitações** reúne como sub-critérios: **quantidade de diferentes tipos de informações, número máximo de elementos de informação, número de níveis da hierarquia, número máximo de janelas auxiliares**, os quais serão comentados a seguir.

Diversas técnicas de visualização de informações hierárquicas limitam as formas de codificação dos elementos de informação. Quanto maior a **quantidade de diferentes tipos de informações** que forem representados, mais facilmente os usuários interpretam o que está sendo exibido, desde que estes tipos sejam bem diferenciados, ou seja, estejam representados sem ambigüidade. Um exemplo é utilizar formas geométricas diferentes para diferentes tipos de elementos de informação. A técnica *MagniFind* utiliza diversos tipos de

ícones para representar diretórios e os diferentes tipos de arquivos (Figura 5.2). Já a técnica CHEOPS [BEA 96] utiliza cores diferentes para exibir relacionamentos entre os nodos de uma hierarquia e a técnica *Bifocal Tree* [CAV 2001a] [CAV 2001b] [CAV 2002] utiliza a cor vermelha para exibir a sub-árvore que estava no foco de interesse no momento anterior, durante a navegação.

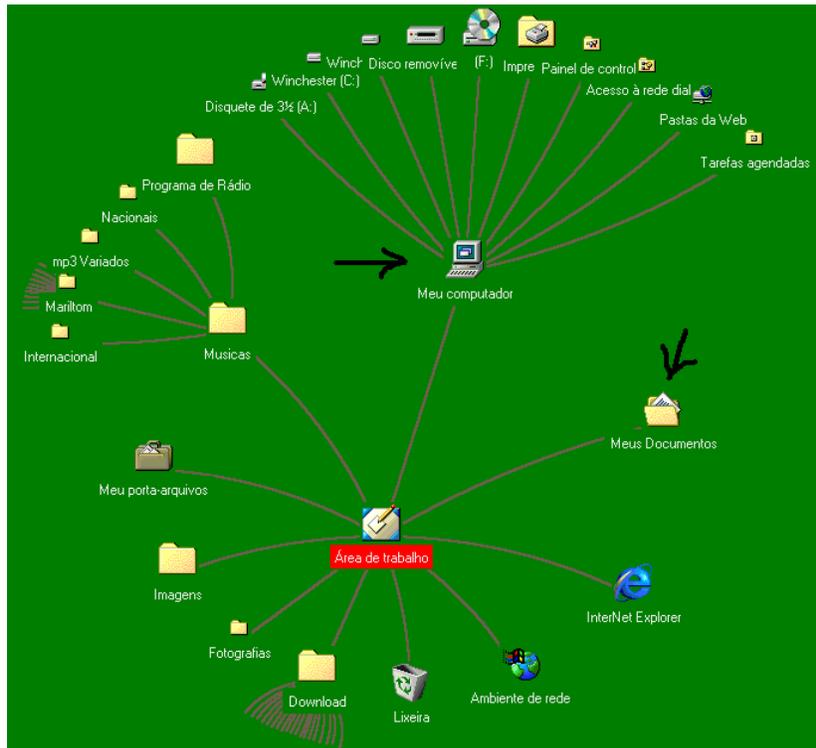


FIGURA 5.2 - Visualização *MagniFind* exibindo tipos de ícones diferentes

Uma forma útil de reduzir o grande volume de informações em uma representação visual é limitar o **número máximo de elementos de informação** exibidos. No caso de hierarquias, essa limitação pode ser no grau da árvore, ou seja, no número máximo de filhos que um nodo qualquer pode ter, ou na profundidade.

Esta redução ocorre, por exemplo, na técnica de visualização *MagniFind* (Figura 5.2), onde os nodos demasiadamente distantes do nodo raiz não são exibidos. Já a técnica CHEOPS [BEA 96], por exemplo, compacta as informações exibindo toda a hierarquia através de triângulos parcialmente sobrepostos que representam sub-árvores, ou seja, um mesmo triângulo pode representar diferentes sub-árvores, dependendo do caminho selecionado desde a raiz (Figura 5.3).

No caso de limitação de níveis hierárquicos o mais adequado é permitir que o usuário controle a profundidade máxima da hierarquia (**número de níveis da hierarquia**) exibida. A técnica de visualização *TreeMaps* [SHN 92], por exemplo, permite que o usuário controle o número de níveis exibidos na janela principal. Desta forma o usuário pode exibir os níveis hierárquicos que mais lhe convém naquele instante, ou seja, aumentar ou diminuir a quantidade de níveis exibida num determinado momento (Figura 5.4).

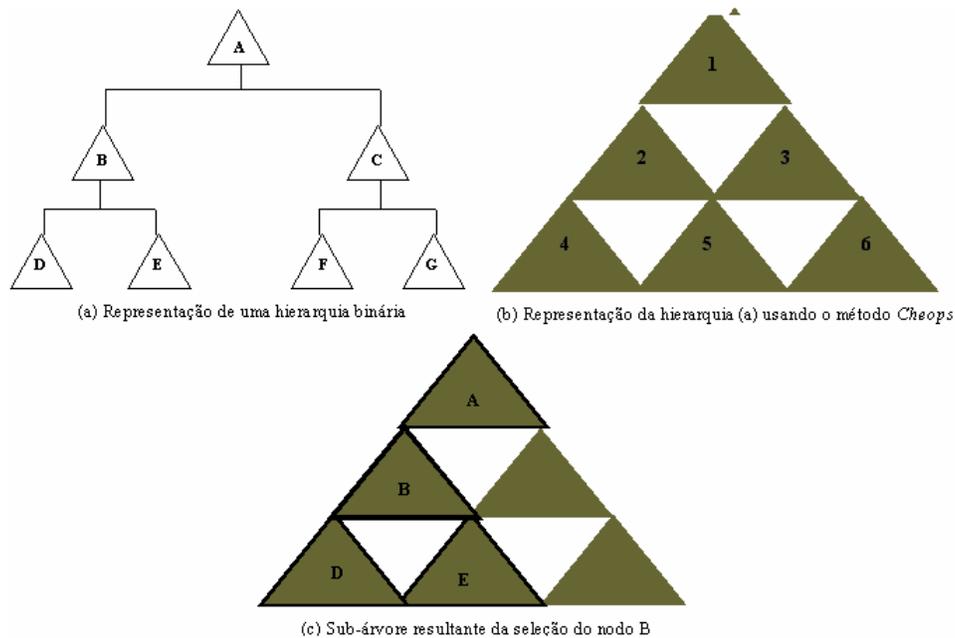


FIGURA 5.3 - Compactação de objetos no CHEOPS. O objeto “5” representa os nodos “E” e “F”

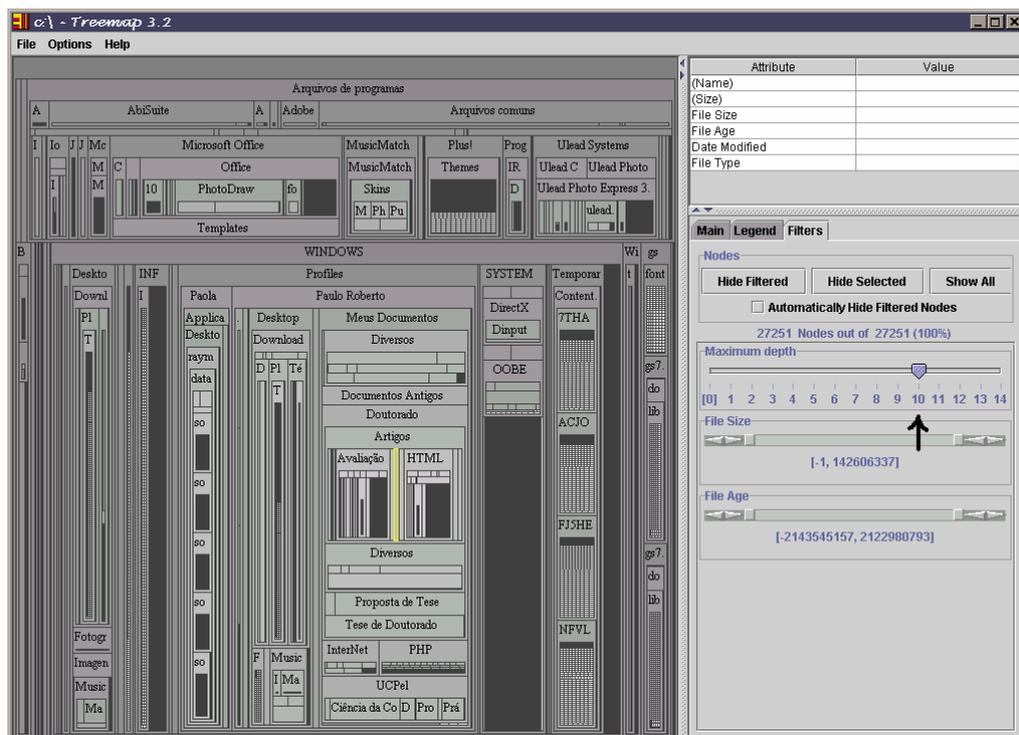


FIGURA 5.4 - Controle do número de níveis no *Treemaps*

Uma forma de não sobrecarregar uma representação visual com um grande volume de informações que, normalmente, não são tão relevantes a todo instante, é retirar da visualização principal algumas informações que podem ser exibidas em janelas auxiliares. Estas informações podem ser exibidas ou não, de acordo com a vontade do usuário. Por exemplo, na *Bifocal Tree* uma janela auxiliar pode ser aberta e sobreposta à janela

principal, exibindo os atributos dos nodos (Figura 5.5). Esta característica é encontrada também no *MagniFind*, que exibe a hierarquia na janela principal, contendo apenas os diretórios, e uma janela auxiliar, ao lado, mostra os arquivos do diretório que foi selecionado. Desta forma, é importante que as técnicas de visualização não limitem o **número de janelas auxiliares**, ou seja, quanto mais janelas auxiliares opcionais melhor.

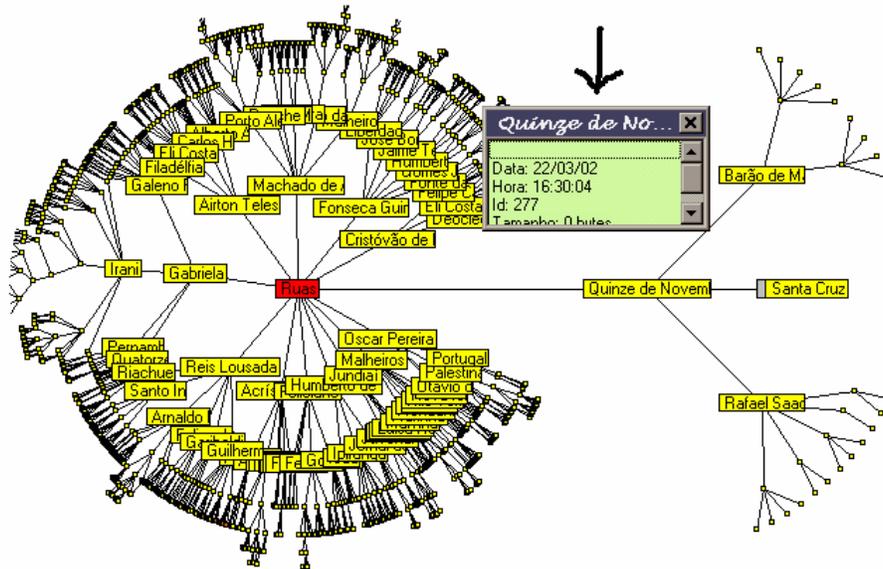


FIGURA 5.5 - (a) Representação de uma hierarquia binária: janela auxiliar na técnica *Bifocal Tree*

5.1.2 Complexidade cognitiva

Uma das principais preocupações da visualização de informações é a redução da complexidade cognitiva das representações visuais, permitindo desta forma, melhorar a interpretação das complexas estruturas de informação através da utilização de representações visuais efetivas. Para minimizar a complexidade cognitiva, metáforas visuais apropriadas devem ser utilizadas para cada tipo de informação, aproveitando as características inerentes ao sistema visual humano. Um exemplo de problema devido à alta complexidade cognitiva ocorre quando o usuário tenta localizar um determinado elemento de informação e não tem sucesso devido à grande quantidade de informações exibidas ao mesmo tempo, pela oclusão dos elementos de informação ou simplesmente pelo fato da técnica não estar exibindo alguns elementos. Uma forma de verificar se a complexidade cognitiva afeta significativamente a percepção das representações visuais geradas é verificar a **densidade de dados**, a **dimensão dos dados** e a **exibição de informações relevantes**, aqui considerados como sub-critérios.

Densidade dos dados

Tufte [TUF 83] define uma métrica para determinar a densidade dos dados. Esta métrica foi aplicada para avaliar a visualização de informações tridimensionais por Brath [BRA 97]. A métrica de Tufte para medir a densidade dos dados de um gráfico é igual ao número de entradas em uma matriz de dados dividido pela área do gráfico que os exibe. Esta métrica é utilizada por Brath [BRA 97] para medir a **densidade dos dados**, sendo igual ao **número de pontos de dados** dividido pelo **número de pixels na exibição**.

Para informações hierárquicas, podemos dizer que a **densidade dos dados** é dependente do **número de diferentes elementos de informação** exibidos ao mesmo tempo. Quanto maior for a quantidade de informações maior será a densidade dos dados. Se a densidade dos dados for demasiadamente grande, a complexidade cognitiva poderá ser influenciada significativamente devido ao grande volume de informações que está sendo exibido ou devido à sobrecarga de elementos de informação em uma região específica da representação visual. Na técnica *TreeMaps*, como pode ser visto na Figura 5.4, as áreas mais escuras mostram uma densidade muito grande de objetos exibidos em uma pequena área da tela. A alta densidade de dados nestas regiões torna difícil a percepção destas informações.

Dimensão dos dados

Representações visuais de dados multivariados exibem um grande número de dimensões, porque essas técnicas são criadas justamente para mostrar de forma sucinta os valores das diferentes dimensões ou atributos. O grande número de dimensões exibido na visualização causa aumento da complexidade cognitiva. Por exemplo, um gráfico 2D simples representando muitas variáveis diferentes pode utilizar diferentes cores e padrões resultando num esforço cognitivo maior por parte do usuário para relembrar o mapeamento entre as dimensões dos dados e a representação visual.

Brath [BRA 97], trabalhando com informações tridimensionais, criou um modelo simples baseado num esquema de escores para avaliar o número máximo de dimensões. Estes escores avaliam a efetividade do mapeamento de cada dimensão do domínio dos dados para uma dimensão visual.

Para informações hierárquicas pode-se afirmar que a **dimensão dos dados** é igual ao **número de níveis** da hierarquia. Nas técnicas de visualização de informações hierárquicas, o número de dimensões pode ser pequeno, mas ainda grande o suficiente para prejudicar o usuário na interpretação dos relacionamentos entre os diferentes elementos. A Figura 5.4 mostra uma árvore de diretórios com quinze níveis, gerada através do *TreeMaps*, o que torna a representação muito densa. A técnica, entretanto, permite controlar o número de níveis exibidos na tela, o que minimiza o problema que pode ser causado pelo elevado número de dimensões exibido ao mesmo tempo.

Assim, na avaliação de uma técnica segundo esse critério, basta verificar se a quantidade de níveis exibidos simultaneamente afeta demasiadamente a complexidade das exibições ou se é permitido controlar o número de níveis como no *TreeMaps*.

Exibição de informações relevantes

Como o volume de dados em uma representação visual pode ser muito grande, é necessário procurar exibir somente as informações que realmente representem alguma informação importante. Uma forma de analisar se uma técnica de visualização exibe informações relevantes é verificar a **utilização de formas alternativas para representar elementos de informação relevantes**, tais como cores, texturas e marcações. Por exemplo, na exibição de uma árvore de diretórios é muito importante destacar o nodo raiz dos demais. A técnica *MagniFind*, por exemplo, utiliza a cor vermelha para exibir o nodo raiz e o nodo selecionado com a cor azul (Figura 5.6).

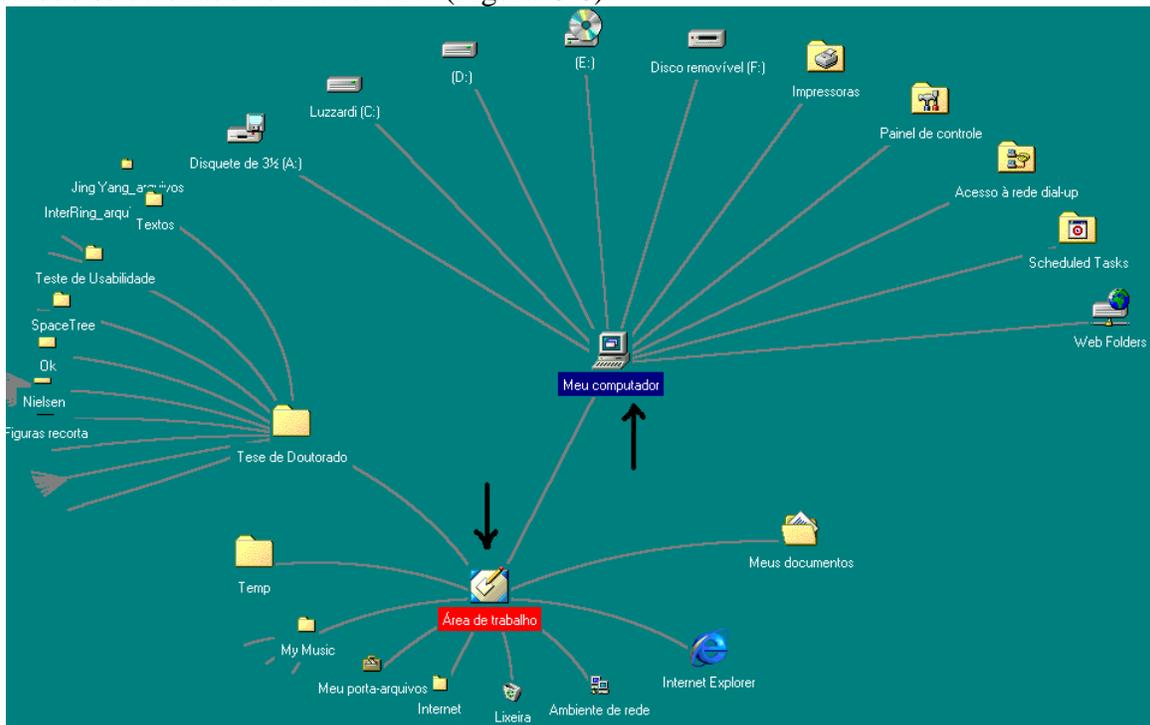


FIGURA 5.6 - *MagniFind* exibe o diretório raiz na cor vermelha e o nodo selecionado na cor azul.

5.1.3 Organização espacial

A organização espacial está relacionada com a conformação do *layout* da representação visual das informações. Normalmente, a geração de um *layout* eficiente não é automática, pois existem alguns problemas a serem minimizados que necessitam um ajuste dos elementos como, por exemplo, a oclusão de objetos que ocorre em visualizações tridimensionais e que necessitam de formas alternativas de posicionamento dos objetos. Um problema decorrente da organização espacial é a desordem visual que causa dificuldade de reconhecimento e interpretação (pelo usuário) dos muitos elementos presentes. Para resolver este problema algumas técnicas como *Cone Tree* [ROB 91], *Cam Tree* [ROB 93] e outras utilizam características de realismo, tais como sombra e transparência, permitindo ao usuário melhorar o senso de orientação e minimizando os problemas de oclusão. Para avaliar se a **organização espacial** de uma representação visual é eficiente ou não, é preciso

verificar se a técnica de visualização facilita a tarefa de **localizar objetos**, fornecendo, inclusive, recursos auxiliares para **orientação espacial** do usuário.

Localização dos objetos

Um problema que pode ocorrer quando o usuário está procurando informações diretamente sobre a representação visual é a dificuldade de distinguir um determinado objeto ou um conjunto de objetos. Esta dificuldade pode estar relacionada à falta de organização do *layout*, oclusão de objetos, grande volume de informações na exibição, falta de agrupamentos ou ausência/ineficiência da codificação de informações. Dois aspectos relacionados à localização de objetos são a **ordem lógica** e a **occlusão de objetos**.

Ordem lógica

A ordem lógica em uma representação visual afeta pode ser analisada pela avaliação das características de **desordem visual**, **ambigüidade na representação visual** e **distribuição dos elementos no layout**.

Para verificar a **desordem visual** é necessário analisar se, em alguma situação o objeto de interesse (ou seus irmãos na hierarquia) trocou de posição significativamente e/ou desapareceu da visualização após uma mudança qualquer no *layout*. A Figura 5.7 mostra o desaparecimento de um elemento de informação, relacionado (irmão) ao nodo selecionado, quando o usuário seleciona um objeto na técnica *MagniFind*. O objeto selecionado é levado para o foco principal e os irmãos mais próximos ficam visíveis, mas os mais distantes desaparecem. Por outro lado, na técnica *Space Tree* [PLA 2002] a localização relativa dos nodos é mais consistente, ou seja, o mecanismo de geração de *layout* procura posicionar os objetos o mais próximo possível da posição que tinham na visualização anterior.

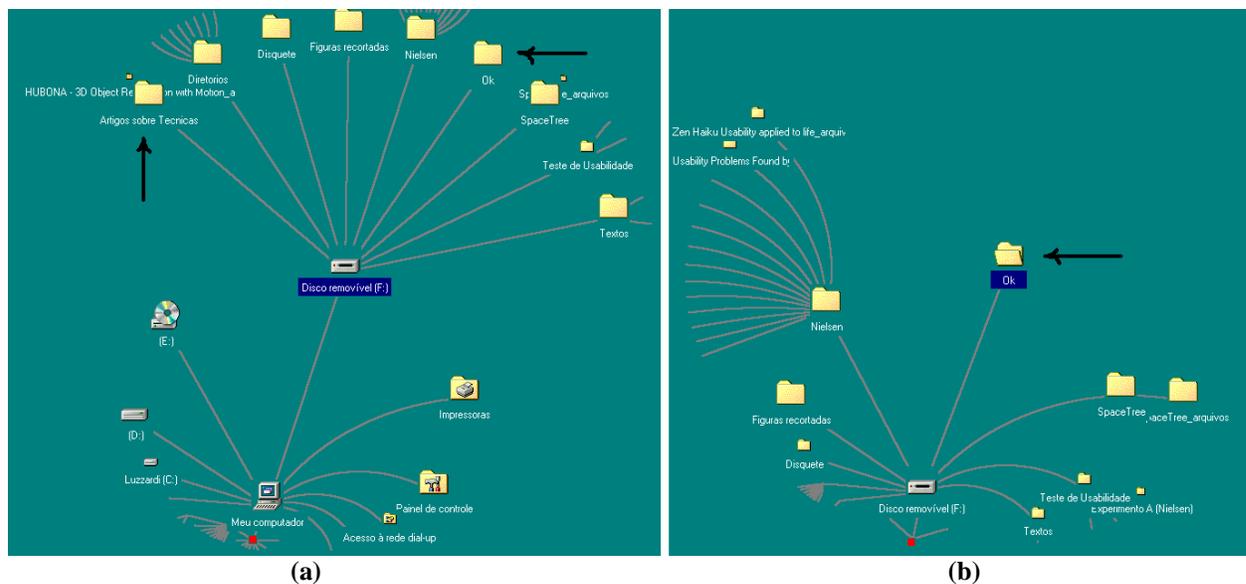


FIGURA 5.7 - *MagniFind* (a) objeto “Ok” é selecionado e (b) nodo irmão “Artigos sobre técnicas” desapareceu da visualização

É importante, também, avaliar se existe **ambigüidade na representação visual** gerada, o que poderia afetar a percepção da localização por parte dos usuários. A técnica *Bifocal Browser*, por exemplo, utiliza a cor vermelha tanto para exibir o nodo raiz como para exibir a sub-árvore visitada anteriormente (Figura 5.8). A ambigüidade na representação das informações pode causar problemas relacionados a ordem lógica pois prejudica a localização dos objetos.

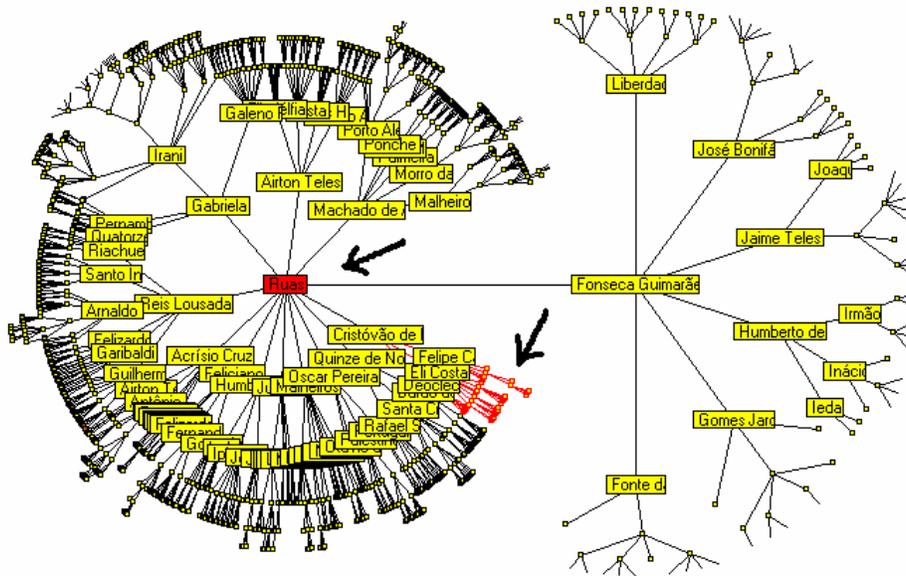


FIGURA 5.8 - *Bifocal Browser* utilizando a cor vermelha para representar nodo raiz e a sub-árvore visitada anteriormente

Na geração do *layout* dois problemas que podem ocorrer é que a representação visual tenha **zonas densas** ou **zonas rarefeitas**. Se existirem **zonas densas**, com muitos elementos de informação, isto pode interferir na tarefa de localizar objetos. A técnica *TreeMaps*, por exemplo, exibe todas as informações na tela ao mesmo tempo, permitindo selecionar os elementos de informações desejados reduzindo o conjunto de informações. O usuário pode manipular o número de níveis hierárquicos exibidos (Figura 5.4). Por outro lado, em algumas situações de interação, podem se formar **zonas rarefeitas**, ou seja, regiões no *layout* com poucos elementos de informação, e isto também pode afetar de forma significativa a localização dos elementos. O *MagniFind* permite ao usuário arrastar livremente toda a hierarquia, mas quando a hierarquia é levada para perto de uma borda da janela principal, os elementos desaparecem, permanecendo apenas o nodo raiz (Figura 5.9). Este problema está intimamente ligado ao critério de avaliação: densidade dos dados, pois estas zonas densas ou rarefeitas correspondem à mudanças na densidade informacional da representação visual.

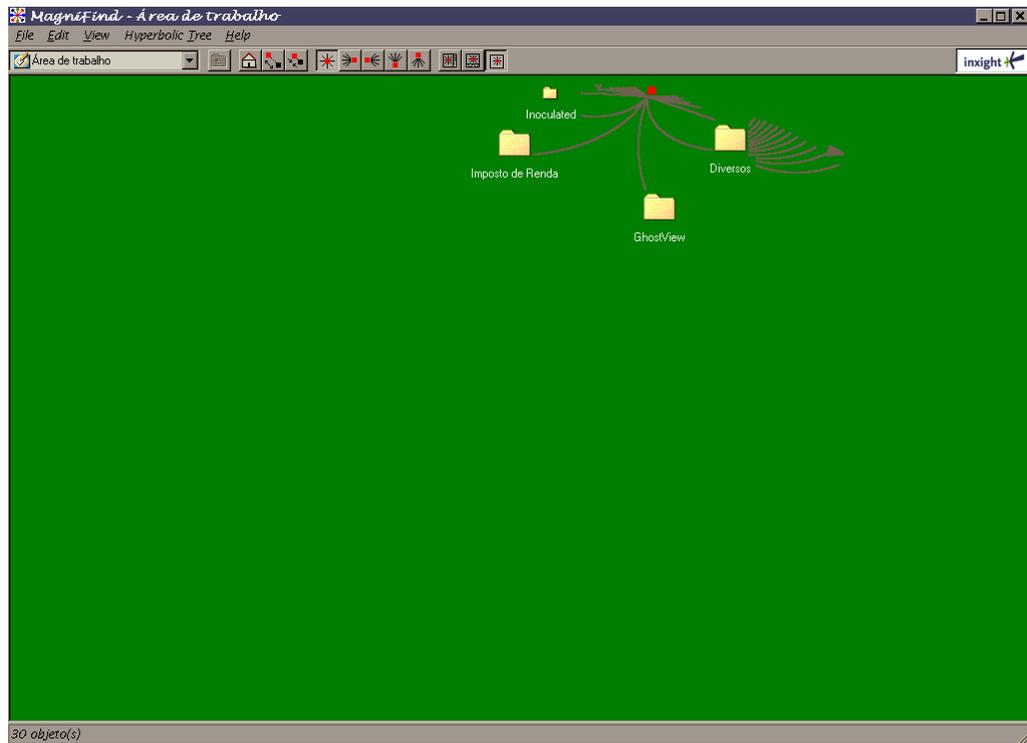


FIGURA 5.9 - *MagniFind* exibindo região com poucos objetos, devido à interação realizada pelo usuário

Oclusão de objetos

A oclusão de elementos ocorre quando existe sobreposição de objetos, geralmente causada pelo volume de dados. A oclusão de objetos pode ser completa ou parcial. A oclusão completa de objetos é indesejável, pois pode esconder informações importantes que poderiam ser úteis para a localização e orientação do usuário no espaço de informação.

Para medir a oclusão de objetos em uma representação visual, é necessário calcular a porcentagem de oclusão [BRA 97]. A técnica *Bifocal Tree*, em algumas situações, possui oclusão de nodos (Figura 5.10). A **porcentagem de oclusão** é igual ao **número de elementos de informação completamente ocultos** dividido pelo **número total de elementos de informação** presentes na representação visual.

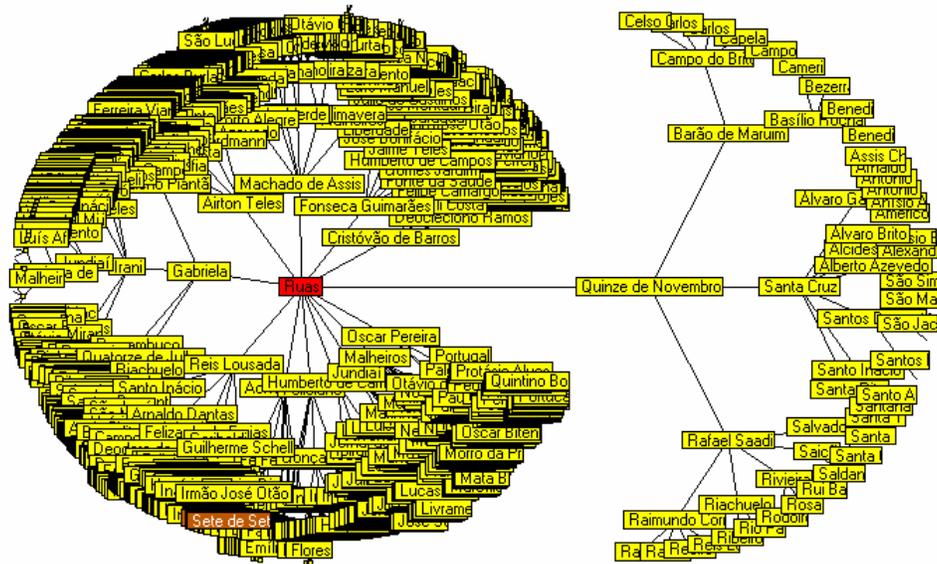


FIGURA 5.10 - Occlusão de nodos na técnica *Bifocal Tree*

Com estas informações é possível quantificar a occlusão de objetos; quanto menor for este valor melhor, menor será a occlusão total de elementos de informação e mais facilmente, provavelmente, o usuário poderá localizá-los.

Orientação espacial

A técnica de visualização deve fornecer uma representação visual clara e precisa, que não permita que o usuário perca além do senso de localização dos objetos a sua própria orientação espacial. Cugini [CUG 2000a], por exemplo, na avaliação das técnicas de visualização do NIRVE, em uma exibição onde os documentos recuperados por uma máquina de busca são mapeados para um globo, notou que muitos usuários ficaram frequentemente desorientados, pois eles poderiam encontrar um agrupamento importante, ir procurar outro agrupamento e, então, ter problemas de re-localização do agrupamento original. Para tentar resolver este problema, foram colocadas marcas alfabéticas junto a linha do Equador do globo, para auxiliar a manutenção do senso de localização absoluta.

Para avaliar o grau de **orientação espacial** garantido pela técnica, dois aspectos devem ser considerados: se a técnica fornece visão de **detalhes** dos elementos e se mantém o **contexto de referência**.

Detalhes

Devido à complexidade e quantidade de informações exibidas em uma representação visual, os usuários necessitam, geralmente, ter acesso a uma determinada informação em detalhes, ou seja, necessitam selecionar um item ou grupo obtendo detalhes dele. Este mecanismo deve levar em consideração o controle do nível de detalhe, ou seja, aumentar a quantidade de detalhes exibidos na visualização quando o usuário se aproxima dos elementos de interesse, e diminuir quando ele se afasta.

Uma forma de obter uma visão detalhada dos objetos é a utilização de uma técnica foco + contexto. Enquanto estão explorando o conjunto de dados, os usuários querem ver detalhes de um item de dado em particular. Isto é normalmente realizado pela seleção sobre um ou mais itens, solicitando ou obtendo automaticamente detalhes exibidos em uma janela auxiliar. A técnica *Perspective Wall* [MAC 91], por outro lado, tem alguma similaridade com a visão *Fisheye* [FUR 81] pois permite que uma área particular da informação seja visualizada em detalhes (foco) enquanto mantém o restante da informação visível com menos detalhes (contexto de referência) indicando a posição do foco no contexto, fornecendo desta forma um grau maior de orientação espacial ao usuário.

É muito importante que as técnicas de visualização de informações hierárquicas permitam que o usuário **controle o nível de detalhes** com que os objetos são exibidos. Um exemplo bastante simples, é a exibição do nome do nodo, na técnica *Bifocal Tree*. O usuário pode visualizar ou não todo o nome dos nodos, aumentando ou diminuindo os retângulos que os representam, através de um controle na interface (Figuras 5.11 e 5.12).

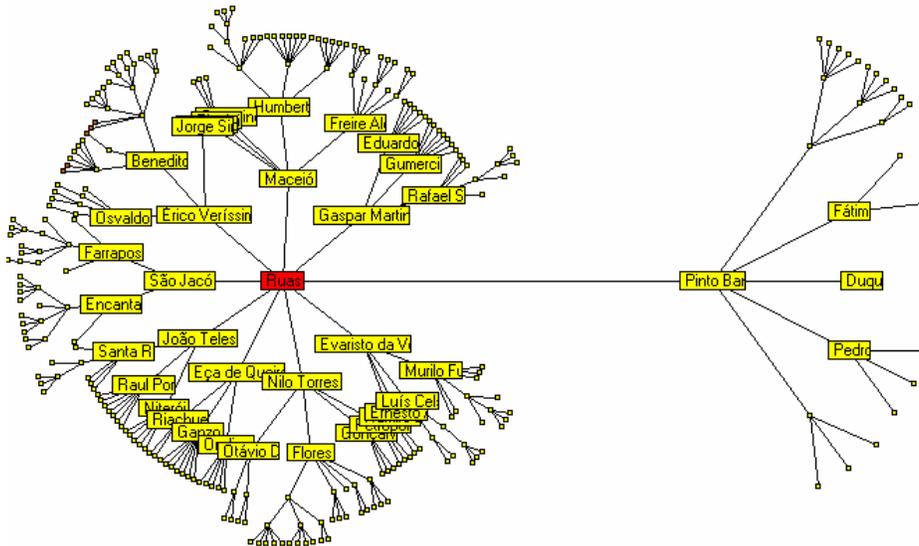


FIGURA 5.11 - *Bifocal Tree* com nível de detalhes reduzido para a exibição de nodos na área de detalhe

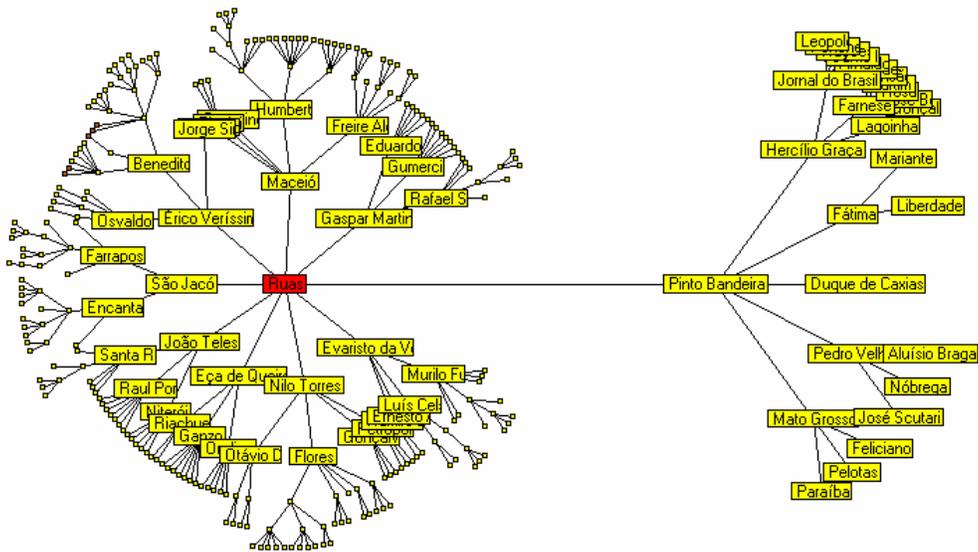


FIGURA 5.12 - *Bifocal Tree* exibindo mais detalhes dos nodos na área de detalhe. Observar que a área de contexto não se altera

Contexto de referência

Conforme já mencionado anteriormente, uma forma de minimizar o problema de desorientação espacial é fornecer um visão global do conjunto de informações através de uma representação visual reduzida ou distorcida de todo conjunto. Isto é, normalmente, obtido com a utilização de uma técnica visão olho de peixe, que permite ao usuário visualizar o objeto da frente (foco) em detalhe e, em baixa resolução, os objetos periféricos (contexto). A vantagem desta técnica é que a relação contextual entre um grande número de objetos é preservada, permitindo ao usuário controle sobre um item próximo. O contexto de referência é mantido através de vários procedimentos de compressão visual e técnicas de distorção.

Para avaliar o contexto de referência exibido deve-se analisar as seguintes características: **legibilidade e visibilidade do contexto de referência, representação da localização do foco e destaque dos elementos de informação já visitados.**

A legibilidade está relacionada às características léxicas das informações representadas visualmente, podendo dificultar ou facilitar a interpretação destas informações (brilho do caracter, contraste letra/fundo, tamanho do fonte, espaçamento entre palavras, espaçamento entre linhas, espaçamento entre parágrafos, comprimento da linha, etc). O desempenho melhora quando a representação das informações considera as características cognitivas e perceptivas dos usuários, ou seja, a legibilidade facilita a compreensão das informações exibidas. Algumas técnicas de visualização não possuem uma visão contextual da hierarquia. Uma das principais características da técnica *Bifocal Tree* é manter, no lado esquerdo, uma visão contextual da hierarquia próxima ao nodo raiz. Em alguns casos, quando uma hierarquia é muito grande e a técnica não poda os objetos que estão muito longe do nodo raiz ou do nodo selecionado, a visão contextual pode se tornar muito pequena, ou seja, as informações podem não ser visíveis ao usuário (Figura 5.13).

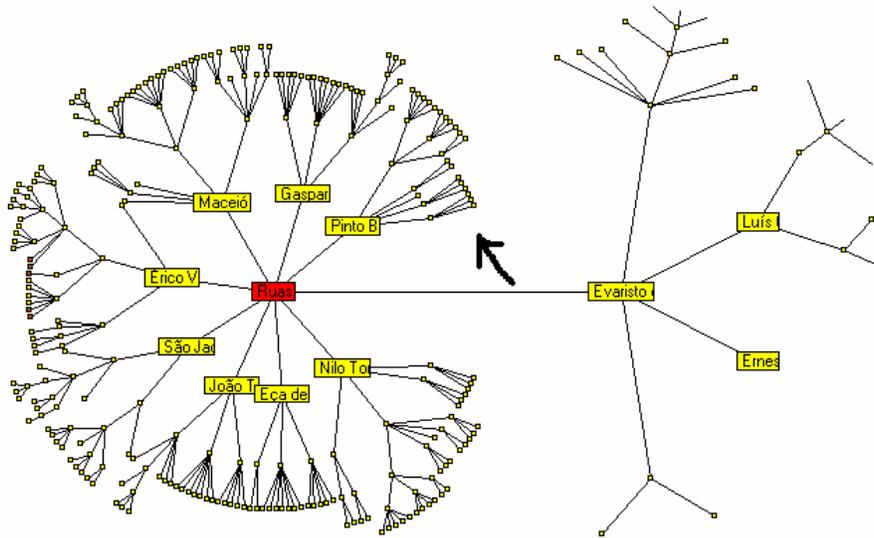


FIGURA 5.13 - Falta de legibilidade nas informações contextuais no *Bifocal Tree*

Uma falha grave na maioria das técnicas de visualização é não **representar a localização do foco atual** no contexto de referência. Esta deficiência pode afetar significativamente a localização dos elementos de informação, pois o usuário poderia orientar-se espacialmente pela representação do objeto focado. A técnica *Bifocal Browser* não possui esta falha, pois o nó selecionado, que está localizado no segundo foco, possui uma ligação (linha) entre o nó selecionado e o seu nó pai que está localizado no primeiro foco (Figura 5.13). Da mesma forma, a técnica *Magnifind* exibe o nó no foco em azul. Na técnica *TreeMaps*, quando o usuário seleciona um elemento de informação, o objeto selecionado e todos os seus descendentes são exibidos integralmente na janela principal, ou seja, os demais elementos desaparecem da exibição, perdendo-se a visão de contexto de referência neste momento.

Como o usuário realiza diversas operações diferentes sobre as representações visuais é muito importante **destacar os elementos de informação já visitados**, facilitando desta forma, a procura de novas informações, pois isto permite que o usuário não perca tempo com informações já focalizadas. A técnica *Bifocal Tree* por exemplo, utiliza a cor vermelha para exibir a sub-árvore visitada no momento anterior (Figura 5.14).

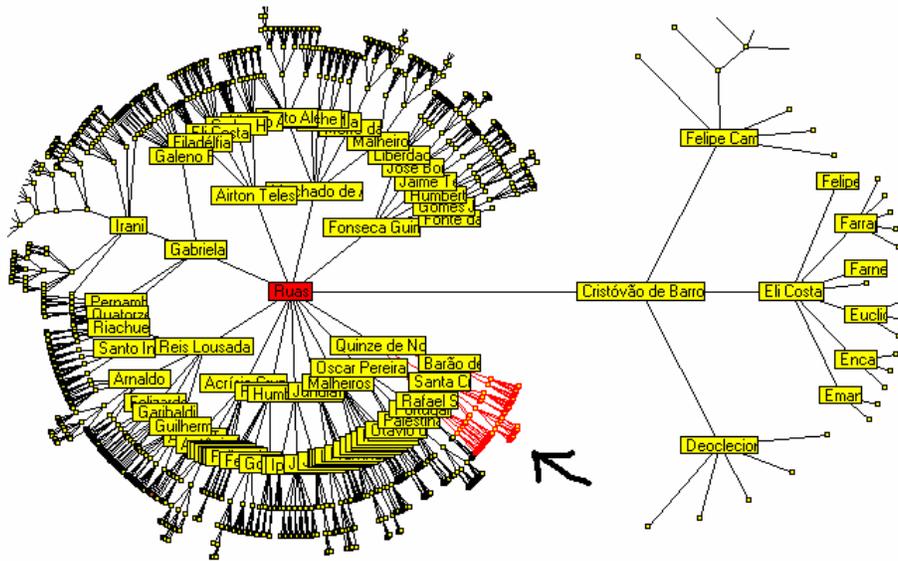


FIGURA 5.14 - *Bifocal Tree* exibindo a sub-árvore visitada no momento anterior

5.1.4 Codificação de atributos

Nas técnicas de visualização de informações, estas são geralmente representadas por objetos geométricos acrescidos de atributos visuais, os quais são codificações dos atributos (dos dados) em análise. Assim, aliada aos problemas de oclusão de objetos, desordem visual e desorientação espacial, a possível complexidade dessas codificações pode dificultar a interpretação das informações por parte do usuário. Desta forma, esta codificação deve ser tal que, ao invés de aumentar a sobrecarga cognitiva, utilize recursos visuais para aumentar a percepção. Isto pode ser feito de duas formas, uma na própria **codificação das informações** em atributos visuais, e outra, pela utilização de **características de realismo**, que auxiliam no aumento da percepção das representações e, por consequência no aumento da compreensão das informações.

Codificação de informações em atributos visuais

Devido aos problemas citados acima, é importante representar objetos, agrupamentos, ligações e relacionamentos através da utilização adequada de elementos geométricos e atributos visuais. Estes atributos visuais podem ser símbolos, rótulos, formas, texturas, os quais auxiliam na clareza, legibilidade, visibilidade e eficiência da representação visual, facilitando desta forma, a compreensão dos usuários. Para avaliar a técnica sob este critério, é necessário analisar as **formas utilizadas para codificar as informações**, verificando sua adequação no sentido de representação inequívoca da informação.

Nas técnicas hierárquicas, por exemplo, é importante representar o caminho percorrido pelo usuário quando este está navegando no espaço de informações. Isto pode ser feito pela codificação com uma cor diferente dos nodos já consultados. Em grandes hierarquias, é importante a poda ou agrupamento de sub-árvores, mas essa informação deve ser preservada na representação. A técnica *Bifocal Tree* utiliza um tipo diferente de

retângulos para representar uma sub-árvore que foi podada (Figura 5.15), além da cor, que representa o tipo de arquivo.

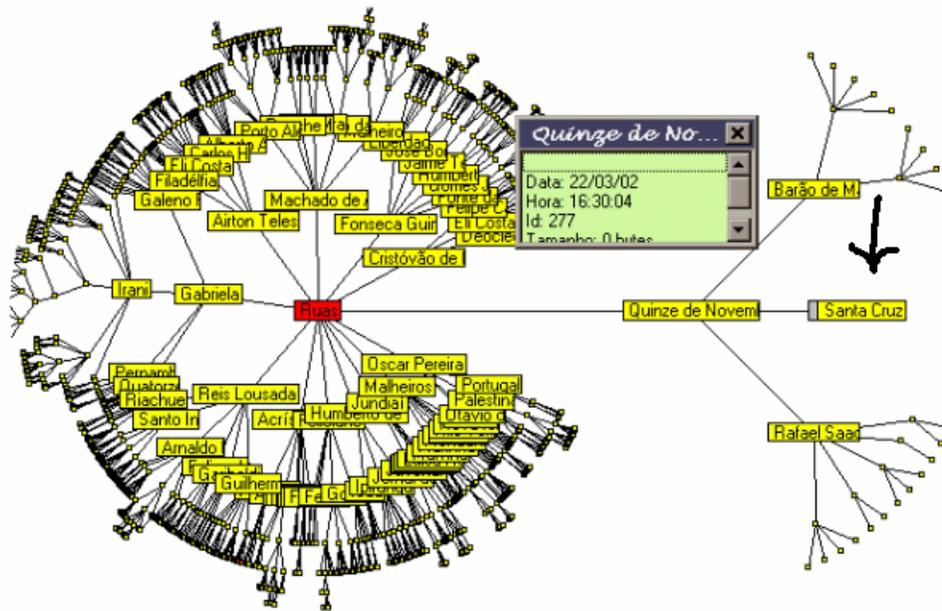


FIGURA 5.15 - *Bifocal Tree* exibindo o nodo “*Santa Cruz*” representando também a sub-árvore podada

Características de realismo

A utilização de características de realismo auxilia a percepção das estruturas pelo usuário, ao diminuir a oclusão de objetos e minimizar a desordem visual. No *Information Cube* [REK 93], por exemplo, as informações são exibidas como cubos translúcidos encaixados um dentro do outro, onde o mais externo representa o nodo raiz da hierarquia. Esta técnica reduz o problema de oclusão de objetos pela variação de seu nível de transparência dos objetos. A *Cone Tree* [ROB 91] utiliza sombra e transparência, para melhorar a percepção dos objetos tridimensionais, pelo usuário (Figura 5.16).

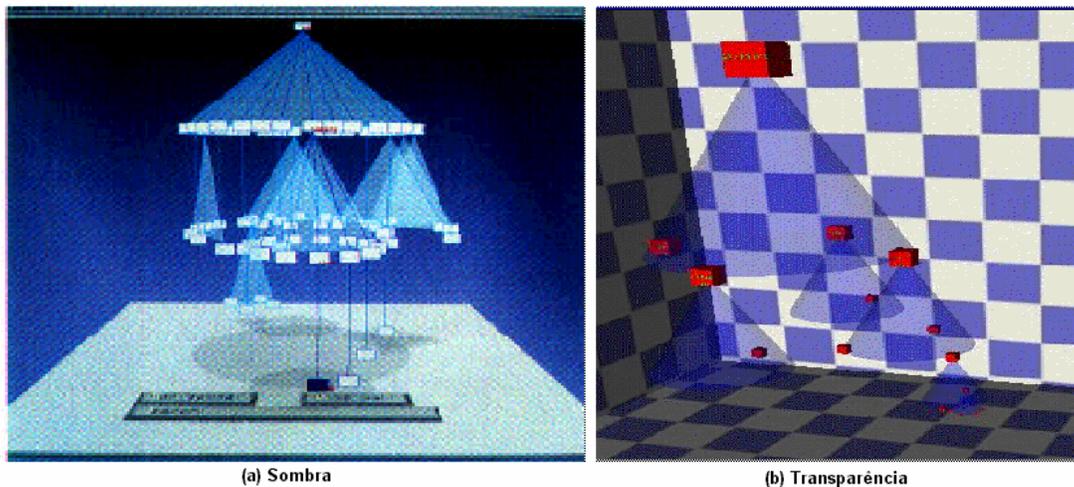


FIGURA 5.16 - Utilização de sombra e transparência na representação visual de cones nas *Cones Tree* (extraída de [ROB 91])

Para verificar se existem características de realismo presentes nas técnicas de visualização de informações hierárquicas deve-se analisar a técnica de visualização quanto à utilização ou não destas características de realismo.

5.1.5 Transição entre estados

A interação do usuário sobre uma representação visual cria uma situação especial que é a transição entre estados, onde podem surgir problemas decorrentes da exibição de uma nova representação visual. A avaliação da **transição entre estados** corresponde à análise do **tempo de resposta** e da manutenção do **senso de orientação** do usuário na nova representação.

Tempo de resposta

O tempo de resposta é quantificado normalmente pelo tempo de geração da representação. Um tempo de resposta elevado na geração da nova representação visual após a interação pode trazer a perda de atenção por parte do usuário e, possivelmente, a perda de orientação. Este problema pode ser minimizado pela adoção de algoritmos de exibição mais rápidos e eficientes.

Senso de orientação

Problemas de desorientação espacial podem ocorrer na transição entre representações visuais, quando o usuário está utilizando algum mecanismo interativo que causa mudança brusca no *layout*. Uma forma de minimizar este problema é utilizar animação entre uma representação visual e a seguinte, pois assim, o usuário pode manter a atenção sobre o objeto que estava sendo focalizado (e a própria orientação). Outra forma de diminuir o efeito da desorientação é a utilização de alguma marcação de forma ou cor, indicando um objeto que sirva de “âncora” para a manutenção (ou recuperação rápida) da atenção.

Desta forma é necessário verificar se existe ou não **mudança brusca no layout**, e se esta causa desorientação espacial e/ou problemas na localização dos objetos que estavam sendo focados. Na técnica *TreeMaps*, por exemplo, quando o usuário seleciona um nodo, ocorre uma mudança brusca e completa na nova representação visual gerada, mantendo apenas o nome do nodo selecionado no topo da representação (Figuras 5.17 e 5.18).

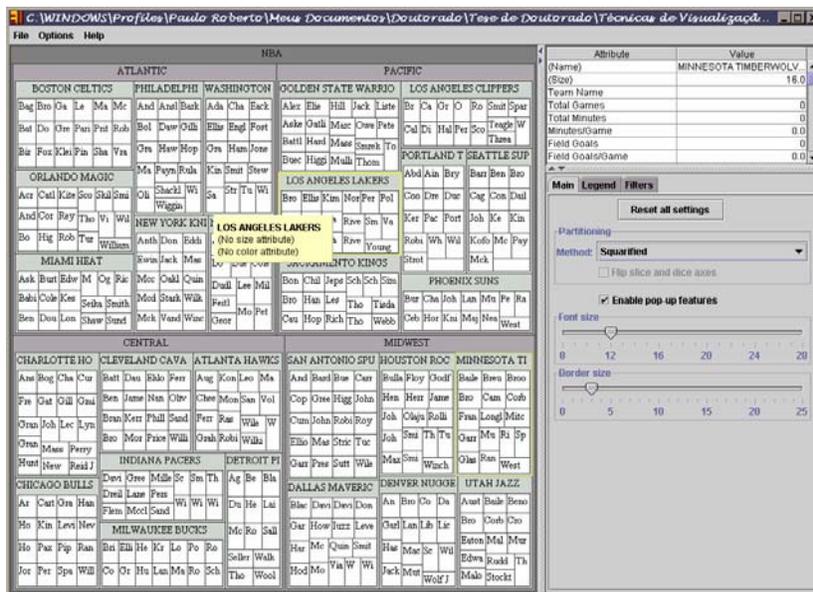


FIGURA 5.17 - TreeMaps exibindo uma hierarquia

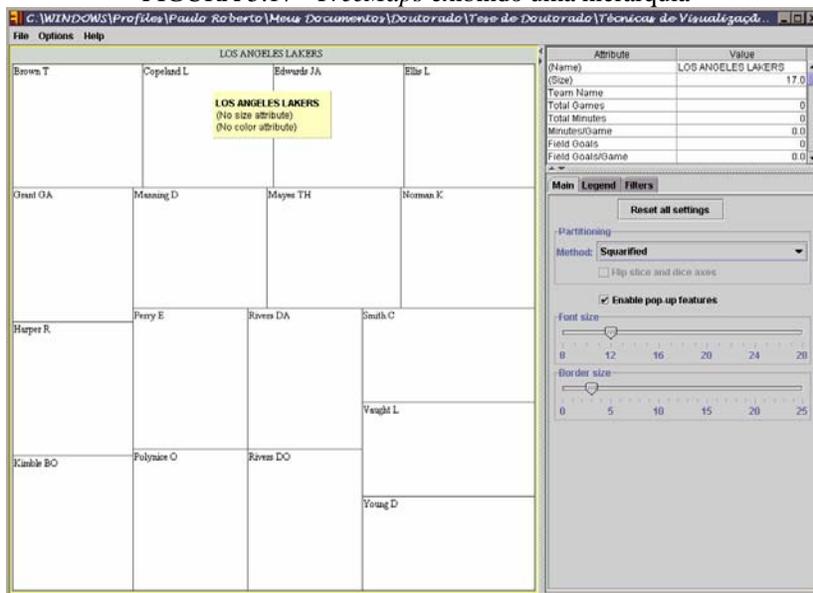


FIGURA 5.18 - TreeMaps exibindo uma visão detalhada do nodo selecionado "Los Angeles Lakers"

Já na técnica *MagniFind*, quando o usuário seleciona um nodo, ocorre uma mudança lenta e animada do layout (Figuras 5.19 e 5.20).

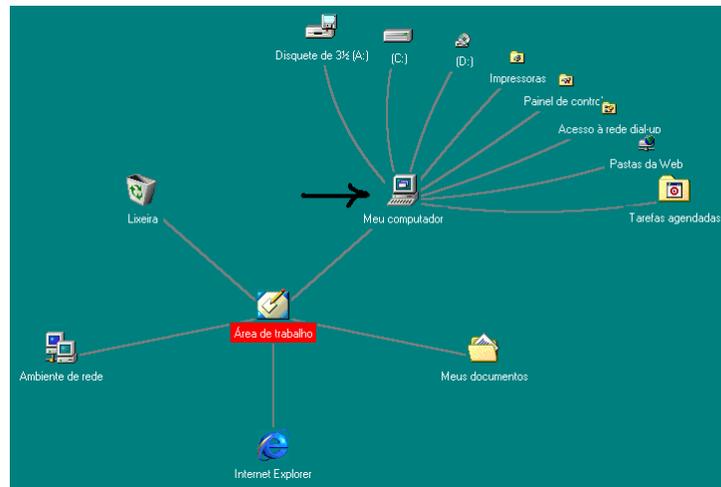


FIGURA 5.19 - *MagniFind* exibindo uma hierarquia

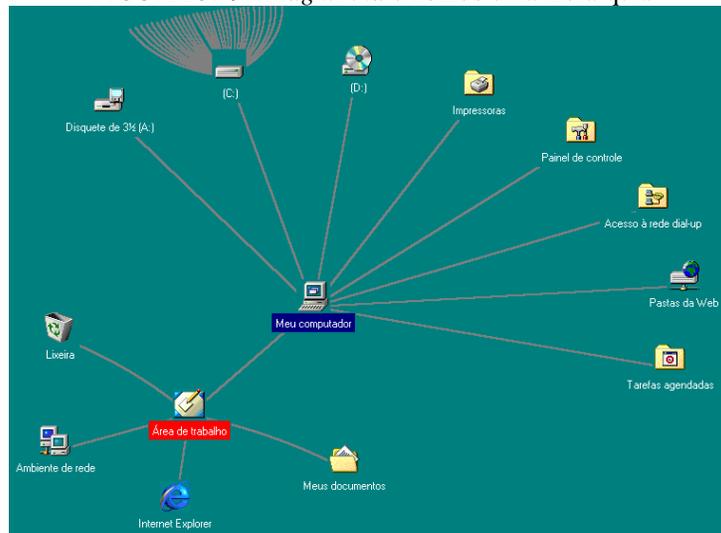


FIGURA 5.20 - *MagniFind* exibindo o nodo selecionado "Meu Computador" no foco. A transição entre uma forma e outra é animada

5.2 Critérios de avaliação para os mecanismos de interação

Como já foi abordado anteriormente, a usabilidade pode ser considerada como a capacidade que uma interface de um sistema interativo qualquer tem de ser operada eficaz, eficiente e agradavelmente pelo usuário.

A usabilidade de uma técnica de visualização depende, então: (a) do provimento de um conjunto de operações para interação com as informações e (b) da implementação adequada e eficiente dessas operações, tanto do ponto de vista de interface gráfica como algorítmica, ou seja, do fornecimento de mecanismos interativos adequados às tarefas dos usuários.

Os testes de usabilidade usualmente empregados para avaliar ferramentas interativas são, em geral, baseados em um modelo de tarefas. A usabilidade de uma ferramenta interativa é dependente de 5 fatores, conforme mencionado por Nielsen [NIE 93]:

capacidade de aprendizado, eficiência de uso, satisfação subjetiva do usuário, erros do usuário e facilidade de **memorização**.

No uso do conceito de usabilidade no presente trabalho, a avaliação dos mecanismos de interação se dá através de 4 critérios: **facilidade de uso** (capacidade de aprendizado, facilidade de memorização), **eficiência de uso, satisfação subjetiva do usuário e erros do usuário**.

Conforme já antecipado no capítulo 2, seção 2.3, os mecanismos interativos freqüentemente providos pelas técnicas de visualização, dependendo do domínio de aplicação, são classificados como operações sobre os dados e operações sobre as representações visuais. A Figura 5.21 sumariza os mecanismos e a próxima seção os detalha, de modo que a proposição dos critérios de avaliação seja feita com referência direta a essas operações.

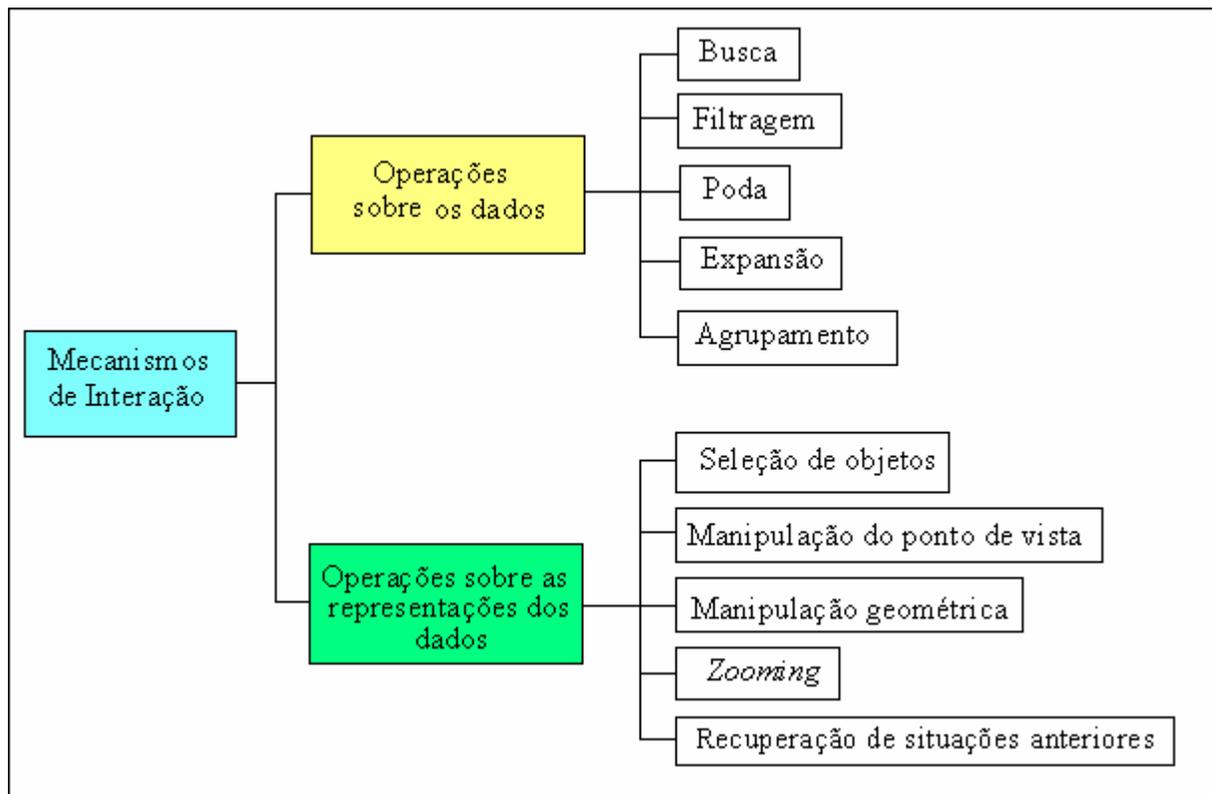


FIGURA 5.21 - Mecanismos de interação identificados nas técnicas de visualização de informações hierárquicas

5.2.1 Descrição dos mecanismos de interação

Operações sobre os dados

Os mecanismos de interação que permitem ao usuário operar diretamente sobre os dados são **busca, filtragem, poda, expansão e agrupamento**, os quais serão detalhados a seguir.

Busca

A visualização é projetada para auxiliar usuários que estão buscando algum tipo de informação. As técnicas de visualização devem fornecer mecanismos rápidos e eficazes que permitam aos usuários encontrar informações através de consultas dinâmicas eficientes. No sistema de visualização *Information Visualizer* [ROB 93], as *Cone Trees* [ROB 91] são utilizadas como um “navegador” em estruturas organizacionais, onde a busca e pesquisa são realizadas no banco de dados sobre pessoas (título ou localização do escritório) e num banco de dados de informações pessoais (Figura 5.22).

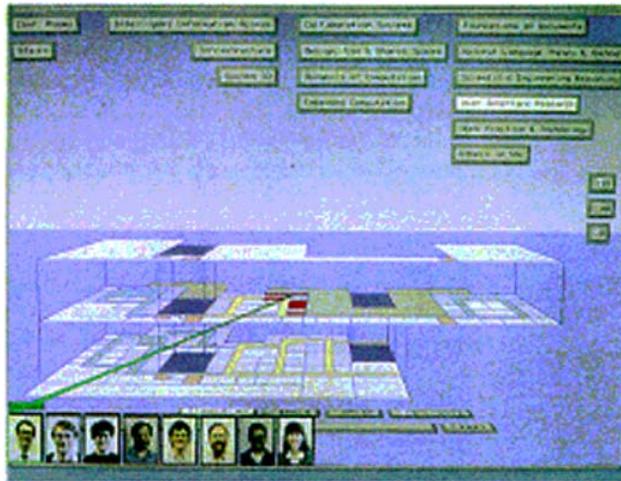


FIGURA 5.22 - *Cone Tree* exibindo a estrutura organizacional de uma empresa

Filtragem

Consiste na identificação e eliminação de itens sem interesse no momento. A filtragem (pela remoção de partes da visualização) necessariamente modifica o contexto global. Frequentemente, os usuários precisam reduzir o tamanho do conjunto de dados pela eliminação de itens baseado em seus atributos. O sistema de visualização *MMVis - Multimedia Visual Information Seeking* [HIB 96], por exemplo, utiliza filtros de buscas dinâmicas onde o usuário ajusta um filtro de consulta, permitindo-lhe especificar incrementalmente e refinar suas consultas, ou seja, reduzir o conjunto de informações na exibição. O sistema de visualização *fsviz* [CAI 95] utiliza consulta dinâmica [AHL 92] como uma técnica de filtragem de informações em árvores, possibilitando que estas sejam podadas ou expandidas baseando-se no valor de alguns atributos dos seus nodos, especificados através de símbolos gráficos (*sliders*), como tamanho de arquivos ou frequência de utilização. Aqueles cujos atributos estiverem fora dos limites são ocultos imediatamente. Dessa forma o usuário pode iniciar visualizando uma grande estrutura e através de uma seqüência de consultas dinâmicas, *zooming* e rotações animadas, rapidamente localizar uma pequena seção, que contém as informações desejadas, dentro da hierarquia. A técnica *TreeMaps* também possui o mecanismo de filtragem por níveis hierárquicos (Figura 5.23).

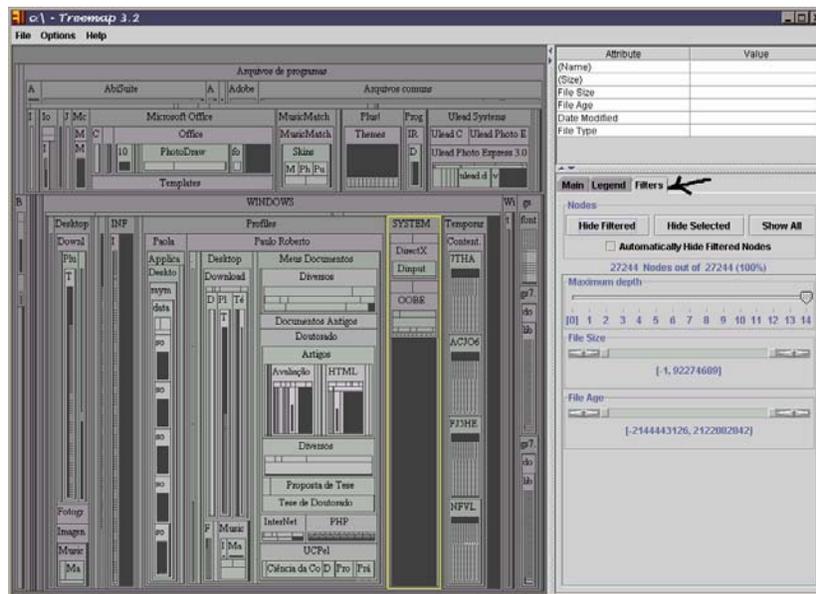


FIGURA 5.23 - Controle de níveis hierárquicos no *TreeMaps*

Poda

Permite reduzir o número de elementos presentes na representação visual através da eliminação de objetos que possuem alguma característica especial. A técnica de visualização *TreeBrowser* [KUM 97] permite podar a árvore exibida dinamicamente. A técnica *MagniFind*, por exemplo, não exibe os nodos distantes do objeto focado (Figura 5.24).

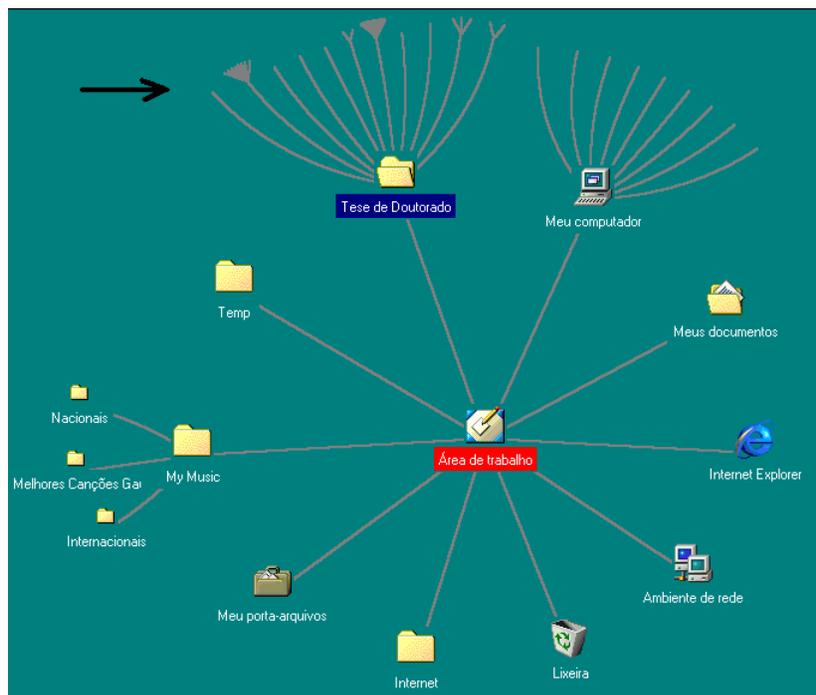


FIGURA 5.24 - *MagniFind* - Poda dos nodos distantes do foco

Agrupamento

É a formação de grupos de objetos, baseada em **estruturas** ou **conteúdo** de modo a formar visões abstratas do espaço de informação, que podem ser ajustados ao pequeno espaço disponível na tela. Permite, em outras palavras, reduzir o número de elementos presentes na visualização. No sistema NIRVE [CUG 2000a], por exemplo, um agrupamento é definido como um conjunto de todos os documentos que tem o mesmo subconjunto de conceitos. Cada agrupamento é representado como uma pequena caixa sobre a face da qual está um diagrama de barras com cores indicando a proporção do perfil do conceito dos documentos naquele lugar. A densidade da caixa é proporcional ao número de documentos incluídos no agrupamento. Há duas espécies de informações relacionais envolvidas: relação direta entre documentos (por exemplo, entre os documentos dentro do agrupamento) e a relação entre documentos agregados (por exemplo, uma rede ou hierarquia de agrupamentos).

A técnica *SpaceTree* [PLA 2002] permite que grandes árvores sejam exploradas dinamicamente. As folhas da árvore que não cabem na tela são agrupadas e representadas por um triângulo. Quando os usuários selecionam um nó, modificando o *layout* da representação, os objetos agrupados são mostrados (Figura 5.25).

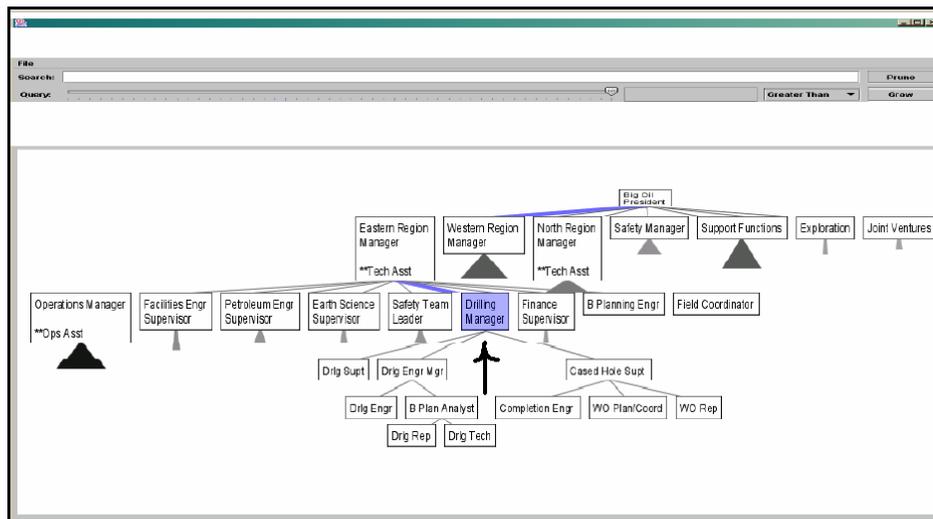


FIGURA 5.25 - *SpaceTree* exibindo um gráfico organizacional. Os três níveis mais baixos da hierarquia foram mostrados quando o usuário selecionou o nó "Drilling Manager" (extraído de [PLA 2003])

Expansão

Em algumas situações, o usuário necessita expandir a estrutura, ou seja, exibir uma quantidade maior de informações, permitindo-lhe interpretar melhor seus dados, pois a representação visual atual pode estar representando um conjunto muito pequeno de dados, decorrente de operações interativas realizadas para redução de objetos. O NIRVE [CUG 2000a], por exemplo, permite aos usuários marcar documentos individuais e agrupar documentos como adequados, inadequados ou incertos. O usuário pode expandir ou comprimir sub-árvores dentro de uma hierarquia. A técnica *TreeMaps* possui duas funções

que permitem a expansão de um nível de cada vez ou um nodo em particular [TUR 92]. Já a técnica de visualização *Cone Tree* [ROB 91] oferece um conjunto de operações que permitem a visualização ou ocultação de trechos da hierarquia através dos mecanismos de expansão e poda, reestruturação dinâmica da árvore e a procura por nodos que contenham uma informação desejada.

A expansão pode se dar através da **expansão de sub-árvores**, **expansão de agrupamento** e **expansão por níveis**.

A Figuras 5.26 e 5.27 mostram como a técnica *Bifocal Tree* [CAV 2002] expande um nodo agrupado anteriormente.

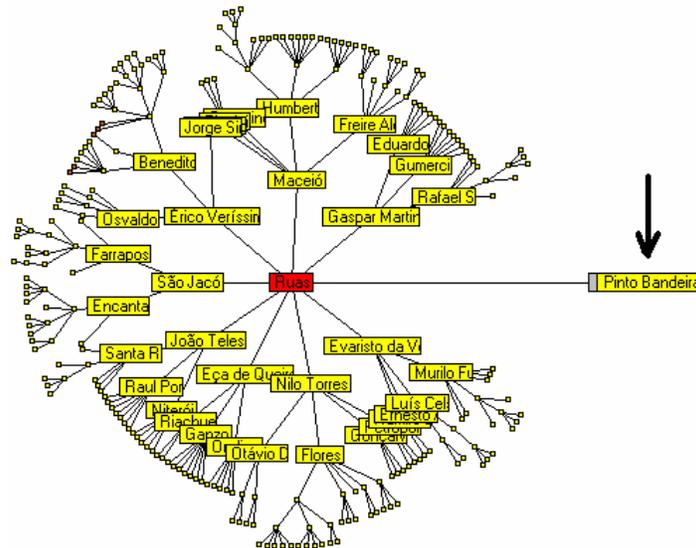


FIGURA 5.26 - *Bifocal Tree* exibindo um nodo agrupado “Pinto Bandeira”

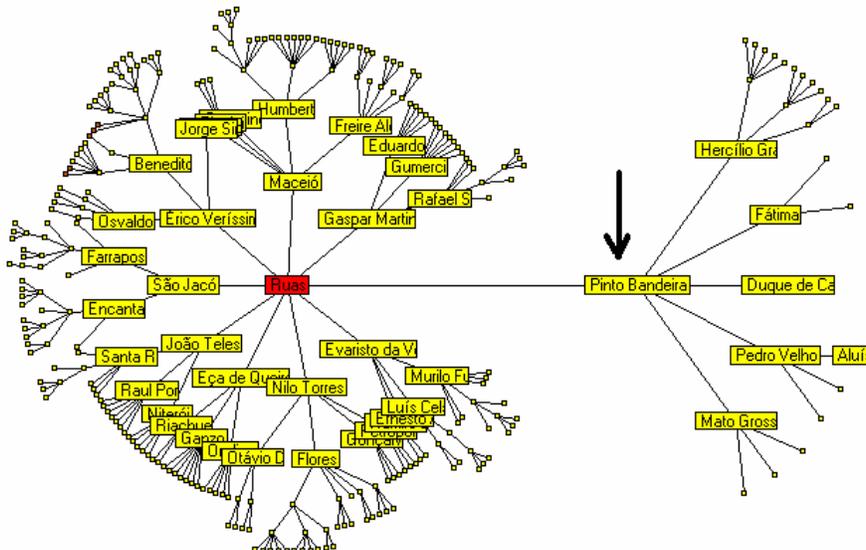


FIGURA 5.27 - *Bifocal Tree* expandiu nodo “Pinto Bandeira”

Outro mecanismo interativo necessário para as técnicas que operam com agrupamentos é permitir que o usuário **expand**a um agrupamento para que o usuário possa encontrar um elemento de informação desejado. A técnica de visualização de informações hierárquicas *fsviz* [CAI 95] utiliza mecanismos que permitem ao usuário consultar dados dinamicamente (consulta dinâmica [AHL 92]). Nesta técnica, a redução da desordem visual e o aumento da eficiência do processo de visualização, é feita através da redução do número de nodos efetivamente exibidos. Para tanto, a escolha dos nodos a ocultar é feita em função da distância que eles estão daquele que contém o ponto de interesse do usuário. Os que estiverem localizados além de uma determinada distância, que pode ser alterada conforme a necessidade, são incluídos em uma única representação gráfica (neste caso um tetraedro), isto é, todos os nodos que estão localizados hierarquicamente abaixo do nodo em questão são substituídos por um único tetraedro (Figura 5.28).

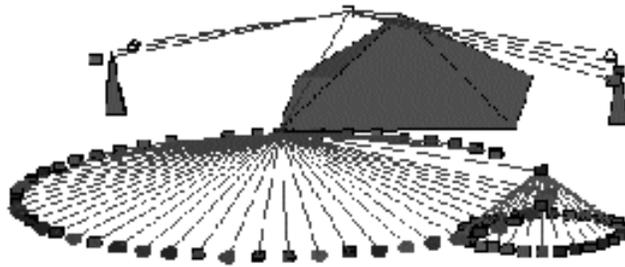


FIGURA 5.28 - *fsviz*: Representação visual exibindo um agrupamento de nodos (extraída de [CAI 95])

Outra forma interessante de controlar o número de elementos de informação exibidos é fornecer ao usuário um mecanismo interativo que permite aumentar a quantidade de objetos pelo controle do número de níveis exibidos, ou seja, **expansão por níveis**. A técnica *TreeMaps*, por exemplo, permite que o usuário controle a quantidade de níveis. A primeira representação visual gerada pela técnica exibe todos os níveis da hierarquia, mostrando todos os elementos de informação. A técnica possui um *slider* específico para mostrar o número de níveis exibidos, permitindo ainda, que o usuário ajuste a quantidade de níveis exibidos na representação visual (Figura 5.29). Assim, um mecanismo de filtragem é utilizado para expansão.

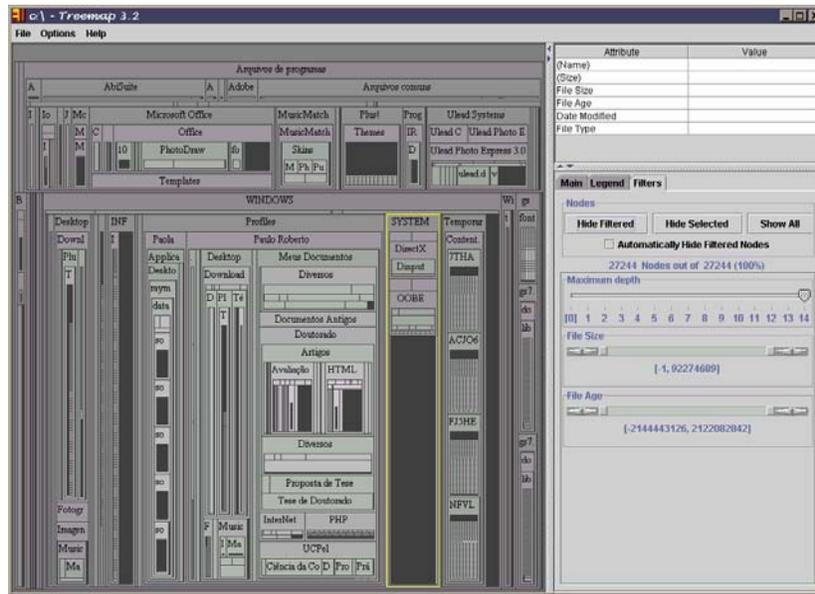


FIGURA 5.29 - TreeMaps exibindo 14 níveis hierárquicos

Operações sobre as representações dos dados

Os mecanismos de interação que permitem ao usuário operar diretamente sobre a representação dos dados são **seleção de objetos**, **manipulação do ponto de vista**, **manipulação geométrica**, **zooming** e **recuperação de situações anteriores**.

Seleção de objetos

Selecionar um elemento na representação visual nem sempre é uma tarefa simples, pois em algumas situações, os objetos podem estar ocultos, o usuário pode querer selecionar apenas uma parte do objeto ou a forma de apontamento pode não ser adequada para a situação. O mecanismo de seleção do ponto de interesse do usuário deve oferecer recursos que minimizem a desorientação que possa ser provocada em função de uma mudança brusca do *layout*.

No *Hyperbolic Tree* [LAM 95], por exemplo, a cor é utilizada para identificar o que os nodos representam. A seleção de um nodo, através do *mouse*, faz com que ele seja transladado para o centro do *layout*, através de uma transição animada. A esse deslocamento está associado um componente de rotação que faz com que, ao ser alcançada a origem, os nodos ancestrais estejam localizados à esquerda e os descendentes à direita. Essa disposição horizontal tem como objetivo orientar o usuário e minimizar a oclusão de objetos. Quando a seleção é efetuada sobre uma linha, o ponto é transladado para o centro do círculo, mas neste caso nenhuma rotação ou seleção ocorre. O *Information Cube* [REK 93] possui um mecanismo de interação que permite ao usuário, com o uso de uma luva, selecionar e manipular um determinado elemento diretamente sobre a representação visual tridimensional. Para facilitar o acesso direto aos objetos, pode-se utilizar variações de cor, forma, tamanho e outros atributos para dirigir a atenção do usuário para uma parte específica de seu interesse, como por exemplo, objetos principais, agrupamentos e relações.

O RIM (*Result Interface Manager*) do NIRVE [CUG 2000a] permite aos usuários manipular diretamente a estrutura e a apresentação do conjunto de documentos resultante.

A seleção de objetos pode ser dividida em duas classes: **seleção de um elemento de informação diretamente sobre a representação visual** e **destaque do elemento de informação selecionado**.

Quase todas as técnicas de visualização de informações hierárquicas permitem apontar e **selecionar um elemento de informação diretamente sobre uma representação visual** (Figura 5.30). Esta característica é útil pois facilita a navegação, simplificando a forma que o usuário manipula os elementos de informação .

Uma outra característica importante na seleção de objetos é **destacar o elemento de informação dos demais objetos**, auxiliando o usuário a identificar se o objeto selecionado é o objeto de interesse. Na técnica *Bifocal Tree*, por exemplo, o elemento de informação selecionado torna-se o segundo foco (Figura 5.31).

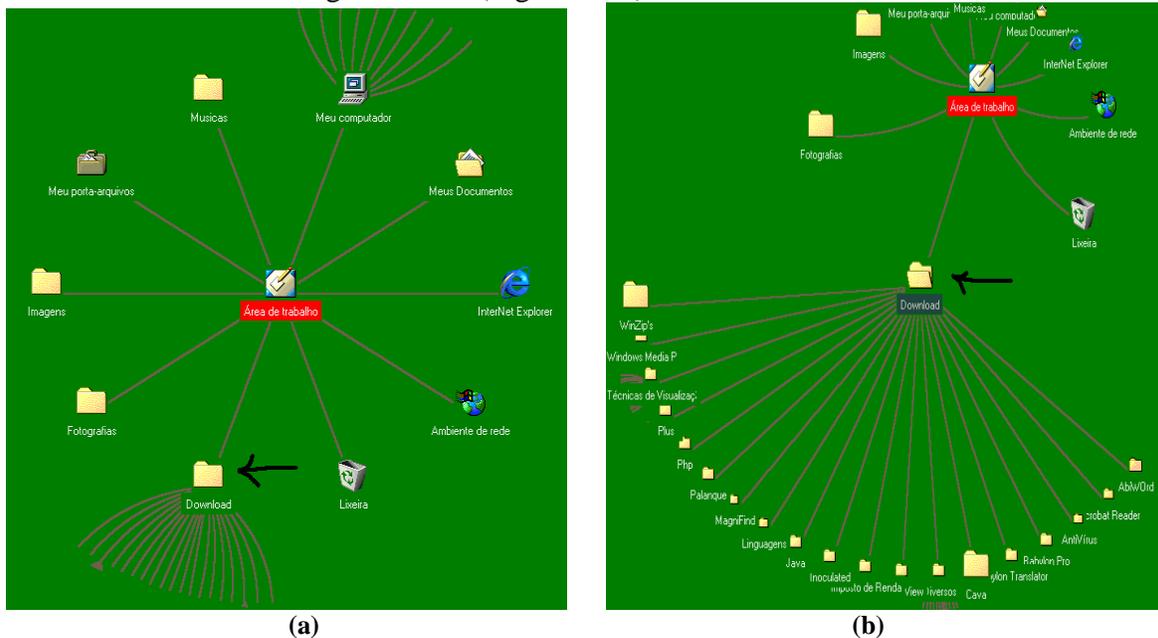


FIGURA 5.30 - Seleção de um nodo no *MagniFind*: (a) situação original; (b) nodo “Download” selecionado

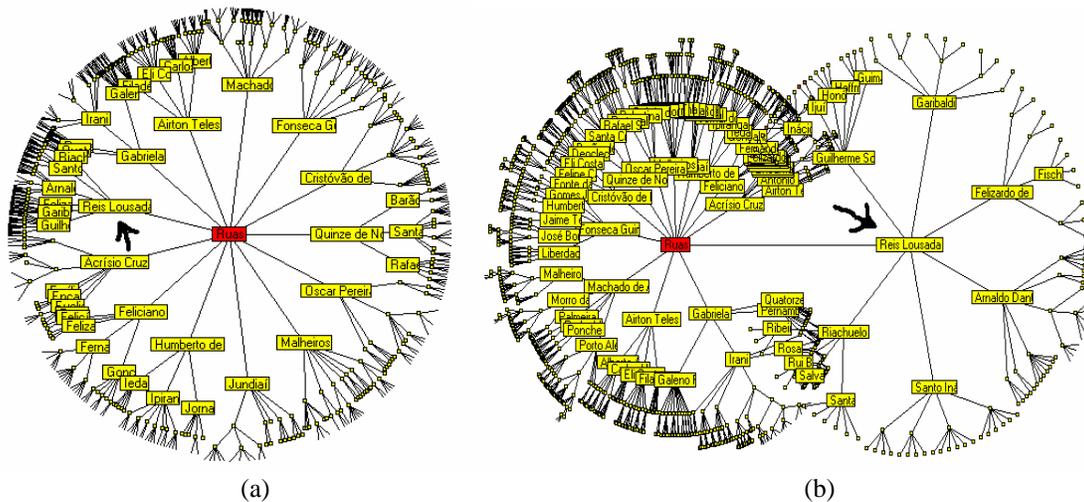


FIGURA 5.31 - Seleção de um nodo no *Bifocal Tree*: (a) situação original; (b) nodo selecionado

Manipulação do ponto de vista

As técnicas de visualização necessitam permitir a movimentação do usuário no espaço de informação. No caso de representações bidimensionais, o usuário pode alterar a região (ou sub-árvore, no caso de hierarquias) que está sendo mapeada para a área de exibição. No caso de representações tridimensionais, a técnica de visualização deve fornecer operações de câmera e de navegação, permitindo desta forma, que o usuário manipule o ponto de visão. As técnicas de visualização *Cone Tree* [ROB 91], *TreeMaps* [SHN 92], *Reconfigurable Disk Tree (RDT)* [JEO 98], *Perspective Wall* [MAC 91], *Webbook* [CAR 96b] e *Cam Tree* [ROB 93], dentre outras, possuem este mecanismo de navegação, auxiliando na escolha de uma visão mais adequada do conjunto de informações que está sendo exibido na tela.

Manipulação geométrica

As técnicas de visualização devem fornecer ao usuário alguns mecanismos para rotação, translação, movimentação e mudança de escala. Estas operações permitem ao usuário interagir com os objetos visuais presentes na representação de forma alternativa à movimentação do usuário.

Cugini [CUG 2000a], por exemplo, utiliza uma *spaceball* (como dispositivo de entrada de seis dimensões) para mover e rotacionar um globo contendo um conjunto de documentos recuperados por uma máquina de busca. Já no *Information Cube* [REK 93], a representação visual resultante pode ser exibida de forma tridimensional, seguindo o movimento da cabeça do usuário. O periférico de entrada permite, através de uma luva, um modelo em que a mão do usuário é exibida dentro da visualização, fornecendo disposição para pegar, rotacionar e apontar. A *Cam Tree* [ROB 93] inclui um mecanismo interativo de rotação da árvore quando um nodo ou folha são selecionados com o *mouse*, exibindo o caminho do nodo selecionado mais próximo do usuário, realçando desta forma, os nodos daquele caminho. A técnica *Information Cube* [REK 93] permite que o usuário realize operações geométricas tridimensionais, tais como apontar, selecionar, rotacionar objetos

(Figura 5.32). Já a técnica *MagniFind* permite que o usuário arraste toda a estrutura para uma nova posição, utilizando o *mouse*.

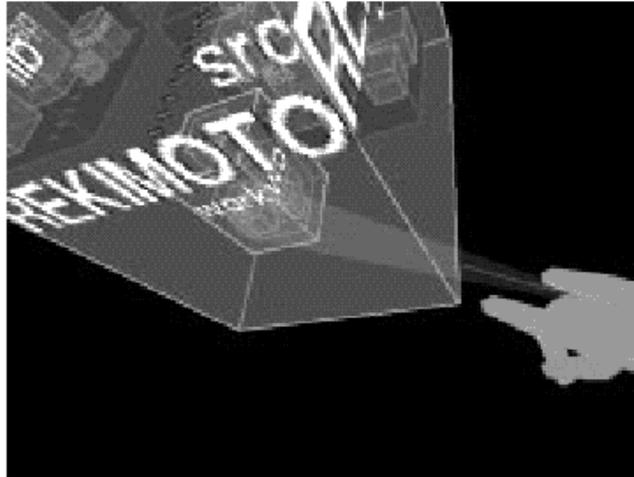


FIGURA 5.32 - *Information Cube*: usuário seleciona um objeto com uma luva (extraída de [REK 93])

Zooming

O usuário, normalmente, necessita uma visão detalhada de alguns objetos, da mesma forma que precisa ter uma visão geral do restante das informações (contexto global). Desta forma, é necessário que as técnicas de visualização permitam ao usuário visualizar mais ou menos detalhes dos elementos de informação na representação visual, ou seja, focalizar um elemento à medida que se aproxima obtendo mais informações a respeito dele.

Quando uma operação de *zooming* é realizada, é importante que o contexto global possa ser mantido para que o usuário não perca o senso de orientação e localização. Outros exemplos de controle do nível de detalhes são a regulagem da saturação, cor, nitidez e outras características de uma *Magic Lens* [BIE 93] ou o controle do nível de apresentação de sub-níveis de uma árvore representada por uma técnica hierarquia como *Cone Tree* [ROB 91] e *Hyperbolic Tree* [LAM 95].

Em suma, as principais características do mecanismo de *zooming* são **visão detalhada dos elementos de informação focados, visão contextual do restante dos elementos de informação** e o **controle do nível de detalhes**.

A técnica *Bifocal Tree* possui dois focos: um na área de detalhe, que exhibe a informação selecionada pelo usuário e outro, na área de contexto, que exhibe o restante dos objetos (Figura 5.33), enquanto o *MagniFind* (Figura 5.34) reorganiza o *layout*, trazendo o objeto selecionado para o foco (centro da janela principal) e os demais dos objetos são colocados próximos às bordas. Uma forma interessante de controle do nível de detalhes é fornecido pela técnica *MagniFind*, onde o usuário pode selecionar um elemento de informação e arrastá-lo para uma posição mais apropriada, ou seja, colocando os elementos

de informação mais relacionados ao nodo em foco mais próximo do observador (Figura 5.34).

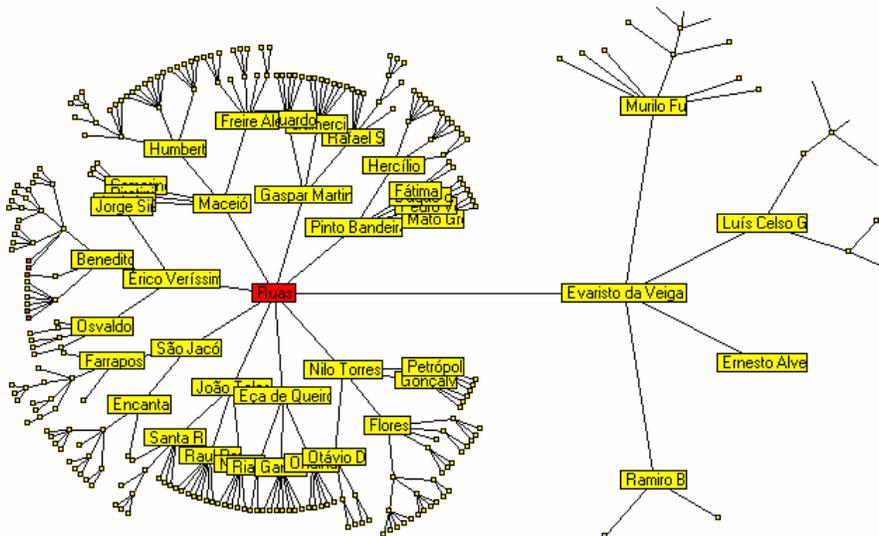


FIGURA 5.33 - Bifocal Tree exibindo um segundo foco

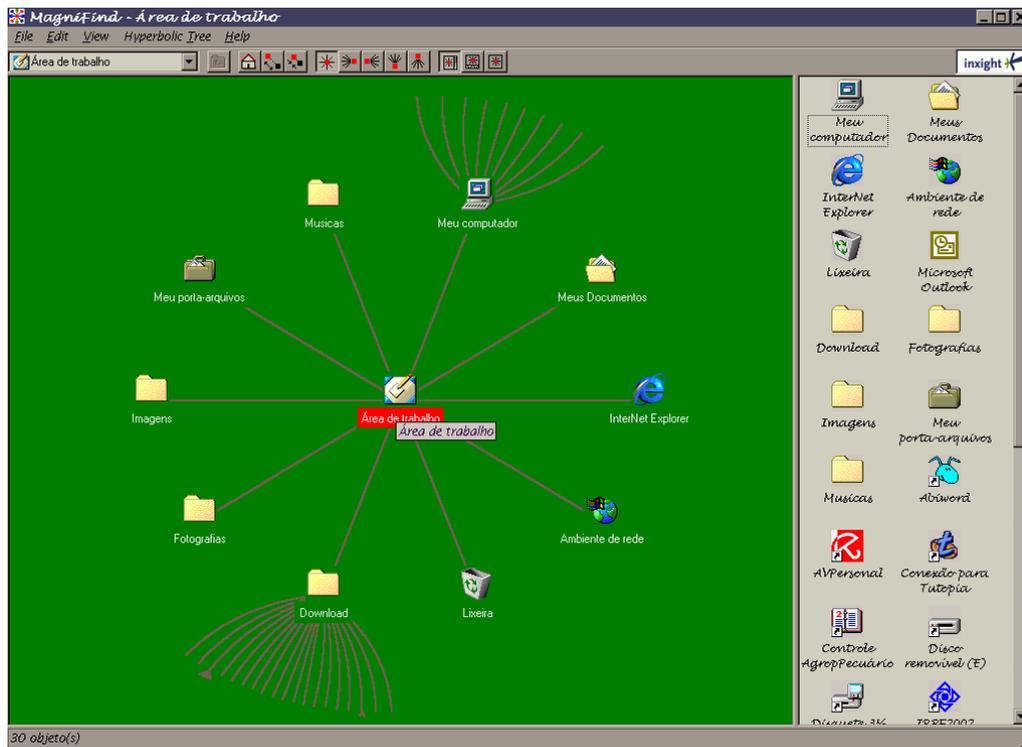


FIGURA 5.34 - MagniFind exibindo a visão contextual do conjunto de informações

Recuperação de situações anteriores

Em muitas situações, quando o usuário está procurando extrair informações relevantes de uma representação visual, ele pode obter alguma situação inesperada. A técnica de visualização deve possuir algum mecanismo que permita ao usuário recuperar-se

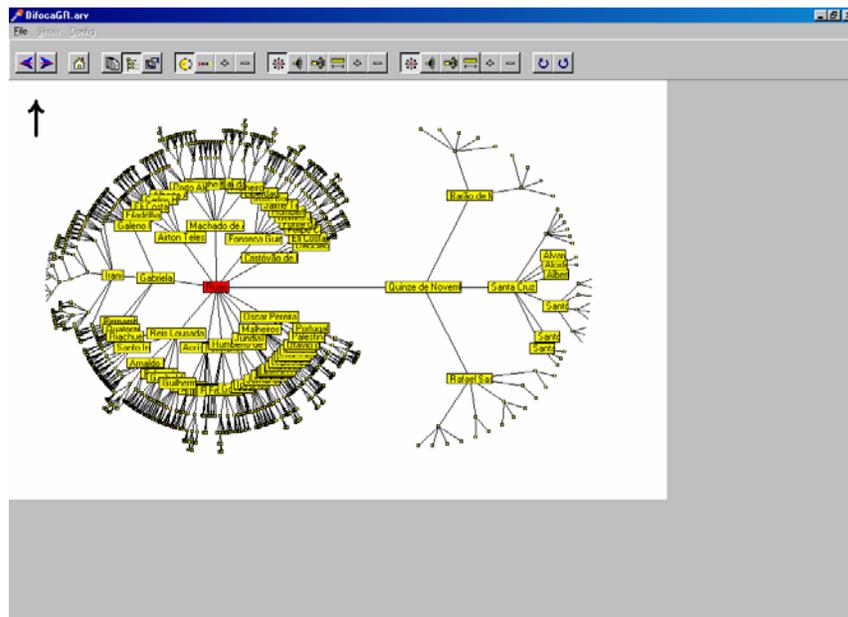


FIGURA 5.36 - “Back” e “forward” no Bifocal Tree

5.3 Enquadramento dos critérios propostos no contexto geral de avaliações de interfaces gráficas

Na seção anterior, observa-se que os critérios específicos para avaliar os mecanismos de interação são adaptações dos quesitos clássicos de usabilidade de Nielsen. Sabe-se, entretanto, que a usabilidade de uma ferramenta, no seu sentido mais amplo, é altamente determinada pela forma como os resultados de ações do usuário são apresentados, e essa foi a motivação para explicitar com maior profundidade aspectos a serem analisados na representação visual. Por outro lado, o conjunto de critérios ergonômicos de Bastien e Scapin também trata, no nosso entender, alguns desses aspectos. Os critérios estabelecidos no presente trabalho podem ser interpretados como uma extensão desse conjunto no sentido de que o particulariza para aspectos específicos de técnicas de visualização de informações.

A Figura 5.37 exibe a relação entre os critérios ergonômicos propostos por Bastien e Scapin [BAS 93] e os critérios de avaliação aqui definidos. Esta relação é discutida detalhadamente a seguir.

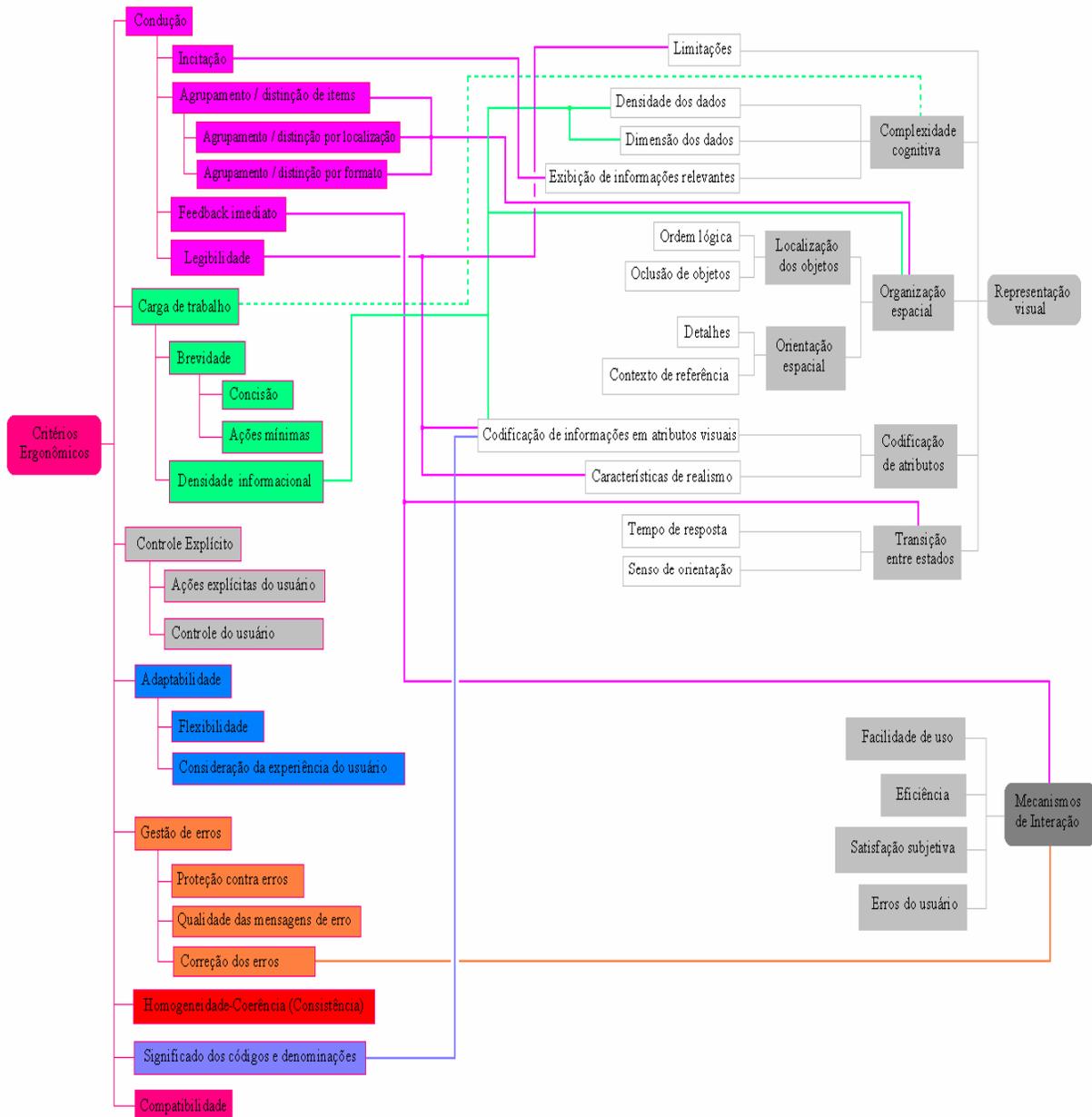


FIGURA 5.37 - Relação dos critérios de avaliação propostos (à direita) com os critérios ergonômicos (à esquerda) [BAS 93].

Condução

Observando os critérios ergonômicos, brevemente descritos na seção 3.1 (Figura 3.2), podemos estabelecer que, para Bastien e Scapin [BAS 93], o critério ergonômico condução diz respeito aos meios disponíveis para orientar, informar e conduzir o usuário na interação com o computador através da utilização de mensagens, alertas, dicas e rótulos. O critério condução subdivide-se em quatro sub-critérios: **incitação**, **agrupamento / distinção de itens**, **feedback imediato** e **legibilidade**.

O critério **incitação** (presteza) engloba: (a) os meios utilizados para direcionar o usuário a realizar determinadas ações; (b) os mecanismos que permitem ao usuário conhecer as alternativas, em termos de ações, conforme o estado ou contexto nos quais ele se encontra; (c) as informações que o permitem identificar o estado ou contexto no qual ele se encontra e (d) as ferramentas de ajuda e seu modo de acesso. Em nosso trabalho, este critério ergonômico corresponde, em parte, ao critério de avaliação **exibição de informações relevantes**, pois este está relacionado à existência de representações de informações relevantes que auxiliem o usuário a realizar as ações citadas acima.

O critério **agrupamento/distinção de itens** divide-se em dois sub-critérios: (a) **agrupamento / distinção por localização** e (b) **agrupamento / distinção por formato**, que dizem respeito à organização visual de elementos da interface relacionados uns com os outros de alguma maneira. Este critério leva em conta a topologia (localização) e algumas características gráficas (formato) para indicar as relações entre os vários itens mostrados, se eles pertencem ou não a uma dada classe, ou ainda para indicar diferenças entre classes. Em nosso trabalho, os critérios correspondentes são: (a) **localização de objetos** (*ordem lógica e oclusão de objetos*); (b) **organização espacial** (*detalhes e contexto de referência*), pois estes determinam a verificação da satisfatoriedade da organização/localização dos itens de informação na representação visual e (c) os critérios facilidade de uso e eficiência que permitem avaliar o mecanismo de interação de **agrupamento**.

Já o critério ergonômico **feedback imediato** está relacionado às respostas do sistema às ações do usuário. Em todos os casos, as respostas do sistema devem ser fornecidas rapidamente. No presente trabalho, um critério de avaliação verifica estes aspectos: **transição entre estados** (*tempo de resposta e senso de orientação*), que se refere às respostas do sistema quando o usuário interage sobre uma representação visual. Ou seja, determina a avaliação do tempo de geração das novas representações depois de uma ação, se houve ou não mudança brusca de *layout* e o quanto esta mudança afeta o usuário. Os critérios de avaliação facilidade de uso e eficiência também estão relacionados ao *feedback* imediato.

O critério ergonômico **legibilidade** preocupa-se com as características léxicas das informações apresentadas na tela que possam dificultar ou facilitar a leitura desta informação (brilho, contraste, tamanho da fonte, espaçamento). Os critérios de avaliação (a) **limitações**, (b) **codificação de informações em atributos visuais** e (c) **características de realismo** cobrem o critério ergonômico legibilidade no contexto de visualização de informações. Se a técnica de visualização de informações não fornecer nenhum mecanismo que limite a quantidade de informações exibida, certamente a legibilidade será afetada. Quanto ao critério codificação de informações em atributos visuais, é importante representar objetos, agrupamentos, ligações e relacionamentos através da utilização de atributos visuais. Estes atributos podem ser ícones, glifos, símbolos, rótulos, formas, texturas. Esta codificação permite representar alguns objetos agrupados. As características de realismo influenciam diretamente a legibilidade das informações e, assim, facilitam a compreensão dos dados pelo usuário.

Carga de trabalho

O critério ergonômico **carga de trabalho** possui dois sub-critérios: (a) **brevidade** (concisão e ações mínimas) e (b) **densidade informacional** (diz respeito a todos elementos da interface que têm um papel importante na redução da carga cognitiva e perceptiva do usuário, e ainda, no aumento da eficiência do diálogo). Este critério ergonômico é equivalente, em nosso trabalho, ao critério **complexidade cognitiva**, que se subdivide em três sub-critérios: **densidade dos dados**, **dimensão dos dados** e **exibição de informações relevantes**.

O sub-critério **brevidade** diz respeito à carga de trabalho perceptiva e cognitiva quanto aos conjuntos de ações necessárias para se alcançar uma meta. Brevidade corresponde ao objetivo de limitar a carga de trabalho de leitura e entradas e o número de passos. Está subdividido em dois sub-critérios: (a) **concisão** (preocupa-se com a carga perceptiva e cognitiva de saídas e entradas individuais, não diz respeito às mensagens de erro e de *feedback*) e (b) **ações mínimas** (diz respeito à carga de trabalho em relação ao número de ações necessárias à realização de uma tarefa). Estes critérios são correspondentes aos critérios **facilidade de uso** e **eficiência** para os mecanismos interativos.

O sub-critério **densidade informacional** diz respeito à carga de trabalho do usuário de um ponto de vista perceptivo e cognitivo, com relação ao conjunto total de itens de informação apresentados aos usuários, e não a cada elemento ou item individual. Este critério é correspondente aos nossos (a) **densidade dos dados**; (b) **codificação de informações em atributos visuais** e (c) **organização espacial**, pois a sobrecarga de elementos de informação em uma parte específica da representação visual pode causar uma sobrecarga cognitiva e/ou desordem visual. Os três critérios de avaliação determinam a necessidade da verificação da sobrecarga de informações no sistema cognitivo humano.

Controle explícito

O critério ergonômico **controle explícito** diz respeito ao processamento explícito pelo sistema das ações do usuário e do controle que os usuários tem sobre o processamento de suas ações pelo sistema. Este critério divide-se em dois sub-critérios: (a) **ações explícitas do usuário**, referente às relações entre o processamento do computador e as ações do usuário, ou seja, o computador deve processar somente aquelas ações solicitadas pelo usuário e somente quando for solicitado, e (b) **controle do usuário**, que se refere ao fato de que os usuários deveriam estar sempre no controle do processamento do sistema. Este critério não está explicitamente incluído no conjunto aqui definido. Entretanto, os critérios gerais facilidade de uso e eficiência dirigidos à avaliação dos mecanismos de interação avaliam, ainda que indiretamente, este quesito.

Adaptabilidade

O critério ergonômico **adaptabilidade** [BAS 93] de um sistema diz respeito à sua capacidade de reagir conforme o contexto, e conforme as necessidades e preferências do usuário. Este critério divide-se em dois sub-critérios: (a) **flexibilidade** (refere-se aos mecanismos colocados à disposição do usuário que lhe permite personalizar a interface a fim de levar em conta as exigências da tarefa, de suas estratégias ou seus hábitos de trabalho) e (b) **consideração da experiência do usuário** (diz respeito aos meios implementados que permitem que o sistema respeite o nível de experiência do usuário). Tanto a **flexibilidade** como a **consideração da experiência do usuário** são características de implementação da interface da técnica de visualização de informações, e não são incluídos explicitamente nos critérios definidos neste trabalho.

Gestão de erros

O critério ergonômico **gestão de erros** leva em consideração todos os mecanismos que permitem evitar ou reduzir a ocorrência de erros. Este critério subdivide-se em três sub-critérios: (a) **proteção contra os erros**, que diz respeito aos mecanismos empregados para detectar e prevenir os erros de entradas de dados, comandos, possíveis ações de conseqüências desastrosas e/ou não-recuperáveis; (b) **qualidade das mensagens de erro**, que se refere à pertinência, à legibilidade e à exatidão da informação dada ao usuário sobre a natureza do erro cometido e sobre as ações a executar para corrigi-lo; e (c) **correção de erros**, que está relacionada aos meios colocados a disposição do usuário com o objetivo de permitir a correção de seus erros. Neste trabalho, o critério gestão de erros, no sentido mais geral, está incluído nos critérios utilizados para avaliar os mecanismos de interação. Entretanto, os critérios ergonômicos **proteção contra erros** e **qualidade das mensagens de erro** são características de implementação da interface da técnica, não sendo explicitados nos critérios de avaliação aqui definidos.

Homogeneidade / coerência

O critério ergonômico **homogeneidade/coerência** (consistência) refere-se à forma pela qual as escolhas na concepção da interface (procedimentos, códigos, denominações, formatos) são conservadas idênticas em contextos idênticos, e projetadas diferentes para contextos diferentes. Este critério, no contexto da representação visual, pode ser entendido como coberto pelo critério **codificação de informações em atributos visuais**, pois na verificação da adequação do uso de atributos visuais no mapeamento item de informação-elemento gráfico, encontra-se implícito o aspecto homogeneidade e coerência no emprego de recursos visuais.

Significado dos códigos e denominações

O critério ergonômico **significado dos códigos e denominações** está diretamente ligado à adequação entre o objeto ou a informação apresentada ou solicitada e sua referência. Códigos e denominações significativos possuem uma forte relação semântica com sua referência. Os termos com pouca expressão para o usuário podem acarretar problemas de condução, podendo levá-lo a selecionar uma opção errada. No presente

trabalho, este critério está também vinculado ao critério de avaliação **codificação de atributos**, pois este diz respeito a verificar se a codificação das informações auxilia o usuário de alguma forma, ou seja, se diminui a sobrecarga cognitiva do usuário.

Compatibilidade

Por último, o critério ergonômico **compatibilidade** refere-se à relação que possa existir entre as características do usuário (memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas) e as tarefas, de uma parte, e a organização das saídas, das entradas e do diálogo de uma dada aplicação, de outra. Ela diz respeito também ao grau de similaridade entre diferentes ambientes e aplicações. Este critério não está presente diretamente nos critérios de avaliação definidos neste trabalho, e deveria ser aferido através de testes de usabilidade tradicionais e/ou uma avaliação subjetiva.

5.4 Comentários finais

O conjunto de critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin está sendo continuamente avaliado em suas definições. No presente trabalho, tais critérios foram utilizados para balizar a definição de um conjunto de critérios específicos e restritos a detectar os problemas de usabilidade provenientes das representações visuais e dos mecanismos interativos fornecidos pelas técnicas de visualização de informações hierárquicas. Desta forma, aspectos exclusivamente relacionados com características de interfaces gráficas (botões, menus, etc.) devem ser avaliados com um teste de tradicional como o oferecido através do ErgoList¹.

É interessante ressaltar que não são encontrados na literatura relatos da avaliação de técnicas de visualização com base no uso dos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin. As heurísticas de Nielsen tampouco são empregadas explicitamente. Os trabalhos mais recentes são baseados em experimentos com usuários, aplicando tarefas selecionadas dependendo da aplicação.

No próximo capítulo, é relatada a avaliação de uma técnica de visualização de informações hierárquicas (a *Bifocal Tree*) com os critérios aqui apresentados. Os resultados são comparados com os obtidos através da avaliação da mesma técnica usando as heurísticas de Nielsen e os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin.

¹ (<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist>).

6 Análise dos critérios de avaliação

Conforme já mencionado, a consolidação dos critérios expostos no capítulo 5 foi realizada após a sucessiva utilização dos conjuntos de quesitos de avaliação para análise das técnicas de visualização *Magnifind*, *CHEOPS* e *Bifocal Tree*.

Uma última seqüência de avaliações foi realizada utilizando os critérios consolidados procurando demonstrar sua:

1º) **abrangência**, mostrando que os critérios permitem a detecção de mais problemas de usabilidade na **técnica**, no que diz respeito à sua representação visual e aos mecanismos de interação, do que os critérios gerais estabelecidos tanto por Nielsen como por Bastien e Scapin;

2º) **amplitude**, mostrando que os critérios também permitem a identificação de problemas de usabilidade na **interface**, ou seja problemas de uso nas operações fornecidas pela ferramenta que implementa a técnica e, finalmente;

3º) **flexibilidade**, mostrando que os critérios podem ser utilizados com diferentes métodos tradicionais de avaliação de usabilidade.

Para demonstrar a abrangência e a amplitude, consideramos a comparação entre avaliações heurísticas da mesma técnica de visualização realizadas com os três conjuntos de critérios (Nielsen, Bastien e Scapin e o definido neste trabalho). Os resultados dessa análise são apresentados e discutidos na seção 6.1. Para demonstrar a flexibilidade, os critérios foram utilizados na aplicação de uma inspeção de conformidade e na definição de ensaios de interação, norteados a definição de tarefas. A seção 6.2 discute esses resultados e compara-os com a aplicação dos critérios com a avaliação heurística, relatados na seção 6.1. Na seção 6.3 os critérios de avaliação são utilizados na definição de ensaios de interação.

6.1 Comparação de resultados de avaliações heurísticas

A aplicação da avaliação heurística foi executada com dois grupos distintos. O primeiro foi constituído por 14 alunos do Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), da disciplina de Comunicação Homem-Computador, do sexto semestre do Curso de Ciência da Computação, que utilizaram os três conjuntos de critérios para avaliar a técnica *Bifocal Tree*. Como segundo grupo, quatro avaliadores mais experientes também empregaram avaliação heurística, utilizando os diferentes critérios, para avaliar a mesma técnica. Desta forma, foi possível estabelecer um paralelo entre as análises realizadas por avaliadores mais e menos experientes.

6.1.1 Método utilizado

Em relação ao grupo de alunos, num encontro anterior, a técnica foi apresentada e disponibilizada para uso, juntamente com material descritivo. Foi também explicada a

motivação para a realização do teste de usabilidade e foi divulgado que a melhor avaliação seria premiada. No encontro de avaliação, os alunos foram encorajados a utilizá-la livremente por alguns minutos. Alguns alunos solicitaram ajuda relacionada à operação da ferramenta, havendo poucas perguntas sobre sua utilidade, seus objetivos, o tipo de informação exibida e o que os elementos visuais representavam, a codificação das informações, etc.

Logo após, os 14 alunos foram divididos em três grupos distintos, sem considerar nenhuma característica especial, cada grupo correspondendo a um conjunto de critérios, aqui denominados Nielsen, Bastien & Scapin e Luzzardi. Para cada aluno foi entregue o instrumento de avaliação correspondente ao grupo ao qual pertenciam (ver Anexos 1, 2 e 3, respectivamente) e foi solicitado que utilizassem a ferramenta livremente, identificando cada problema de usabilidade encontrado de acordo com as heurísticas listadas nos instrumentos de avaliação, atribuindo uma nota de acordo com o grau de severidade (Tabela 6.1).

TABELA 6.1 - Grau de severidade dos problemas de usabilidade encontrados

Grau de severidade	Tipo do problema	Descrição do problema
0	Sem importância	Não afeta a operação da interface
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simples	Problema de baixa prioridade (<u>pode</u> ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade (<u>deve</u> ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado de qualquer forma

Os alunos utilizaram duas formas distintas para realizar a avaliação: alguns descobriram todos os problemas primeiramente e, posteriormente, os enquadraram nos respectivos critérios de avaliação e outros descobriam um problema e, logo em seguida, classificavam-no frente ao conjunto de critérios fornecido. Alguns forneceram livremente uma avaliação subjetiva após a sessão. O tempo de duração da avaliação foi de cerca de uma hora e 30 minutos.

Os avaliadores experientes trabalharam individualmente, sem limitação de tempo e receberam o mesmo instrumento de avaliação que os alunos.

6.1.2 Avaliação heurística com critérios de Nielsen

A avaliação heurística definida por Nielsen e Molich [NIE 90] [NIE 94] é um método de avaliação de usabilidade onde um avaliador procura problemas de usabilidade numa interface com o usuário através da análise e interpretação de um conjunto de princípios ou heurísticas. A avaliação heurística é realizada por especialistas em ergonomia, baseados em sua experiência e competência no assunto. Eles examinam a interface do sistema e fazem um diagnóstico dos problemas e barreiras que os usuários provavelmente encontrarão durante a interação. Cabe aqui ressaltar que, os alunos-avaliadores não são especialistas em ergonomia, mas estudam, atualmente, conceitos de usabilidade na disciplina de Comunicação Homem-Computador do Instituto de Informática da UFRGS.

Neste tipo de avaliação, cada heurística é organizada de forma estruturada, com os seguintes elementos: a **motivação**, que é a definição dos problemas de usabilidade que a heurística tenta detectar; **questão de conformação**, relacionado ao que precisa ser verificado pelos avaliadores, isto é, indica o que o sistema deveria fazer ou o que os usuários são capazes de fazer para satisfazer a heurística e, finalmente, **evidência de conformação** (problemas de usabilidade encontrados), que está relacionada às evidências a serem procuradas, como, por exemplo, características de projeto ou falta de características de projeto que indiquem brechas ou satisfação parcial de uma heurística.

A seguir, são descritos os resultados da avaliação heurística com as dez heurísticas definidas por Nielsen [NIE 94], realizadas por um grupo com quatro alunos.

1. Visibilidade do status do sistema

- **Motivação:** O *feedback* permite ao usuário monitorar o progresso na busca da solução de sua tarefa, permitindo desta forma, o término das tarefas e, conseqüentemente, a redução da ansiedade do usuário.
- **Questão de conformação:** Os usuários são mantidos informados sobre o progresso do sistema com apropriado *feedback* em um tempo razoável?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.1 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística. Pode-se notar claramente a descoberta da maioria dos problemas (seis) relacionados à técnica (Tipo = T, na Fig. 6.1) e apenas três problemas de interface (Tipo = I, na Fig. 6.1), num total de nove problemas detectados. Pode-se verificar, ainda, que a maioria dos problemas tem grau de severidade baixa com uma média de 1,58. O problema sete possui maior severidade pois a resposta do sistema não é satisfatória, podendo deixar o usuário desorientado.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
1	T	Seria interessante possuir uma espécie de segunda linha de <i>status</i> do sistema, indicando quais foram os nodos selecionados até o momento: conceito de <i>bread crumbs</i> , ou seja, exibir todos os nodos selecionados.	1,5	2
2	T	Não há nenhuma legenda indicando que os nodos em vermelho pertencem à última sub-árvore visitada.	2	1
3	T	Não é possível manter sub-árvores abertas enquanto se visualiza outras, o que dificulta a movimentação de nodos entre sub-árvores diferentes.	2	1
4	T	Há momentos em que elementos da área de detalhe aparecem sobre os elementos da área de contexto, podendo confundir o usuário.	2	1
5	T	Quando se abre uma sub-árvore e se clica novamente na raiz da sub-árvore, perde-se a informação da última visita.	1	1
6	I	A opção maximizar poderia, de fato, maximizar a área de trabalho. A janela principal não pode ser redimensionalizada.	2	2
7	I	Algumas vezes são necessárias vários “cliques” nos botões (+) e (-) para que se note alguma mudança na visualização. Ao “clicar” somente uma vez o usuário pode pensar que não há efeito.	3	1

FIGURA 6.1 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Visibilidade do *status* do sistema”

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
8	T	Ao “clique” em um nó a árvore pode mudar completamente de lugar e o usuário ficar meio perdido (Sugestão: Utilizar animação.).	1	1
9	I	A tela “pisca” a cada nova visualização.	1	2
Média geral			1,58	

FIGURA 6.1 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Visibilidade do *status* do sistema”
(*continuação*)

2. Compatibilidade entre o sistema e o mundo real

- **Motivação:** Uma boa adaptação minimiza o conhecimento extra exigido para que o usuário utilize o sistema, simplificando todos os mapeamentos das ações de tarefas (re-expressão das intuições dos usuários dentro dos conceitos do sistema).
- **Questão de conformação:** O sistema utiliza conceitos e linguagem familiar com o usuário em vez de termos orientados ao sistema. O sistema utiliza convenções do mundo real e exibe informação com uma ordem lógica e natural ?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.2 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
10	I	Termos como <i>prunning</i> ou <i>expand</i> poderiam ter sido traduzidos, a fim de aumentar o seu significado.	2	1
11	I	Os botões “ <i>Previous</i> ” e “ <i>Next</i> ” deveriam ser “ <i>Undo</i> ” e “ <i>Redo</i> ” ou “Desfazer” e “Refazer”.	2	1
Média geral			2	

FIGURA 6.2 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Compatibilidade entre o sistema e o mundo real”

3. Liberdade e controle do usuário

- **Motivação:** Geralmente os usuários escolhem ações por engano.
- **Questão de conformação:** Os usuários podem fazer o que querem quando querem?
- **Problemas de usabilidade:** A Figura 6.3 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2,25.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
12	I	As ações disparadas pelo botão direito do <i>mouse</i> são modificadas conforme a seleção de um entre três botões da interface. Seria interessante que estas ações “mutantes” estivessem sempre disponíveis na tela.	2	1
13	T	Ao realizar uma operação de rotação e invocar o botão da ação <i>previous</i> , o sistema retorna para um estado incorreto, em que os nodos da área de interesse não estão expandidos.	3	1
14	I	Após o “clique” no ícone da casinha não é mais possível voltar as configurações anteriores pelo botão “ <i>Undo</i> ”.	3	1
15	I	Maximizar a janela não aumenta a visibilidade.	1	1
Média geral			2,25	

FIGURA 6.3 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Liberdade e controle do usuário”

4. Consistência e padrões

- **Motivação:** Consistência minimiza o conhecimento exigido ao usuário na utilização do sistema permitindo que os usuários generalizem a experiência existente no sistema ou em outros sistemas.
- **Questão de conformação:** O projeto de elementos como objetos e ações tem o mesmo significado ou efeito em diferentes situações?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.4 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2,4. Dos três tipos de problemas detectados, apenas um deles pode ser enquadrado como problema da representação visual; os demais são problemas da interface do *browser*.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
16	I	Os botões para modificação da distância entre níveis, limite de exibição de nodos, etc., possuem a mesma representação gráfica para a área de contexto e área de interesse.	3	1
17	I	Referente a padrões: o sistema utiliza termos em inglês e português em seus <i>hints</i> , quando deveria optar por uma homogeneidade. (As mensagens de erro usam termos em inglês e não sugerem qualquer tipo de solução)	2,33	3
18	T	Arestas vermelhas significando a última visualização nem sempre funciona.	2	1
Média geral			2,4	

FIGURA 6.4 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Consistência e padrões”

5. Prevenção contra erros

- **Motivação:** Erros são as principais fontes de frustração, ineficiência e ineficácia durante a utilização do sistema.

- **Questão de conformação:** Os usuários podem cometer erros dos quais bons projetos poderiam prevenir?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.5 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 3,17. Esta heurística detectou os problemas de usabilidade mais graves. Isto pode claramente evidenciar a falta de recursos voltados a prevenção de erros ou a falta de operações que permitam o usuário recuperar-se deles. Observa-se, entretanto, que todos são problemas de interface e nenhum da representação visual em si.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
19	I	Ao tentar abrir um arquivo com formato inválido, caso houvesse um arquivo aberto na tela, seria exibida uma mensagem de erro ao tentar realizar uma operação no arquivo aberto anteriormente.	3	1
20	I	Quando se altera o limite de exibição de nodos na tela e ocorre <i>overflow</i> , a barra de ferramentas deixa de funcionar e a exibição fica incorreta.	3	3
21	I	O <i>overflow</i> ocorre mesmo quando se diminui o número de nodos.	3	1
22	I	Usar o botão “Undo” depois de abrir um novo arquivo causou uma violação de endereço de memória que persistia até o programa ser fechado.	4	1
Média geral			3,17	

FIGURA 6.5 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Prevenção contra erros”

6. Reconhecimento em lugar de lembrança

- **Motivação:** Forçar os usuários a relembrar detalhes como comandos e nomes de arquivos é a principal fonte de erro. O reconhecimento minimiza o conhecimento exigido do usuário na utilização do sistema, simplificando desta forma, os comandos e as opções disponíveis podem permitir ao usuário supor seus significados e propósitos.
- **Questão de conformação:** Elementos de projeto como objetos, ações e opções são visíveis? O usuário é forçado a relembrar informações de uma parte do sistema para outra?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.6 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2,2.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
23	I	Ao selecionar os botões <i>show</i> , <i>prunning/expand</i> e o botão ao lado do <i>prunning</i> , o usuário realiza diferentes ações com o botão direito. Estas ações não estão indicadas na interface, dificultando sua identificação.	2,5	2
24	I	Seria interessante manter uma janela de customização, aliás, configuração da visualização dos nodos, sendo que nesta janela estariam disponíveis todas as opções da interface, contudo, porém, utilizando um mecanismo do tipo “ <i>slider</i> ” para ajuste de parâmetros.	2	1
25	I	Não é possível identificar as funções dos botões agrupados ao botão “ <i>show</i> ” sem uma série de experimentos.	2	1
26	I	Botões poderiam estar organizados em grupos relacionados à sua função, onde esta é indicada por título, por exemplo.	2	1
Média geral			2,2	

FIGURA 6.6 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Reconhecimento em lugar de lembrança”

7. Flexibilidade e eficiência de uso

- **Motivação:** A ineficiência das tarefas de usuário podem reduzir a eficácia do usuário e causar-lhes frustração.
- **Questão de conformação:** As tarefas de usuário são eficientes e podem se adaptar ao gosto do usuário em suas ações mais frequentes ou ele utiliza atalhos?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.7 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 1,83.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
27	I	O sistema não possui menus que permitam acesso à configuração da visualização dos nodos. É importante que estes menus possuam teclas de atalho, também a fim de facilitar o uso do <i>software</i> .	3	1
28	I	Seria interessante se fosse disponibilizada uma opção que permitisse salvar o estado da visualização atual de uma determinada estrutura de dados.	2	1
29	I	A opção “ <i>quit</i> ” do menu “ <i>File</i> ” não funciona.	1,5	2
30	I	As configurações de <i>layout</i> não podem ser salvas.	2	1
31	I	Ícones cujos conteúdos não aparecem completamente deveriam mostrar seu conteúdo (nome) ao passar do <i>mouse</i> .	1	1
Média geral			1,83	

FIGURA 6.7 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Flexibilidade e eficiência de uso”

8. Projeto minimalista e estético

- **Motivação:** Exibições desordenadas tem o efeito de aumentar o tempo de busca por comandos ou os usuários perdem características exibidas na tela. Usuários não

familiarizados com o sistema freqüentemente tem que descobrir uma ação para satisfazer uma necessidade particular - reduzindo o número de ações disponíveis que poderiam criar uma escolha mais fácil.

- **Questão de conformação:** Os diálogos contêm informações irrelevantes ou raramente necessárias?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.8 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Freqüência
32	I	Quando os detalhes de um nodo são visualizados, sua identificação (Id) não precisaria ser listada.	2	1
33	I	A interface possui botões demais que na prática são pouco utilizados. Botões de configuração de <i>layout</i> aparecem duplicados (um para cada foco). Não daria para agrupar?	2	1
Média geral			2	

FIGURA 6.8 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Projeto minimalista e estético”

9. Ajudar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros

- **Motivação:** Erros são as principais fontes de frustração, ineficiência e ineficácia durante a utilização do sistema.
- **Questão de conformação:** Mensagens de erro são expressas em linguagem simples (sem códigos) descrevendo exatamente o problema e sugerindo uma solução?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.9 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 3,25. Da mesma forma que comprovado na heurística prevenção contra erros, esta heurística também evidenciou um alto grau de severidade nos problemas detectados. Isto mais uma vez prova uma falha nas facilidades de prevenção e ajuda ao usuário, ou seja, faltam mecanismos que previnam a ocorrência de erros.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Freqüência
34	I	Ao abrir um arquivo com formato inválido, o sistema exibe uma mensagem de “violação de acesso à memória”, ao invés de indicar para o usuário o problema verificado.	4	1
35	I	A mensagem “ <i>overflow</i> na lista de nodos” poderia conter termos mais comuns, visto que o programa pode ser utilizado por usuários principiantes na informática.	2,5	1
Média geral			3,25	

FIGURA 6.9 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Ajudar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros”

10. Ajuda e documentação

- **Motivação:** Em condições ideais, um sistema não deveria necessitar documentação. Porém, pode ser necessário fornecer ajuda aos usuários fornecendo pequenas notas.
- **Questão de conformação:** É fornecida apropriada informação de ajuda e esta informação é fácil de procurar e de focalizar nas tarefas do usuário?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.10 mostra os problemas detectados e enquadrados nesta heurística, com grau de severidade média 2.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
36	I	O sistema não possui um sistema de <i>help on-line</i> , definindo os termos e ações disponíveis no sistema	3	1
37	I	O problema 1 poderia ser minorado se o sistema possuísse uma barra de <i>status</i> que indicasse o efeito de um botão ao se passar o ponteiro do <i>mouse</i> sobre tal botão.	2	1
38	I	As mensagens de erro poderiam conter informações do porquê que um problema foi gerado, como revertê-lo (Exemplo: erro " <i>overflow</i> na lista de nodos").	1	1
Média geral			2	

FIGURA 6.10 - Problemas de usabilidade enquadrados na heurística “Ajuda e documentação”

A análise dos resultados apresentados permite sintetizar os problemas encontrados com a avaliação heurística por Nielsen através da Figura 6.11. Foram encontrados 53 problemas de usabilidade. Destes, 11 problemas foram identificados como repetições. Dos 42 problemas diferentes, 3 foram descartados por não serem problemas de usabilidade e sim dúvidas dos usuários sobre algumas características da técnica (a Tabela A5.1 – Anexo 5 mostra os problemas descartados). Assim, dentre os 39 problemas de usabilidade identificados, 33 estão relacionados com problemas da interface (84,62%); e o restante, seis problemas, ou seja, 15,38%, estavam relacionados com a técnica propriamente dita.

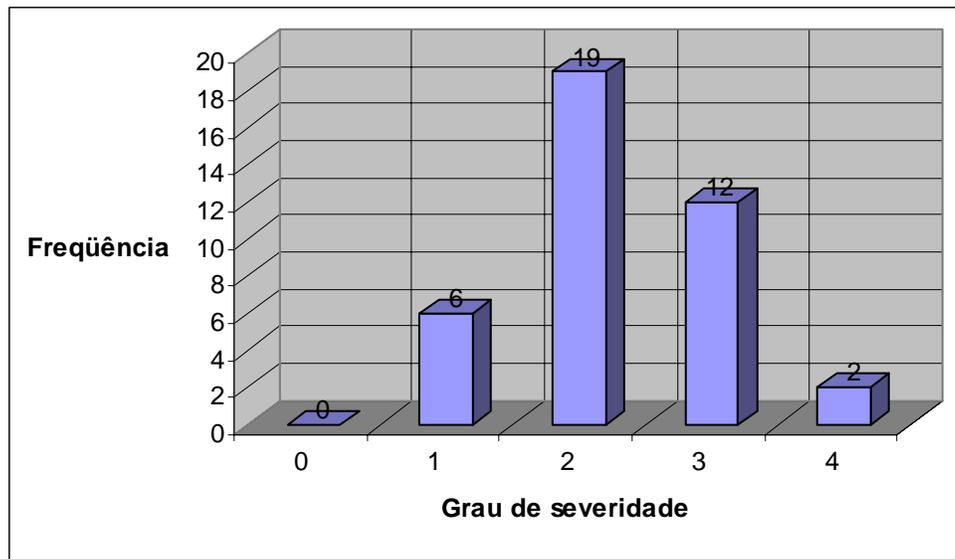


FIGURA 6.11 - Grau de severidade x frequência dos 39 problemas de usabilidade encontrados pelo grupo de alunos, utilizando as heurísticas de Nielsen

O grau de severidade média geral dos problemas de usabilidade detectados pelos alunos utilizando as dez heurísticas de Nielsen, independente de serem problemas de técnica ou de interface, foi de 2,26.

Dois avaliadores mais experientes utilizaram também as dez heurísticas de Nielsen para avaliar a técnica *Bifocal Tree*. Estes avaliadores, da mesma forma que os alunos, não enquadraram nenhum problema em mais de uma heurística. O primeiro avaliador detectou 23 problemas, dos quais seis foram descartados, resultando em 17 problemas aproveitados. O segundo avaliador, identificou 35 problemas e nenhum foi descartado. Enquanto o grau de severidade médio obtido pelos alunos utilizando Nielsen foi de 2,26, a dos avaliadores experientes foi de 2,69 e 2,64, respectivamente. Mesmo não sendo realizada análise estatística devido ao tamanho do grupo de avaliadores, a diferença entre as médias dos avaliadores experientes pode ser considerada irrelevante. O mesmo não pode ser afirmado quando se compara as médias de alunos e de avaliadores experientes.

Dos 17 problemas contabilizados pelo primeiro avaliador, quatro são relacionados à técnica (23,53%) e 13 referentes à interface (76,47%). Dos 35 problemas identificados pelo segundo avaliador, sete são relacionados à técnica (20%) e o restante, 28 (80%), à interface. Como pode ser visto, em percentuais, os dois avaliadores experientes realizaram avaliações concordantes.

Já os alunos detectaram 15,38% problemas de técnica e 84,62% de interface. Estes resultados mostram que os alunos identificaram mais problemas de interface que os avaliadores experientes e, por outro lado, os dois avaliadores descobriram mais problemas na técnica.

Em relação aos problemas detectados para a técnica, dos seis problemas identificados pelos alunos, três foram também identificados pelos avaliadores experientes,

ou seja, três foram detectados apenas pelos alunos. Por outro lado, dos 11 problemas detectados pelos avaliadores experientes, sete não foram detectados pelos alunos.

6.1.3 Avaliação heurística com os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin

Bastien e Scapin [BAS 93] definiram um conjunto de 18 critérios ergonômicos para avaliar uma interface baseado no julgamento de valor de suas qualidades ergonômicas. Da mesma forma que na seção anterior, sumariza-se a seguir os resultados obtidos com a avaliação da técnica de visualização *Bifocal Tree*, por um grupo de cinco alunos, utilizando os critérios de Bastien e Scapin. Os resultados estão agrupados por critério.

1. Incitação

- **Motivação:** Fornece sugestões ao usuário, de tal forma que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e fáceis de usar. Permite que o usuário conheça as alternativas quando diversas ações são permitidas pela interface.
- **Questão de conformação:** São fornecidas sugestões ao usuário, de tal forma que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e fáceis de usar? É permitido que os usuários conheçam as alternativas quando diversas ações são permitidas pela interface?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.12 mostra os problemas detectados e enquadrados neste critério ergonômico. Todos os problemas detectados estão relacionados à interface. A maioria dos problemas tem grau de severidade baixo sendo a média 2,22. Os problemas 3, 4 e 8 possuem maior grau de severidade, pois o sistema não fornece sugestões eficientes sobre as ações válidas no momento.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
1	I	Algumas operações com os botões não são intuitivas, sendo necessárias várias repetições de ações para que sua funcionalidade seja percebida, por exemplo, o "Context Sector".	2	1
2	I	Ou não existem alternativas ou elas não são nem um pouco óbvias.	2	1
3	I	Algumas opções são fornecidas ao usuário mesmo quando ele não as pode utilizar. Como exemplo os botões "back" e "forward" ou (+)(-). Deveriam ser desabilitados quando não tiverem efeito.	3	1
4	I	O fato dos botões <i>show</i> , <i>prunning/expand</i> e <i>properties</i> atuarem sobre o botão direito do mouse não é visível. Deveriam todos atuar sobre o botão esquerdo havendo um botão extra para voltar ao modo normal. O botão direito poderia abrir um <i>pop-up</i> menu com as opções. O cursor do mouse poderia ser diferenciado quando não em modo normal.	4	1
5	I	O <i>hint</i> do botão <i>show</i> deveria ser mais claro, indicando que seria aberta uma lista de irmãos.	1	1

FIGURA 6.12 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico "Incitação"

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
6	I	Os <i>hints</i> de alguns botões (como <i>home</i> e <i>properties</i>) não estão sendo exibidos.	1,5	2
7	I	O recurso de “poda” utilizando o botão direito está oculto na interface. É necessário saber previamente da existência deste.	2	1
8	I	Inexistência de um <i>help on-line</i> , nem mesmo como menu “desabilitado, indicando implementação futura.	3	1
Média geral			2,22	

FIGURA 6.12 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Incitação” (*continuação*)

2. Agrupamento / distinção por localização

- **Motivação:** Diz respeito ao uso da posição relativa dos itens para indicar sua pertinência a uma determinada classe.
- **Questão de conformação:** A posição relativa dos itens indicam se eles pertencem ou não a uma determinada classe?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.13 mostra os problemas detectados e enquadrados neste critério ergonômico, com grau de severidade média 1,75. Neste quesito, foi detectado apenas um problema relacionado à técnica: falta de destaque do caminho.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
9	I	Os botões de alteração na visualização do nodo que são utilizados para encontrar outros nodos não estão bem esclarecidos a quem pertencem.	3	1
10	T	Quando se seleciona diretamente sub-ramos mais internos, deveria ficar mais óbvio qual é o caminho daquele ramo até o raiz.	2	1
11	I	Deveria ficar mais claro que os botões (+) e (-) é que efetuam a operação para um dado grupo, sendo os demais apenas para seleção de operação.	2	2
Média geral			1,75	

FIGURA 6.13 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Agrupamento / distinção por localização”

3. Agrupamento / distinção por formato

- **Motivação:** A indicação da pertinência a classes é realizada através de cor, formato, textura.
- **Questão de conformação:** Existe indicação da pertinência a classes sendo realizada através de cor, formato ou textura?

Não foram detectados problemas de usabilidade desta categoria.

4. Feedback imediato

- **Motivação:** Está relacionado às respostas do sistema frente às ações executadas pelos usuários, ou seja, realimentação imediata de uma nova situação. Em todas as situações, o sistema deve fornecer uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada.
- **Questão de conformação:** Em todas as situações, o sistema forneceu uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada?

Não foram detectados problemas de usabilidade nesta categoria.

5. Legibilidade

- **Motivação:** Refere-se às características léxicas que as informações apresentam sobre a tela de forma a facilitar a compreensão destas informações. Deve-se levar em consideração, ainda, o brilho, contraste, cor, tamanho de fonte, espaçamento, etc.
- **Questão de conformação:** As características léxicas das informações (brilho, contraste, cor, tamanho de fonte, espaçamento, ...) apresentadas na tela facilitam a compreensão das informações?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Na Figura 6.14 podem ser vistos todos os problemas detectados. Estes contabilizaram grau de severidade média 2,5. Neste critério pode-se notar que todos os problemas de usabilidade detectados estão relacionados às características da técnica e não à interface.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
12	T	Há alguma dificuldade na diferenciação do diretório raiz dos arquivos por apresentarem praticamente a mesma cor.	3	1
13	T	As vezes duas árvores de sobrepõem ou ramos saem para fora da tela (pela direita). Isso não deveria acontecer nunca.	3	1
14	T	O sinal de que um sub-ramo está escondido (através do botão direito) deveria ser mais claro (representação do nodo podado).	3	1
15	T	Baixa legibilidade no texto do nodo raiz, devido à escolha das cores de fundo e frente é inadequada.	1	1
Média geral			2,5	

FIGURA 6.14 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Legibilidade”

6. Concisão

- **Motivação:** Está relacionada com as entradas e saídas de informações, ou seja, a interface deve ser baseada em entradas concisas de informações ou eliminar a entrada de informações redundantes.
- **Questão de conformação:** A interface permite entradas concisas de informações? Elimina a entrada de informações redundantes?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.15 exhibe o único problema detectado e enquadrado neste critério.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
16	I	Por enquanto ainda não é possível inserir dados, ou então criar uma nova árvore.	2	2

FIGURA 6.15 - Problema de usabilidade enquadrado no critério ergonômico “Concisão”

7. Ações mínimas

- **Motivação:** Está relacionada à quantidade de ações mínimas necessárias para realizar uma tarefa ou atingir um objetivo. Quanto mais ações forem feitas para atingir um fim, existirá maior probabilidade de ocorrerem erros por parte do usuário.
- **Questão de conformação:** A quantidade de ações mínimas necessárias para realizar uma tarefa ou atingir um objetivo é adequada? (Quanto mais ações forem feitas para atingir um fim, existirá maior probabilidade que ocorram erros por parte do usuário)
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.16 exibe os cinco problemas de usabilidade detectados e classificados no critério ações mínimas. Estes problemas tiveram uma média do grau de severidade de valor 2,2. Aqui pode ser notado que além dos três problemas relacionados a interface, dois foram detectados como problemas na técnica de visualização.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
17	I	Para a alteração na visualização são necessárias várias ações para notar que houve alguma alteração.	2	1
18	T	Quando os <i>labels</i> ficam uns por cima dos outros não existe forma de trazer os de trás para a frente, ficando impossível selecioná-los. É necessário voltar até os níveis superiores, mesmo que o <i>label</i> (nodo) esteja na tela.	3	1
19	I	O usuário deveria poder apenas manter pressionados os botões (+) e (-) para aplicá-los múltiplas vezes, não sendo necessários diversos “cliques” de <i>mouse</i> .	2	1
20	T	Após modificar a visualização (alterando a distância, limites, etc.) não é possível voltar a visualização padrão.	2	1
21	I	Botões “ <i>previous</i> ” e “ <i>next</i> ” deveriam permitir voltar ou avançar mais de um nível, como nos navegadores (uma setinha para baixo, abre um menu).	2	1
Média geral			2,2	

FIGURA 6.16 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Ações mínimas”

8. Densidade informacional

- **Motivação:** Está diretamente ligada ao desempenho do usuário quando este executa uma determinada tarefa ou procura atingir um determinado objetivo. Por exemplo, se a densidade de informação for demasiadamente alta ou baixa demais, isto pode acarretar um mau desempenho do usuário em resolver uma determinada situação.
- **Questão de conformação:** Os diálogos contém informações irrelevantes ou raramente necessárias?

- **Problemas de usabilidade encontrados:** Na Figura 6.17 são apresentados dois problemas de usabilidade: um para a técnica e outro para a interface. Ambos os problemas possuem grau de severidade graves, com uma média de 3,5. Isto mostra que em algumas situações a densidade de informações não é adequada, dificultando a localização de outros objetos. Pode-se concluir que a técnica provavelmente possui problemas na geração do *layout*.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
22	T	Em algumas alterações, os nodos da árvore se encontram muito próximos, causando talvez dificuldade ao usuário em onde se encontra o diretório raiz ou então outros diretórios.	3	1
23	I	Os nomes dos nodos deveriam aparecer completos sempre.	4	1
Média geral			3,5	

FIGURA 6.17 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Densidade informacional”

9. Ações explícitas do usuário

- **Motivação:** Referem-se às relações entre o processamento computacional e as ações do usuário. As ações devem ser explícitas, ou seja, o sistema deve processar somente aquelas ações requisitadas pelo usuário e somente quando for requisitado para isto.
- **Questão de conformação:** As relações entre o processamento computacional e as ações do usuário são explícitas? (O sistema deve processar somente aquelas ações requisitadas pelo usuário e somente quando for requisitado para isto).

Nenhum problema foi detectado neste quesito.

10. Controle do usuário

- **Motivação:** Refere-se ao fato que os usuários sempre devem ter o controle da interface, ou seja, interromper ações, cancelar operações, suspender ou continuar tarefas. Para toda ação do usuário devem ser fornecidas opções apropriadas.
- **Questão de conformação:** Os usuários tem controle da interface, podendo interromper ações, cancelar operações, suspender ou continuar tarefas?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.18 mostra três problemas encontrados e enquadrados neste critério. Todos eles são relativos à interface, sendo a média do grau de severidade igual a 3. A severidade destes problemas demonstra que, provavelmente, as operações interativas da técnica não são adequadas aos usuários. Os problemas de usabilidade detectados relatam o não funcionamento de várias funções da interface, além da exibição de mensagens de erro não voltadas ao usuário.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
24	I	Assim que começa a execução do programa, as opções <i>default</i> como o “ <i>Context Sector</i> ”, não funcionam.	2	1
25	I	Os botões que são destinados a alteração de <i>layout</i> do contexto não funcionam quando está trabalhando no diretório raiz.	3	1
26	I	Na opção de restaurar os padrões <i>default</i> , ocorre um erro, que além de não ser restaurado, ocasiona um erro de “ <i>overflow</i> do número de nodos”.	4	1
Média geral			3	

FIGURA 6.18 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Controle do usuário”

11. Flexibilidade

- **Motivação:** Reflete o número de possíveis formas de atingir um objetivo, ou seja, a interface deve se adaptar às necessidades do usuário. A interface deve colocar meios à disposição do usuário que lhe permitam personalizá-la, levando em conta as exigências de cada tarefa, suas estratégias ou seus hábitos de trabalho.
- **Questão de conformação:** A interface se adapta às necessidades do usuário?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.19 exibe a lista com os quatro problemas detectados e relacionados à interface. O grau de severidade médio é 2. Dois problemas tem grau 3 devido à falta de mecanismos que permitissem ao usuário configurar a interface assim como a falta de menus complementares que auxiliassem o usuário a identificar as operações válidas em um determinado instante.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
27	I	A interface só apresenta uma forma para atingir algum objetivo (através dos botões). Prover alternativas através do uso de menus.	2	1
28	I	Seria interessante que o usuário pudesse posicionar livremente a barra de botões.	0	1
29	I	O usuário deveria poder salvar a forma como configurar a visualização de um arquivo para poder utilizá-lo em execuções posteriores.	3	1
30	I	Todas as opções disponíveis através dos botões deveriam estar disponíveis através do menu. Eventualmente haveria a necessidade de caixas de diálogo.	3	1
Média geral			2	

FIGURA 6.19 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Flexibilidade”

12. Consideração da experiência do usuário

- **Motivação:** A interface deve levar em consideração o nível de experiência de cada usuário.

- **Questão de conformação:** A interface leva em consideração o nível de experiência de cada usuário?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Todos os problemas detectados e mapeados para este critério são de interface. A Figura 6.20 descreve-os, sendo a média do grau de severidade 2. Apenas um problema apresenta grau alto: operações não intuitivas. Os três problemas mostram que a interface da técnica não leva em consideração a experiência do usuário.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
31	I	Para usuários inexperientes, o programa o deixa meio confuso, como qual o botão deve ser “clicado” para determinada mudança.	1	1
32	I	Diversas operações da interface são absurdamente não intuitivas (botões / clique com o botão direito do <i>mouse</i>).	3	1
33	I	Não há atalhos de teclado para nenhuma operação. (Sugestão: setas direcionais poderiam girar nos 2 sentidos; (+) e (-) poderiam alterar a visualização da direita).	2	1
Média geral			2	

FIGURA 6.20 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Consideração da experiência do usuário”

13. Proteção contra erros

- **Motivação:** A interface deve preocupar-se em detectar e prevenir erros de entrada de informações, comandos ou ações de consequências desastrosas e/ou não recuperáveis.
- **Questão de conformação:** A interface preocupa-se em detectar e prevenir erros tanto na entrada de informações como no resultado de comandos ou ações?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A média do grau de severidade dos problemas detectados é de 2,67. A Figura 6.21 mostra os dois problemas que são vinculados à interface da técnica.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
34	I	Botões “ <i>previous</i> ” e “ <i>next</i> ” não são desabilitados quando não há ação disponível, o que acaba permitindo ocorrência de erro.	3	1
35	I	Ao expandir a árvore usando o botão “Altera a distância entre níveis” junto com o botão (+) não houve a prevenção de erro de “ <i>overflow</i> na lista de nodos”. Deve haver alguma limitação no número de nodos em uso.	2,5	2
Média geral			2,67	

FIGURA 6.21 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Proteção contra erros”

14. Qualidade das mensagens de erro

- **Motivação:** O conteúdo e formato das mensagens de erro deve garantir a qualidade deste aspecto da interface, pois é um fator importante para a satisfação do usuário.
- **Questão de conformação:** O conteúdo e formato das mensagens de erros são adequados?.
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Mais uma vez, o alto grau de severidade (média 3,2) dos problemas de usabilidade deste critério ergonômico demonstra a não-preocupação da técnica *Bifocal Tree* com a prevenção, mensagens e mecanismos para recuperação de erros. Isto pode ser confirmado pelo elevados graus obtidos pelos critérios “**Proteção contra erros**” (2,67 – acima) e o critério “**Correção de erros**” (3,5 – abaixo).

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
36	I	Depois da mensagem “ <i>overflow</i> na lista de nodos”, o sistema se perdeu completamente (o programa teve que ser reinicializado).	4	1
37	I	A mensagem “ <i>Access violation at address ...</i> ”, que ocorre ao clicar um “ <i>previous</i> ” sem que haja para onde retornar, não diz nada ao usuário.	3	1
38	I	Mensagem pouco explicativa ao tentar abrir arquivo inválido.	2	1
39	I	A mensagem de erro obtida “ <i>overflow</i> na lista de nodos” não informa nada ao usuário, como possíveis causas ou soluções para o erro. Serve apenas para o desenvolvedor do programa.	3,5	2
Média geral			3,2	

FIGURA 6.22 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Qualidade das mensagens de erro”

15. Correção dos erros

- **Motivação:** A interface deve permitir que o usuário corrija os seus erros.
- **Questão de conformação:** A interface permite que o usuário corrija os seus erros?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** O alto grau de severidade deste critério (média 3,50) demonstra que o usuário se defrontou com diversas situações errôneas, afetando muito a utilização das principais características da técnica. A Figura 6.23 descreve estes problemas.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
40	I	No momento que o erro por “ <i>overflow</i> ” ocorreu, o programa teve de ser fechado.	4	1
41	I	Após obter “ <i>overflow</i> na lista de nodos”, enquanto o usuário não selecionar outro nodo na árvore, todas as opções ficam disponíveis para acesso. Algumas não dão respostas mas todas sempre apresentam a mesma mensagem de erro após sua execução.	3	1
Média geral			3,5	

FIGURA 6.23 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Correção dos erros”

16. Homogeneidade / coerência (consistência)

- **Motivação:** Refere-se à homogeneidade de aspectos da interface (códigos, denominações, formatos, procedimentos e operações) em contextos semelhantes, diferenciando-se quando em outros contextos.
- **Questão de conformação:** Códigos, denominações, formatos, procedimentos e operações são homogêneos em contextos semelhantes, diferenciando-se apenas quando em outros contextos?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Os problemas detectados são relativos à interface apenas. O grau médio destes problemas foi 2. A Figura 6.24 mostra os problemas enquadrados neste critério.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
42	I	Em alguns botões o <i>hint</i> aparece em inglês e em outras em português causando uma mudança de contexto para o usuário.	2	3
43	I	Os dois botões mais à direita da interface apresentam a mesma descrição para a ação a ser executada, embora esta seja diferente.	2	1
Média geral			2	

FIGURA 6.24 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Homogeneidade / coerência”

17. Significado dos códigos e denominações

- **Motivação:** Está diretamente ligado à adequação entre o objeto ou a informação apresentada ou solicitada e seu significado. Os termos com pouca expressão para o usuário podem levá-lo a selecionar uma opção errada.
- **Questão de conformação:** Existe adequação entre o objeto e a informação apresentada ou solicitada e o seu significado?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Apenas um problema, com grau muito baixo, foi detectado. A Figura 6.25 exhibe o problema.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
44	I	<i>Hints</i> extensas, porém pouco explicativas. Botões devem ter nome, e não uma descrição obscura.	1	1

FIGURA 6.25 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Significados dos códigos e denominações”

18. Compatibilidade

- **Motivação:** Refere-se à relação entre as características dos usuários (tais como memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas) e suas tarefas com a organização das entradas, saídas e diálogos em uma dada aplicação. Diz respeito ainda, ao grau de semelhança entre diferentes ambientes e aplicações.
- **Questão de conformação:** A organização das entradas, saídas e diálogos está relacionada às características dos usuários (memória, percepção, hábitos,

competências, idade, expectativas) com suas tarefas? Existe semelhança com outros ambientes?

- **Problemas de usabilidade encontrados:** Este critério ergonômico foi identificado por apenas dois problemas de usabilidade com grau de severidade baixo (média 1,5). A Figura 6.26 descreve-os.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
45	I	Botões “previous” e “next” se parecem com os botões “First” e “Last”. Deveriam ser iguais ao do <i>Explorer</i> , já que o botão “Home” foi aproveitado.	1	1
46	I	Ausência de botão que leve um nível acima na estrutura hierárquica.	2	1
Média geral			1,5	

FIGURA 6.26 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério ergonômico “Compatibilidade”

Com os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin, os cinco alunos encontraram 60 problemas de usabilidade. Sete problemas foram identificados por mais de um avaliador, ou seja, foram constatados como repetidos. Restaram, então, 53 problemas, dos quais 7 foram descartados (Tabela A5.2 – Anexo 5) porque são dúvidas dos usuários e não problemas de usabilidade. Este problema, em parte, pode ser devido a pouca experiência dos avaliadores. Assim, a Figura 6.27 mostra a relação entre o grau de severidade e a frequência dos 46 problemas de usabilidade identificados nesta avaliação. Destes, 39 (84,78%) estão relacionados com a interface; e o restante, sete problemas (15,22%), estão relacionados com a técnica de visualização em si. O grau de severidade médio geral foi de 2,46.

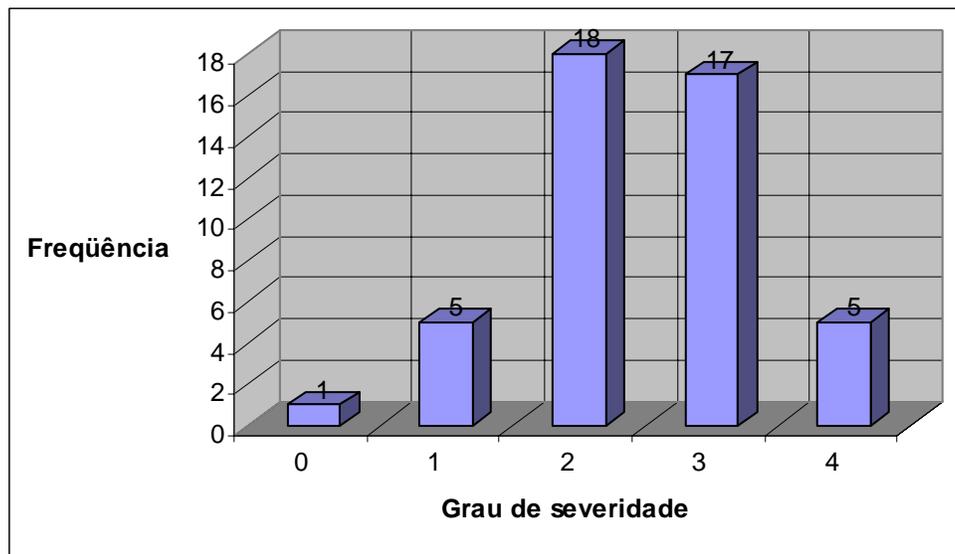


FIGURA 6.27 - Grau de severidade dos 46 problemas de usabilidade encontrados (Bastien & Scapin)

Um avaliador especialista em IHC utilizou o mesmo instrumento para avaliar a técnica, tendo encontrado 17 problemas. Da mesma que forma que alguns alunos, o

avaliador enquadrrou (facilmente) um problema em mais de um critério ergonômico. O grau de severidade médio dos problemas detectados por este avaliador foi de 2,47, o que é, portanto, similar ao encontrado pelos alunos. Dos 17 problemas, 15 (88,3%) estão relacionados à interface e dois (11,7 %), à técnica, mostrando certa similaridade com o padrão de avaliação dos alunos.

6.1.4 Uso dos critérios de avaliação propostos

Os critérios de avaliação definidos neste trabalho levam em consideração dois aspectos importantes em qualquer técnica de visualização: representações visuais (tanto estáticas como transições entre elas) e os mecanismos de interação fornecidos.

Um terceiro grupo de alunos e um avaliador mais experiente utilizaram um instrumento de avaliação heurística baseado nos critérios aqui propostos para avaliar a técnica *Bifocal Tree*. Os resultados dessa avaliação são descritos a seguir, considerando os dois subconjuntos de heurísticas.

Representação visual

1. Limitações

- **Motivação:** A necessidade de simplificação e o tempo de geração de novas representações visuais levam à utilização de formas de limitação.
- **Questão de conformação:** Existe limitação na quantidade de diferentes tipos de informações, no número máximo de elementos de informações, no número de níveis na hierarquia e no número máximo de janelas auxiliares?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Dos sete problemas detectados, a grande maioria (seis) estão relacionados com a técnica, conforme o esperado. Apenas um é referente à interface. O grau de severidade dos problemas (médio) é 2. Há dois problemas com grau 3, os de número 5 e 7, ambos citando uma “poluição” na visualização devido às limitações impostas pela técnica, causando desconforto e desorientação no usuário (conforme descreve o avaliador). A Figura 6.28 mostra estes problemas.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
1	I	A janela principal (branca), espaço onde a árvore é exibida, não aumenta conforme o tamanho da janela, que pode ser maximizada além do tamanho original. Poderia haver apenas um limite inferior para seu tamanho. Alguns conglomerados de nós poderiam ser melhor visualizados se fosse possível usar uma parte maior da tela, mas não é permitido “resize”. (maximização da janela principal).	1,75	4

FIGURA 6.28 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Limitações”

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
2	T	Os atributos do nodo informam muito pouco, poderiam ser colocadas informações extras, como o caminho para se chegar até ele, o tipo do nodo, etc. O tamanho das janelas que aparecem quando se clica com o botão da direita não pode ser alterado, escondendo várias opções, quando não é necessário (janela auxiliar com atributos).	2,25	4
3	T	Não é possível deslocar a árvore ou rotacioná-la no espaço, apenas rotacionar os nós (rotação).	1	1
4	T	Não é permitido deixar dois ramos da árvore abertos de maneira que se tenha uma boa visualização de ambos.	2	1
5	T	Imaginando a visualização em um diretório de arquivos, seria complicado informar o tipo de arquivo. Tanto a mudança nas cores quanto na forma geométrica são muito limitadas. E o uso de imagens deixaria o ambiente poluído. Esta limitação da quantidade de diferentes tipos de informação limita a aplicação da ferramenta.	3	1
6	T	Embora a visão geral da hierarquia seja muito boa, há uma limitação na quantidade de níveis exibidos simultaneamente em um mesmo caminho.	1	1
7	T	Como são exibidos vários níveis de hierarquia de vários caminhos diferentes, há uma grande poluição. Embora facilite buscas, geram certo desconforto e desorientação.	3	1
Média geral			2	

FIGURA 6.28 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Limitações” (*continuação*)

2. Densidade dos dados

- **Motivação:** A complexidade cognitiva pode ser influenciada significativamente pela alta densidade de informações exibidas na área principal ou em uma parte específica da representação visual.
- **Questão de conformação:** O número de diferentes elementos de informação afeta a densidade dos dados?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.29 exhibe os três problemas detectados e enquadrados neste critério. A média do grau de severidade (2,67) relativamente alta mostra que a técnica possui problemas relacionados à densidade dos dados. Problemas de usabilidade relacionados a densidade informacional foram detectados também nas sessões de avaliação heurística utilizando os critérios ergonômicos definidos por Bastien & Scapin.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
8	I	O uso de barras de rolagem permitiriam uma melhor visualização dos dados...	2	1
9	T	Grandes quantidades de elementos geram uma visualização densa e complexa dificultando a orientação do usuário.	3	1
10	T	Quando queremos visualizar os detalhes de um elemento clicando com o botão direito surge uma janela. Porém, se quisermos ver os detalhes de um outro, é utilizado a mesma janela, impedindo comparações.	3	1
Média geral			2,67	

FIGURA 6.29 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Densidade dos dados”

3. Dimensão dos dados

- **Motivação:** A complexidade cognitiva pode ser influenciada significativamente pelo número de dimensões (número de níveis na hierarquia) exibidas na visualização.
- **Questão de conformação:** O número de níveis da hierarquia afeta a interpretação das informações?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Como pode ser notado na Figura 6.30, o único problema detectado é o mesmo que aparece também no critério Limitações (o de número 7, na Figura 6.28). Existe diferença no grau de severidade entre os dois enquadramentos.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
11	T	Como são exibidos vários níveis de hierarquia de vários caminhos diferentes, há uma grande poluição. Embora facilite buscas, gera um certo desconforto e desorientação.	2	1

FIGURA 6.30 - Problema de usabilidade enquadrado no critério de avaliação “Dimensão dos dados”

4. Exibição de informações relevantes

- **Motivação:** Como o volume de dados em uma representação visual é, normalmente, muito grande, é importante procurar exibir somente as informações que realmente representem as principais informações.
- **Questão de conformação:** As informações relevantes são exibidas através de formas alternativas de representação?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.31 apresenta os três problemas enquadrados neste critério. A média do grau de severidade é 3,33. Este alto grau é devido a despreocupação com a exibição das informações mais importantes. Dois problemas estão relacionados à técnica e um, à interface.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
12	T	A janela <i>show</i> mostra elementos tanto em foco quanto na outra área, quebrando completamente a expectativa do usuário em relação a técnica de visualização.	4	1
13	I	A janela <i>show</i> e a janela sem nome ao lado dela deveriam ser uma só, já que as duas mostram informações do nó no foco.	3	1
14	T	Não há como filtrar os elementos a ser exibidos, nem como escolher forma ou ordem de exibição.	3	1
Média geral			3,33	

FIGURA 6.31 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Exibição de informações relevantes”

5. Ordem lógica

- **Motivação:** A carência de ordem lógica afeta a localização dos objetos, podendo causar ainda desordem visual e desorientação espacial.
- **Questão de conformação:** A desordem visual, ambigüidade na representação visual e distribuição dos elementos no *layout*. afetam a localização dos objetos?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Neste critério foram enquadrados sete problemas, dois quais dois foram mal classificados (17 e 18). Como pode ser visto na Figura 6.32, os problemas de número 17 e 18 são relativos à interface. Ambos deveriam ter sido enquadrados (pelo avaliador) no critério facilidade de uso, pois são referentes aos mecanismos interativos. A média do grau de severidade destes problemas é 1,91. O único problema relacionado à técnica que possui um grau de severidade alto aponta para uma falha na distribuição dos elementos no *layout*.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
15	T	Ao clicar em um nó a árvore se reestrutura toda e o usuário se perde, não sabe como foi parar lá. Principalmente em nós longe da raiz ou do nó a atual (formação do novo <i>layout</i>).	1	1
16	I	A localização dos botões (e o fato de haver 2 conjuntos de botões iguais para coisas diferentes) é confusa.	3	1
17	I	Os botões não possuem <i>hints</i> (alguns), tornando a navegação praticamente impossível.	3	1
18	I	O acionamento de alguns botões habilita/desabilita o funcionamento de alguns botões.	2	1
19	T	Seria interessante que fosse possível arrastar os nós em relação ao foco com o mouse, ao invés de apenas pelos botões.	1,5	4

FIGURA 6.32 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Ordem lógica”

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
20	I	Os dois focos da árvore deveriam ter os mesmos controles; existem dois focos, mas a informação é essencialmente a mesma, e deveria ser controlada de maneira uniforme.	2,5	2
21	T	A distribuição sem critérios de posicionamento dificulta a procura por um elemento específico, além de deixar o usuário perdido.	3	1
Média geral			1,91	

FIGURA 6.32 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Ordem lógica” (continuação)

6. Oclusão de objetos

- **Motivação:** A oclusão parcial ou total de elementos ocorre quando existe sobreposição de objetos, geralmente causada pelo grande volume de informações. A oclusão completa é indesejável, pois pode esconder informações importantes do usuário que poderiam ser úteis nas tarefas de localização e orientação no espaço de informação.
- **Questão de conformação:** O número de elementos de informação completamente ocultos é muito grande, afetando a localização de objetos?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.33 lista os cinco problemas de usabilidade detectados; juntos determinam a média do grau de severidade como 3,2. Isto mostra que, em diversas situações, o usuário deparou-se com oclusão de objetos na visualização. Isto é um sério problema nas técnicas de visualização de informações hierárquicas, pois dificultam a localização, podendo causar desorientação espacial no usuário.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
22	T	Quando se clica num nodo distante da raiz um pedaço da árvore sai da tela a esquerda, sendo que metade da tela tem espaço a direita.	3	1
23	T	O <i>label</i> de nós muito próximos ficam sobrepostos em diversas situações.	3	1
24	T	Em vários casos as arestas ficam obstruídas e é impossível saber qual nó é filho de qual outro.	3	1
25	T	A sobreposição de objetos e a não exibição completa de seus nomes dificultam a navegação na hierarquia, já que se torna difícil encontrar um objeto específico.	3	1
26	I	Utilizando a ferramenta em uma resolução de 640x480 pixels, perde-se grande parte da exibição da estrutura, já que o ambiente não possui barras de rolagem.	4	1
Média geral			3,2	

FIGURA 6.33 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Oclusão de objetos”

O alto grau de severidade destes problemas mostram ainda o grande impacto da oclusão nas visualizações geradas pela técnica. Verificando o grau de severidade “simples” (média =

1,91) do critério ordem lógica, pode-se dizer que o problema que não é nos algoritmos de geração de *layout*, mas sim dos mecanismos interativos fornecidos não previnem a oclusão quando o usuário os manipula.

7. Detalhes

- **Motivação:** O acesso a uma determinada informação em detalhes é importante devido à complexidade e quantidade de informações normalmente exibidas em uma representação visual.
- **Questão de conformação:** É permitido que o usuário controle o nível de detalhes?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A Figura 6.33 mostra os cinco problemas identificados neste critério. O grau médio de severidade é 2,6. Existem três problemas de interface e dois relacionados à técnica.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
27	I	O controle “tamanho do retângulo” é inútil, pois ou se deve poder ler o <i>label</i> , ou não! (e não pela metade).	2	1
28	I	O “limite para ícones” e a “largura do retângulo” devem ter um só controle. Os dois servem para a mesma coisa.	3	1
29	I	Analogamente, o “limite de exibição” serve o mesmo propósito. Deveria haver um único controle para as três características.	3	1
30	T	O controle do nível de detalhes não deveria ser feito através do colapso / expansão de nodos, mas sim através dos focos da árvore (da distância aos focos).	2	1
31	T	Não há elementos que informem ao usuário detalhes dos objetos. Para o usuário ter acesso a esses detalhes é necessário requisitar os detalhes de um objeto específico. Dessa forma ele tem que adivinhar qual objeto possui a característica desejada.	3	1
Média geral			2,6	

FIGURA 6.34 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Detalhes”

8. Contexto de referência

- **Motivação:** Uma forma de minimizar o problema de desorientação espacial é fornecer um visão global do conjunto de informações através de uma representação visual reduzida ou distorcida de todo conjunto.
- **Questão de conformação:** A legibilidade e visibilidade do contexto de referência são adequadas? Existe a representação da localização do foco no contexto de referência? Os elementos de informação já visitados são destacados na hierarquia?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Neste critério foram enquadrados três problemas relacionados às características da técnica (Fig. 6.35). O grau de severidade (média = 2,75) mostra que a técnica deveria ter um cuidado maior com a exibição das informações que não estão no foco principal. Isto é mais grave se analisarmos o grau médio dos problemas listados no critério Detalhes (média = 2,6), pois o objetivo do

segundo foco (foco principal) é exatamente melhorar a visão foco + contexto em relação às técnicas que utilizam representação hiperbólica.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
32	T	Ao exibir os atributos de um nodo e clicar em um deles, a informação do nome do nodo desaparece e não pode ser recuperada (problema na janela de atributos).	2,5	2
33	T	O "caminho aberto" de nós, dentro da árvore, não é diferenciado dos demais nós.	2	1
34	T	Não foi possível perceber diferença na visualização de elementos já visitados. Este recurso evitaria buscas repetidas pelos mesmos caminhos quando procuramos por uma informação.	4	1
Média geral			2,75	

FIGURA 6.35 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação "Contexto de referência"

9. Codificação de informações em atributos visuais

- **Motivação:** A codificação das informações (tanto os elementos como seus atributos) deve facilitar a percepção por parte dos usuários.
- **Questão de conformação:** São utilizadas formas adequadas para codificar informações?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** A figura 6.36 lista os três problemas detectados. O grau de severidade médio é 2. Dos três problemas, dois são de interface.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
35	I	Controles como limites e larguras deveriam ser <i>sliders</i>	3	1
36	I	Botões de <i>undo</i> e <i>redo</i> deveriam ter ícones familiares, e significativamente diferentes dos de rotação. Os tooltips deveriam ser " <i>undo</i> " e " <i>redo</i> ", e não " <i>previous</i> " e " <i>next</i> ".	2	1
37	T	Não há muitas formas alternativas além de marcas ou cores; mesmo estas formas alternativas simples perdem a eficiência quando a estrutura é bastante grande.	1	1
Média geral			2	

FIGURA 6.36 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação "Codificação de informações em atributos visuais"

10. Características de realismo

- **Motivação:** A utilização de realismo auxilia a interpretação das informações pelo usuário, podendo minimizar os efeitos da oclusão de objetos, da desordem visual e da desorientação espacial.
- **Questão de conformação:** Existem características de realismo na técnica de visualização?

Nenhum problema detectado, pois a técnica avaliada não utiliza técnicas de realismo.

11. Tempo de resposta

- **Motivação:** A desorientação espacial do usuário pode ocorrer devido ao tempo de resposta na geração de uma nova representação visual após uma interação. Este problema pode ser minimizado pela adoção de algoritmos de exibição mais rápidos e eficientes.
- **Questão de conformação:** O tempo de geração de uma nova representação é razoável?

Nenhum problema foi detectado, pois a representação visual é relativamente simples, não há animação e as hierarquias utilizadas não eram demasiadamente grandes.

12. Senso de orientação

- **Motivação:** Problemas de falta de ordem lógica, localização de objetos e desorientação espacial podem ocorrer na transição entre representações visuais, quando o usuário está utilizando algum mecanismo interativo que causa mudança brusca no *layout*.
- **Questão de conformação:** Em algum momento houve mudança brusca no *layout*?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Apesar dos problemas detectados não apresentarem média elevada no grau de severidade (média = 2,8), pela quantidade de problemas de usabilidade identificados, a heurística permitiu evidenciar, ocorrência de desorientação do usuário com esta técnica de visualização. A Figura 6.37 mostra que todos os problemas detectados estão relacionados à técnica e nenhum à interface. Observando-se as situações em que isso ocorre, nota-se que esses resultados estão relacionados aos obtidos no critério “Oclusão de objetos”.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
38	T	Quando se expande um ramo que se encontra no lado esquerdo ele vai para o lado direito onde se expande. Confunde o usuário leigo	2	1
39	T	Não há nenhuma animação para sinalizar o tipo de movimentação que ocorre na árvore ao se expandir um nó.	3	1
40	T	Quando se rotaciona a árvore, isso é exibido de maneira brusca e pouco intuitiva (falta de animação).	3	1
41	T	A localização dos nós muda completamente quando se clica em alguns lugares da árvore (mudança brusca no layout).	3	1
42	T	Seria interessante que, ao se expandir um nó, o ambiente de visualização fosse expandido na direita do nó.	3	1
43	T	Às vezes toda uma parte da árvore é deslocada para outro local da tela, causando desorientação.	3	1
44	T	Não existe nenhuma transição entre dois estados da árvore. O usuário fica desorientado (falta de animação).	4	1

FIGURA 6.37 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Senso de orientação”

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
45	T	A árvore deveria se expandir na direção do elo, ou poderia pelo menos sinalizar a mudança suavemente.	2	1
46	T	Como a área de detalhe fica sempre a direita da área de contexto há uma desorientação quando clicamos em um elemento que está na parte esquerda, por exemplo.	3	1
47	T	O avanço no nível da hierarquia provoca uma reexibição de toda a estrutura e não só do setor em que se está trabalhando.	2	1
Média geral			2,8	

FIGURA 6.37 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Senso de orientação” (continuação)

Mecanismos de interação

13. Facilidade de uso

- **Motivação:** Este critério tem relação com as formas oferecidas pela técnica para realização das operações e com o tempo gasto pelo usuário na realização das referidas operações.
- **Questão de conformação:** O tempo de resposta do sistema é razoável? A técnica permite que o usuário corrija seus erros?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Como pode ser visto na Figura 6.38 todos os problemas relatados estão relacionados à interface, tendo relação direta com a forma como estão apresentados os botões e não com o seu funcionamento. Os avaliadores evidenciaram problemas que dificultam a interpretação dos comandos e, conseqüentemente, a operação geral da ferramenta. O grau de severidade médio ficou em 2,8 não sendo considerado demasiadamente alto, mas indica problemas que devem ser corrigidos.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
48	I	Os <i>hints</i> nos botões de <i>undo</i> e <i>redo</i> são pouco intuitivos (<i>previous</i> e <i>next</i>), assim como os ícones escolhidos.	3	1
49	I	O tipo de informação que se obtém ao clicar com o botão da direita varia conforme o botão que está pressionado na barra de ferramentas.	2	1
50	I	Existe uma mistura de idiomas nos textos de dicas dos botões. Boa parte está em inglês. Deveria ser tudo em português não há porque americanizar.	2	1
51	I	Não há ajuda <i>on-line</i> , o que torna difícil o esclarecimento de dúvidas sobre a forma de visualização.	3,5	2
Média geral			2,8	

FIGURA 6.38 - Problemas de usabilidade enquadrados no critério de avaliação “Facilidade de uso”

Eficiência no uso

- **Motivação:** Está relacionada com a eficiência na interação homem-interface, face os recursos empregados como tempo, quantidade de incidentes, passos desnecessários e busca de ajuda.
- **Questão de conformação:** O tempo gasto na execução de cada tarefa é razoável? A quantidade de erros compromete a execução das tarefas? O usuário executa muitos passos desnecessários? O usuário busca muita ajuda?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Neste critério apenas um problema foi detectado. A Figura 6.39 exhibe-o. Isto pode significar que apesar dos problemas encontrados, a técnica é eficiente do ponto de vista de realização das operações interativas, embora o critério anterior tenha demonstrado problemas na forma como essas operações podem ser aprendidas.

Código	Tipo	Descrição do Problema	Severidade média	Frequência
52	T	O tempo gasto para re-localizar os nós irmãos, quando ocorre qualquer pequena modificação no <i>layout</i> da árvore é considerável.	2	1

FIGURA 6.39 - Problema de usabilidade enquadrado no critério de avaliação “Eficiência no uso”

14. Satisfação subjetiva

- **Motivação:** Opinião geral sobre a utilização da ferramenta de visualização.
- **Questão de conformação:** Há indícios da satisfação ou insatisfação frente a esta técnica de visualização?
- **Problemas de usabilidade encontrados:** Este critério não foi aplicado no material de avaliação devido ao pouco tempo disponível para o teste pelos alunos (uma hora e meia apenas), mas mesmo assim, um dos avaliadores descreveu a sua opinião sobre a técnica: *“O novo modelo de visualização de estruturas de informações tem várias vantagens atraentes. Porém, ainda há detalhes de interface a serem aprimorados como já dito, a maior dificuldade encontra-se na adaptação ao uso de um modelo que quebra completamente o padrão usado pela maioria dos sistemas”*.

Utilizando os critérios de avaliação aqui definidos, e que consideram explicitamente tanto a representação visual em si como também as operações sobre a visualização, os cinco alunos encontraram 68 problemas de usabilidade. Doze problemas foram identificados por mais de um avaliador, determinando como 56 o número de diferentes problemas de usabilidade. Destes, quatro foram descartados (Tabela A5.3 – Anexo 5), porque não são problemas de usabilidade e, sim, sugestões de que como algumas características deveriam ser. O gráfico na Figura 6.40 mostra os resultados obtidos com este conjunto de heurísticas. O grau de severidade médio geral dos problemas de usabilidade detectados utilizando os critérios de avaliação definidos por Luzzardi foi de 2,54.

Dentre os 52 problemas de usabilidade identificados, 17 (32,69%) estavam relacionados com problemas inerentes à interface; e o restante, 35 problemas (67,31%), relacionados com a técnica de visualização avaliada.

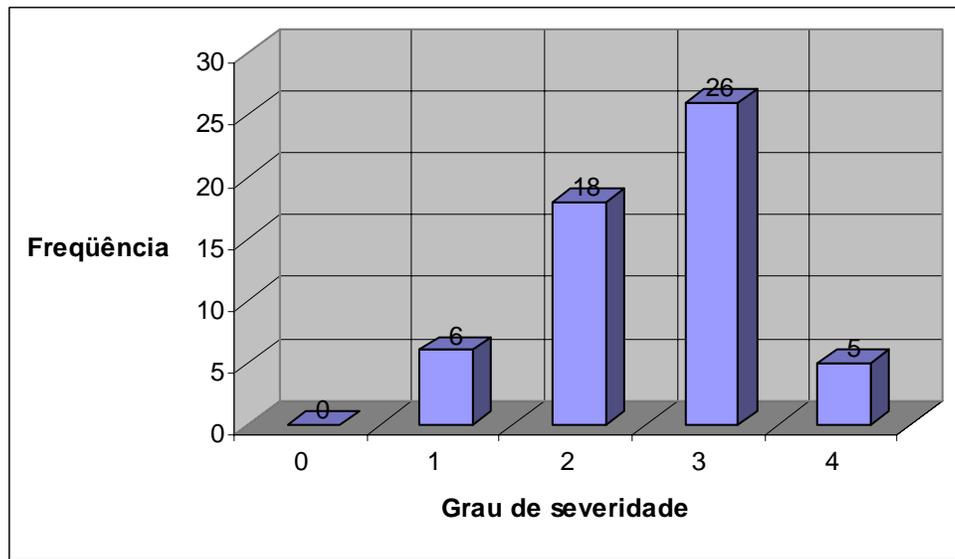


FIGURA 6.40 - Grau de severidade dos 55 problemas de usabilidade encontrados com os critérios de avaliação propostos

Analisando o grau de severidade dos problemas de usabilidade detectados, notou-se poucos problemas graves nos mecanismos de interação, em si. Foram detectados, por outro lado, problemas relacionados às novas representações geradas. Os critérios mais preocupantes e que afetaram muito o desempenho dos usuários foram **oclusão de objetos** (grau de severidade médio = 3,2) e **exibição de informações relevantes** (3,33). Os critérios **densidade dos dados** (grau de severidade médio = 2,67), **detalhes** (2,6), **contexto de referência** (2,75) e **senso de orientação** (2,8) também demonstram problemas de usabilidade que devem ser considerados para uma revisão da técnica.

A análise do resultado da avaliação heurística por um avaliador mais experiente (o próprio desenvolvedor da técnica) foi utilizada como controle, para verificar os resultados obtidos pelos demais, todos indivíduos que tinham grau similar de treinamento a respeito do funcionamento da técnica. Nesta avaliação, foram detectados 24 problemas de usabilidade, dos quais sete foram descartados. Quinze problemas (88,3%) foram identificados como sendo da própria técnica e dois (11,7%), relativos à interface. Os problemas mais significativos encontrados na sua avaliação foram em relação às **limitações** da técnica de visualização e quanto a **eficiência no uso** da ferramenta.

A grande quantidade de problemas descartados aconteceu devido à dificuldade do avaliador em atribuir um grau de severidade aos problemas. Segundo sua opinião, isto ocorreu por vários fatores: (a) tipo da estrutura visualizada no momento; (b) quantidade de informações exibidas; (c) comportamento da estrutura e (d) região onde ocorreu o problema (contexto, primeiro foco ou segundo foco).

Pode-se constatar que enquanto os alunos descobriram 17 problemas relacionados com a interface, correspondendo a 32,69% do total, este avaliador encontrou apenas dois problemas (11,7%). Entretanto, observa-se que 67,31% dos problemas detectados pelos

alunos eram relativos à técnica. A diferença para o percentual obtido na avaliação do desenvolvedor é certamente devida à familiaridade deste com a interface da ferramenta.

6.1.4 Discussão

A análise dos resultados das avaliações heurísticas, tanto com os alunos como com os avaliadores experientes, permitiu constatações, comentadas a seguir, relacionadas às características de abrangência e amplitude pretendidas para o conjunto de critérios.

A primeira constatação, e uma das mais importantes, foi que os critérios de avaliação aqui definidos permitiram encontrar a maior quantidade de problemas relacionados à técnica de visualização *Bifocal Tree* (isto pode ser verificado na Figura 6.41). Desta forma, pode-se concluir que eles são mais eficientes na identificação de problemas de usabilidade em técnicas de visualização de informações hierárquicas que os outros dois conjuntos utilizados. Esta característica é muito importante para a área da Visualização de Informações, mais especificamente para a avaliação destas técnicas.

A Figura 6.41 mostra as percentagens da quantidade de problemas de usabilidade detectados e enquadrados em cada tipo de critério de avaliação relacionados à técnica e a interface.

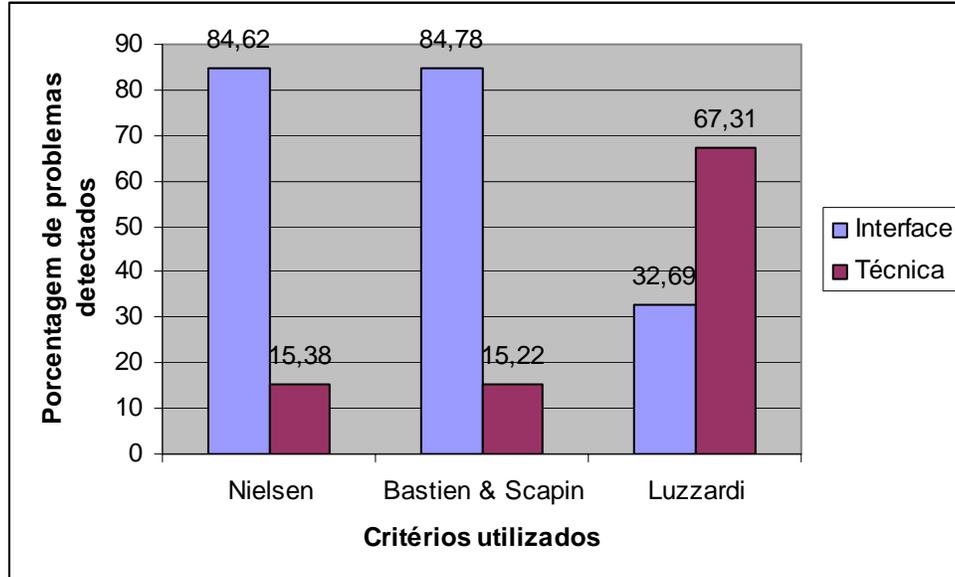


FIGURA 6.41 - Percentagem dos problemas de usabilidade obtidos na avaliação heurística com os grupos de alunos

A segunda constatação foi que os avaliadores, utilizando este conjunto de critérios, conseguiram identificar também diversos problemas relacionados à interface. Esta constatação é relevante para uma futura decisão sobre a complementação do conjunto de critérios de avaliação de tal forma a identificar também, todos os problemas de usabilidade

que as heurísticas de Nielsen e os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin conseguem detectar. À primeira vista, pensava-se que seria essencial a técnica sofrer uma inspeção de usabilidade tradicional para verificar as características da interface gráfica, e separadamente, a avaliação sob nossos critérios. Os resultados mostram que deve ser investigada a vantagem de um único conjunto de critérios.

A terceira constatação, que pode ser vista comparando-se os gráficos das Figuras 6.11, 6.27 e 6.40, é que a avaliação utilizando o conjunto de critérios aqui definidos, além de identificar a maior quantidade de problemas relacionados à técnica, detectou também uma quantidade maior de problemas graves (e catastróficos) do que as outras duas avaliações. A quantidade de problemas graves encontrados foi 79, dos quais 34 (43,04%) para os critérios de avaliação propostos, 28 (35,44%) para os critérios ergonômicos e 17 (21,52%) para as heurísticas de Nielsen. Grande parte dos problemas encontrados pelos três grupos estão relacionados às mesmas características.

A quarta, e talvez a mais importante constatação, é relativa à abrangência do conjunto de critérios de avaliação. Quase todos os alunos-avaliadores, exceto um, conseguiram enquadrar todos os problemas de usabilidade encontrados. Um aluno apenas, que detectou 16 problemas, não conseguiu classificar seis deles no conjunto de critérios correspondentes. Num posterior enquadramento, durante a análise dos instrumentos de avaliação, quatro problemas referentes à técnica e dois à interface foram enquadrados e os outros dois foram descartados.

Outra forma de verificação realizada foi re-enquadrar os 13 problemas relacionados à técnica, identificados pelos alunos que utilizaram as avaliações com as heurísticas de Nielsen e os critérios de Bastien e Scapin, no conjunto de critérios proposto neste trabalho. Todos os problemas detectados puderam ser enquadrados, ou seja, são contemplados pelos nossos critérios, evidenciando a abrangência do conjunto. Estes problemas podem ser vistos nas Tabelas A4.1 e A4.2 (Anexo 4). Efetivamente, ao observar os resultados das avaliações com os critérios aqui propostos (seção 6.1.3), destes 13 problemas, apenas dois (problema 5, avaliação com Nielsen, Tabela A4.1 e problema 4, avaliação com Bastien & Scapin, Tabela A4.2 – Anexo 4) não foram detectados. No entanto, estes problemas estão diretamente ligados à **oclusão de objetos** e, por alguma razão desconhecida, os avaliadores não conseguiram identificá-los.

Uma última constatação foi verificar que os problemas mais graves da técnica encontrados pelas avaliações com Nielsen e Bastien & Scapin estão relacionados com a falta de **prevenção contra erros**. A avaliação heurística utilizando os critérios aqui propostos detectou dois outros problemas graves que afetaram o desempenho dos usuários e que não foram detectados (claramente) nas outras duas avaliações. Este problemas foram **oclusão de objetos** e **exibição de informações relevantes**. Além destes, conforme já havia sido comentado, outros problemas detectados exclusivamente com os nossos critérios, um pouco menos significativos, mas que devem ser considerados, estavam relacionados **densidade dos dados, detalhes, contexto de referência e senso de orientação**.

É necessário comentar ainda dois aspectos importantes e cruciais para a análise das avaliações realizadas: o descarte de problemas detectados na computação dos resultados e o enquadramento dos problemas identificados.

Do total de 181 problemas de usabilidade detectados pelos alunos, 14 foram descartados (7,73 % do total) por se tratarem de problemas decorrentes de dúvidas não apresentadas durante o treinamento. Como pode visto na Tabela 5.1 (Anexo 5), três problemas foram descartados das avaliações utilizando as heurísticas de Nielsen e sete, das que utilizaram os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin e quatro com os critérios definidos neste trabalho.

Quanto ao enquadramento dos problemas, foi constatada uma pequena dificuldade dos alunos em enquadrar o problema detectado no conjunto de heurísticas do instrumento. O problema é complexo, pois os avaliadores, algumas vezes, deveriam enquadrar o problema em mais de um critério de avaliação. O instrumento permitia o enquadramento em mais de um critério mais isto foi mais utilizado pelos avaliadores experientes; poucos alunos utilizaram esta prática o que pode ter sido devido à pouca experiência em processos de avaliação desse tipo ou ao tempo reduzido da avaliação.

6.2 Utilização dos critérios de avaliação com método de inspeção de conformidade

Conforme o apresentado no capítulo 3, numa inspeção de conformidade, um avaliador experiente avalia uma interface baseado na confrontação com princípios, *guidelines*, recomendações e/ou normas, procurando por padrões de qualidade explícitos para a interface ou problemas de usabilidade decorrentes da falta de qualidade ou conformação com normas.

As recomendações refletem a experiência acumulada por pesquisadores de IHC sobre considerações referentes à configuração da interface, *layout*, cores, disposição, etc. As normas são elaboradas por institutos oficiais de padronização como as normas ISO (Capítulo 3, seção 3.1), por exemplo. Em nossa inspeção de conformidade são utilizadas recomendações postuladas levando-se em consideração o conjunto de critérios de avaliação aqui definidos.

Numa inspeção de conformidade podem ser aplicados *checklists* (conjunto de questões respondidas pelos avaliadores) formais ou informais. Neste trabalho, são propostos dois *checklists* informais, um para avaliar as representações visuais e outro para analisar os mecanismos de interação.

Para validar o uso do conjunto de critérios com o método de Inspeção de Conformidade, foram realizadas duas sessões de avaliação, com dois avaliadores experientes, utilizando a técnica *Bifocal Tree*.

O material para inspeção de conformidade (Anexo 6) foi adaptado do material confeccionado para a realização das sessões de avaliação heurística aplicada anteriormente aos dois grupos de avaliadores. Na avaliação heurística, cada critério de avaliação apresenta uma motivação e uma questão de conformidade. Na inspeção de conformidade, a motivação é o próprio critério de avaliação, enquanto que cada questão de conformidade foi mapeada para questões de um *checklist*, correspondendo desta forma, a uma ou mais perguntas.

Nesse tipo de avaliação, cada pergunta deve ser respondida pelo avaliador, com uma respectiva observação, se for o caso. Ambos avaliadores tiveram liberdade completa ao tempo de execução da inspeção de conformidade.

A análise dos resultados obtidos com as duas avaliações foi feita da seguinte forma: cada questão foi analisada e os problemas de usabilidade detectados foram registrados. Todas as observações também foram analisadas, procurando por possíveis problemas de usabilidade ali mencionados, de tal forma que diversos problemas foram identificados e computados a partir destas.

O primeiro avaliador encontrou 28 problemas de usabilidade e cometeu sete erros de interpretação e/ou identificação. O segundo encontrou 16 problemas, cometendo quatro erros do mesmo tipo. O total de problemas encontrados foi 44 e o total de erros cometidos, por ambos avaliadores, foi 11. Destes 44 problemas, foram identificados 35 realmente diferentes (nove problemas eram idênticos). Devido à natureza dos *checklists*, guiando a avaliação, não foram encontrados problemas de usabilidade relacionados à interface; todos mencionavam aspectos relacionados à representação visual ou aos critérios relativos aos mecanismos interativos, ou seja, não era objetivo deste trabalho identificar problemas relacionados puramente a interface.

Dos critérios de avaliação referentes a representação visual apenas o critério **características de realismo** não apresentou problema de usabilidade. Em relação aos mecanismos de interação os que apresentaram problemas foram **expansão, seleção de objetos, manipulação do ponto de vista e recuperação de situações anteriores**.

A comparação dos resultados obtidos da inspeção de conformidade com aqueles obtidos na avaliação heurística utilizando apenas os critérios aqui propostos mostraram concordância tanto qualitativa quanto quantitativa. Na avaliação heurística, foram detectados 35 problemas de usabilidade relacionados às características da técnica, número este também detectado no método de inspeção de conformidade. Após análise comparativa, verificou-se que os problemas identificados são relativamente os mesmos.

6.3 Utilização dos critérios de avaliação na definição de ensaios de interação

6.3.1 Tarefas de usuário

Um teste de usabilidade baseado em ensaios de interação utiliza um conjunto de tarefas de usuário de baixo nível (tarefas explícitas) derivadas de um conjunto de tarefas de alto nível (tarefas implícitas).

Tarefas de alto nível englobam tarefas que podem ser, às vezes, subjetivas, ou seja, algumas vezes aparentam ser tarefas gerais e em outros momentos tarefas específicas. São tarefas que os usuários devem executar, tal como as sete tarefas básicas utilizadas no processo de análise de dados definidas por Freitas e Wagner [FRE 95]: navegação, seleção, consulta, preparação, processamento, anotação e armazenamento. Ou, ainda, as sete tarefas de usuário que aplicações de visualização deveriam suportar [SHN 96]: visão geral, *zooming*, filtragem, detalhes por demanda ou visão geral + detalhe, relações, histórico e extração.

Outros autores também definiram tarefas de alto nível. Wehrend e Lewis [WEH 90], por exemplo, definiram onze tarefas: localizar, identificar, distinguir, categorizar, agrupar, distribuir, contar, comparar dentro das entidades, comparar entre relações, associar e correlacionar. Zhou e Feiner [ZHO 98] propuseram uma classificação de tarefas de usuário levando em consideração os aspectos visuais das técnicas de visualização (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Tarefas de usuário de alto nível [ZHO 98].

Implicação	Tipo	Subtipo	Tarefas de usuário
Organização	Agrupamento visual	Proximidade	Associar, agrupar, localizar
		Similaridade	Categorizar, agrupar, distinguir
		Continuidade	Associar, localizar, revelar
		Fechamento	Agrupar, localizar, esboçar
	Atenção visual		Agrupar, distinguir, enfatizar, localizar
	Seqüência Visual		Enfatizar, identificar, contar
	Composição visual		Associar, correlacionar, identificar, revelar
Sinalização	Estruturação		Tabular, lotar, estruturar, traçar, mapear
	Codificação		Rotular, simbolizar, retratar, quantificar
Transformação	Modificação		Enfatizar, generalizar, revelar
	Transição		Trocar

Como pôde ser visto, ambos trabalhos [WEH 90] [ZHO 98] definem tarefas de usuários de alto nível e bem similares. Já North e Shneiderman [NOR 00], avaliando uma ferramenta de visualização baseada em um modelo de dados relacional (chamado *Snap*) para visualizações coordenadas (ou múltiplas visões), também utilizaram um conjunto de tarefas de usuários de alto nível: verificação da existência ou inexistência de informações, busca guiada por padrões, pesquisa visual, pesquisa nominal, comparação entre dois ou mais elementos, busca por um valor específico de atributos e busca geral.

Já as tarefas de baixo nível são tarefas que os usuários executam sobre uma representação visual, ou seja, tarefas explícitas sobre o conjunto de informações e são utilizadas nos ensaios de interação. O objetivo básico destas tarefas é a interação entre usuário e a representação visual, para o cumprimento de tarefas de alto nível.

Neste trabalho, foram identificados dez mecanismos interativos que permitem executar as tarefas de usuário de baixo nível (e, indiretamente, as tarefas alto nível). Os mecanismos interativos foram divididos em duas classes: (a) os que permitem **operações sobre os dados**: busca (*search* ou *querying*), filtragem (*filtering*) ou refinamento de consulta, poda (*prunning*), expansão (*growing*) e agrupamento (*clustering*) e (b) os que permitem **operações sobre a representação dos dados**: seleção de elementos, manipulação do ponto de vista, manipulação geométrica (rotação, translação, movimentação, mudança de escala), *zooming* (controle do nível de detalhes) e recuperação de situações anteriores.

Em suma, a distinção entre tarefas de usuário e mecanismos de interação é que **tarefas de usuário** (alto nível) correspondem às ações de alto nível, que os usuários podem executar sobre a representação visual para manipular informações, símbolos e objetos, e **mecanismos de interação** correspondem às operações de baixo nível, que permitem aos usuários **realizarem** as tarefas de usuário diretamente sobre uma representação visual. Neste trabalho, as tarefas de usuário de baixo nível correspondem aos mecanismos de interação.

6.3.2 Mapeamento de critérios de avaliação para tarefas de usuário

Num processo de avaliação baseado em ensaios de interação, tanto os critérios de representação visual como os critérios referentes aos mecanismos de interação devem ser verificados por meio de tarefas de baixo nível. Assim, no planejamento de um ensaio de interação, deve-se primeiro distinguir e selecionar as tarefas de baixo nível necessárias para verificar os critérios de avaliação desejados.

Neste trabalho, para manter reduzido o volume de tarefas a serem descritas, foram identificadas aquelas de baixo nível relacionadas com a verificação dos critérios para mecanismos de interação. Estas tarefas são citadas e descritas nas tabelas a seguir. A

apresentação é feita de acordo com a divisão em mecanismos correspondentes a **operações sobre os dados e operações sobre a representação dos dados**.

Para introduzir os critérios de avaliação de representação visual, as tarefas de baixo nível, devem ser executadas de duas formas: (1) com um conjunto de dados considerado mínimo e (2) com conjuntos de informações que possam maximizar o surgimento de problemas graves. Numa técnica de visualização de informações hierárquicas, por exemplo, seriam empregadas diferentes árvores, modificando-se o número de níveis, o grau dos nodos e o balanceamento da árvore.

Tarefas vinculadas a operações sobre os dados

Busca		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
1	Encontrar o elemento de informação ancestral mais profundo.	Avaliar se o usuário consegue buscar um elemento de informação que se encontra num nível hierárquico longe do nodo raiz.
2	Localizar duas estruturas duplicadas contendo os mesmos objetos.	Avaliar se o usuário consegue buscar elementos de informação em locais diferentes da hierarquia verificando a comparação entre duas sub-árvores diferentes.
3	Localizar um elemento de informação dado somente o seu nome.	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário possui apenas um atributo (nome do elemento de informação).
4	Localizar um elemento de informação conhecendo todos os seus atributos.	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário conhece todos os atributos do elemento de informação a ser encontrado. Analisar a capacidade da técnica em relação a exibição dos atributos dos elementos, ou seja, verificar a forma que a técnica exhibe os atributos.
5	Identificar o maior caminho.	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário precisa identificar o maior caminho. Verificar se o usuário é capaz de identificar o maior caminho.
6	Identificar o maior elemento de informação (maior diretório ou o maior arquivo, por exemplo).	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário necessita encontrar um elemento de informação pelo seu tamanho.
7	Buscar elementos de informação baseado em similaridade.	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário precisa encontrar um elemento de informação tendo em mãos um outro elemento similar (mesmo tamanho, tipo, data, etc.).
8	Analisar de relações existentes entre diferentes elementos de informação através de seus atributos (correlação).	Avaliar a execução de uma busca em diferentes caminhos procurando elementos de informação que possuem atributos similares.
9	Contagem de elementos de informação que tem um determinado atributo.	Avaliar o desempenho do usuário em distinguir e contar quantos níveis hierárquicos a estrutura possui. Este problema é mais relevante se a técnica de visualização não exhibe todos os níveis ao mesmo tempo.

FIGURA 6.42 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “busca”

Busca		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
10	Comparar dois elementos de informação por algum atributo.	Avaliar o desempenho do usuário em identificar e verificar os atributos de um elemento de informação através da comparação de diferentes elementos de informação em sub-árvores diferentes.
11	Comparar dois elementos de informação por relacionamentos mantidos.	Avaliar o desempenho do usuário em identificar e verificar os relacionamentos entre elementos de informação através da comparação de diferentes elementos.
12	Identificar se a estrutura exibida é binária ou <i>n-ary</i> .	Avaliar o desempenho do usuário em identificar o tipo de estrutura de uma árvore.
13	Identificar se a estrutura é balanceada ou não-balanceada	Avaliar o desempenho do usuário em identificar a estrutura exibida é balanceada ou não.
14	Procurar o elemento de informação (nome conhecido) e que está localizado perto ou longe de um elemento de informação determinado.	Avaliar se o usuário consegue procurar o elemento conhecido e que está localizado perto ou longe do foco principal utilizando os mecanismos para busca.
15	Identificar a quantidade de níveis hierárquicos.	Avaliar a execução de uma busca onde o usuário necessita identificar (contar) o número de níveis hierárquicos.
16	Identificar o número de filhos do elemento de informação.	Avaliar se o usuário consegue buscar um elemento de informação identificando a quantidade de filhos.

FIGURA 6.42 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “busca” (continuação)

Filtragem		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
17	Filtrar informações desnecessárias.	Avaliar a execução de uma filtragem onde o usuário precisa reduzir a quantidade de objetos desnecessários.
18	Filtrar informações que contém um determinado valor de atributo.	Avaliar a execução de uma filtragem onde o usuário necessita eliminar elementos de informação que possuem um determinado valor para um atributo.
19	Filtrar informações por tipo.	Avaliar a execução de uma filtragem onde o usuário necessita filtrar elementos de informação que possui um determinado tipo.
20	Filtrar informações por tamanho.	Avaliar a execução de uma filtragem onde o usuário precisa eliminar elemento de informação que possuem um determinado tamanho.

FIGURA 6.43 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Filtragem”

Poda		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
21	Podar a estrutura a partir de um nível especificado.	Verificar se o usuário consegue eliminar o nível especificado utilizando o mecanismo para podar os elementos de informação e se o usuário consegue identificar qual a profundidade da hierarquia resultante.
22	Podar a árvore a partir do elemento de informação que possui um nome conhecido.	Avaliar a execução de uma poda onde o usuário precisa podar uma árvore a partir de um elemento de informação que possui o nome conhecido. Avaliar se o usuário é capaz de identificar e podar a sub-árvore a partir deste elemento.
23	Podar o último nível da hierarquia.	Analisar se o usuário consegue eliminar o último nível da hierarquia utilizando o mecanismo de poda de elementos de informação verificando ainda qual a profundidade da hierarquia resultante.

FIGURA 6.44 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Poda”

Expansão		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
24	Identificar e expandir o agrupamento que possui um nome conhecido e informar quantos elementos de informação este agrupamento possui.	Analisar se o usuário consegue identificar e selecionar um agrupamento que possui o nome especificado utilizando os mecanismos para expansão e expandir este agrupamento, verificando também quantos nodos possui o nodo expandido.
25	Identificar e expandir um elemento de informação podado que possui um nome conhecido.	Avaliar se o usuário consegue identificar e selecionar um elemento de informação podado que possui o nome especificado utilizando os mecanismos para expansão e expandir o este elemento, verificando ainda quantos nodos possui o nodo expandido.

FIGURA 6.45 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Expansão”

Agrupamento		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
26	Agrupar elementos de informação relacionadas (ruas por bairro ou ruas por ordem alfabética, por exemplo).	Avaliar a execução de um agrupamento onde o usuário precisa agrupar elementos de informação que tem uma relação qualquer.
27	Agrupar elementos de informação que possuem um determinado valor de atributo (palavra-chave, por exemplo).	Avaliar a execução de um agrupamento onde o usuário precisa agrupar elementos de informação que tem um determinado valor de atributo.
28	Agrupar elementos de informação de um determinado tipo.	Avaliar a execução de um agrupamento onde o usuário precisa agrupar elementos de informação por tipo.
29	Agrupar elementos de informação de um determinado tamanho.	Avaliar a execução de um agrupamento onde o usuário precisa agrupar elementos de informação por tamanho.

FIGURA 6.46 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Agrupamento”

Tarefas vinculadas a operações sobre a representação dos dados

Seleção de objetos		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
30	Selecionar um elemento de informação diretamente na tela.	Avaliar se o usuário consegue apontar e selecionar um objeto diretamente na tela.

FIGURA 6.47 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Seleção e objetos”

Manipulação do ponto de vista		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
31	Alterar o ponto de visão.	Verificar se o usuário consegue modificar o ponto de vista utilizando os mecanismos específicos verificando ainda se melhorou a visão do novo ponto e se a manipulação do ponto de vista é fácil de operar.

FIGURA 6.48 - Tarefas de usuário de alto nível relacionadas ao mecanismo de “Manipulação do ponto de vista”

Manipulação geométrica		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
32	Selecionar e re-posicionar o nodo raiz.	Analisar se o usuário consegue selecionar e arrastar o nodo raiz utilizando os mecanismos para manipulação geométrica. Deve ser verificado ainda se o nodo raiz desapareceu da tela e/ou se a movimentação do objeto é fácil de ser realizada.
33	Selecionar e arrastar o nodo raiz.	Avaliar se o usuário consegue selecionar e arrastar o nodo raiz utilizando os mecanismos para manipulação geométrica. Deve ser verificado também se o “arrasto” é efetivo e/ou se é fácil de manipular.

FIGURA 6.49 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Manipulação geométrica”

Zooming		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
34	Realizar operações de <i>zooming</i> sobre certas faixas de informação.	Avaliar a execução da operação de <i>zooming</i> sobre os elementos de informação verificando se é possível identificar as informações na representação visual.
35	Aproximar-se do elemento de informação que possui um nome conhecido e que está localizado perto do foco principal.	Verificar se o usuário consegue focalizar o elemento de informação especificado e que está localizado perto do foco principal utilizando o mecanismo de <i>zooming</i> . O usuário consegue identificar os nomes de seus atributos?

FIGURA 6.50 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Zooming” (continuação)

Zooming		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
36	Aproximar-se do elemento de informação (nome conhecido) que está localizado perto do nodo raiz.	Avaliar se o usuário consegue focalizar o elemento de informação conhecido e que está localizado perto do nodo raiz utilizando o mecanismo de <i>zooming</i> . O usuário consegue identificar os nomes de seus atributos?
37	Aproximar-se do elemento de informação (nome conhecido) e que está localizado longe do foco principal.	Analisar se o usuário consegue focalizar o elemento de informação especificado e que está localizado longe do foco principal utilizando o mecanismo de <i>zooming</i> . O usuário consegue identificar os nomes de seus atributos?
38	Afasta-se do foco principal.	Verificar se o usuário consegue afastar-se do elemento de informação focado analisando ainda se a visão geral do conjunto de informações é legível, ou seja, sem oclusão.

FIGURA 6.50 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Zooming” (continuação)

Recuperação de situações anteriores		
Código	Tarefa de usuário	Objetivo
39	Visualizar a hierarquia a partir do nodo raiz.	Avaliar se o usuário consegue visualizar a hierarquia a partir do nodo raiz utilizando algum mecanismo de <i>undo</i> identificando o nome do nodo raiz.
40	Retornar a visão anterior.	Analisar se o usuário consegue visualizar a hierarquia visitada anteriormente utilizando o mecanismo de <i>undo</i> correspondente (a situação “não retorna mais” ficou evidente?).
41	Avançar para a próxima visão.	Avaliar se o usuário consegue visualizar a hierarquia posterior dentre as já visitadas anteriormente utilizando o mecanismo correspondente (a situação “não avança mais” ficou evidente?).
42	Retornar diretamente a primeira representação visual.	Verificar se o usuário consegue visualizar a primeira visão da hierarquia “Home” utilizando algum mecanismo de <i>undo</i> identificando o nome do nodo raiz.

FIGURA 6.51 - Tarefas de usuário de baixo nível relacionadas ao mecanismo de “Recuperação de situações anteriores”

6.3.3 Ensaios de interação

A seção anterior descreveu o conjunto de tarefas de baixo nível mapeadas para os mecanismos de interação e que podem ser utilizadas em um ensaio de interação. Na impossibilidade de aplicar extensos experimentos de avaliação, para verificar a totalidade desse mapeamento, foi selecionado um conjunto dessas tarefas, correspondente aos mecanismos de busca e seleção de objetos. Um ensaio de interação utilizando estas tarefas foi realizado Cava [CAV 2002], buscando avaliar a **eficiência** dos mecanismos interativos fornecidos pela técnica de visualização de informações hierárquicas *Bifocal Tree*.

Nesse ensaio de interação, a *Bifocal Tree*, foi comparada às representações utilizadas nos *browsers MagniFind* e *Windows Explorer*. Foram utilizadas duas hierarquias, uma com 300 nodos e outra com 1.000 nodos. As tarefas de usuários foram agrupadas em seis **classes**, das quais quatro diretamente ligadas aos mecanismos de interação e duas voltadas para testar características visuais. As tarefas ligadas aos mecanismos interativos são listadas e descritas a seguir, mas que se encontram um pouco mais detalhadas no anexo 7.

- (a) **Busca de um determinado nodo na hierarquia:** Consiste em localizar um nodo específico dentro da hierarquia utilizando apenas os mecanismos de interação fornecidos pela técnica. Duas tarefas que avaliam essa funcionalidade foram projetadas de forma que o elemento de informação pudesse ser localizado a partir da informação de uma “pista” que auxilia na sua localização. Caso a busca fosse efetuada apenas pelo nome do elemento, o aspecto sorte poderia ser um fator determinante no resultado obtido. Esta classe de tarefa foi verificada através das seguintes tarefas de baixo nível números: 14 e 16 (Figura 6.42);
- (b) **Navegação através de um caminho determinado:** Consiste em consultar informações de um elemento localizado em um ponto da hierarquia cujo caminho é previamente conhecido, tarefa esta bastante comum na utilização de *browser* de arquivos. Uma tarefa foi criada com o objetivo de avaliar a navegação no sentido do raiz para o elemento procurado e outra contempla a situação inversa, onde a navegação é executada de um nível mais profundo em direção ao raiz. Esta classe de tarefa foi verificada através da tarefa de baixo nível: número 30 (Figura 6.47);
- (c) **Identificação dos relacionamentos pai/filhos:** Consiste em verificar se a representação visual fornece uma forma eficiente de identificação dos relacionamentos hierárquicos existentes na estrutura. Duas tarefas foram projetadas para avaliar os relacionamentos entre pai e filhos, e outra para verificar a facilidade de identificação dos níveis onde os elementos estão localizados. Esta classe de tarefa foi verificada através da tarefa de baixo nível número: 30 (Figura 6.47);
- (d) **Comparação entre dois trechos da hierarquia:** Consiste em verificar a facilidade de comparação entre duas informações localizadas em áreas distintas da estrutura. Uma tarefa permite a comparação entre dois trechos localizados no mesmo nível da hierarquia e outra compara duas áreas situadas em níveis diferentes: a primeira localizada próxima ao raiz e a segunda, em um nível mais profundo. Esta classe de tarefa foi verificada através das seguintes tarefas de baixo nível: números 10 ou 11 mais o 16 (Figura 6.42).

As principais conclusões deste ensaio de interação foram:

- (1) Na *Bifocal Tree*, os usuários tiveram uma taxa de erros menor do que nos outros dois *browsers*, em todas as tarefas.

- (2) A *Bifocal Tree* demonstrou ser igualmente eficiente ao *Windows Explorer* e superior ao *MagniFind* na busca de elementos de informação em níveis mais profundos.
- (3) O *Bifocal Tree* mostrou-se melhor na navegação através de um caminho conhecido do que o *MagniFind*.
- (4) A *Bifocal Tree* teve um desempenho (medido em termos de tempo de realização das tarefas) melhor do que o *Windows Explorer* nas tarefas com a hierarquia pequena e igual na hierarquia grande.

Embora os resultados não tenham sido significativos estatisticamente em muitos casos, em termos absolutos, o desempenho dos usuários com a *Bifocal Tree* foi superior em quase todas as tarefas testadas.

Os resultados das avaliações heurísticas da *Bifocal Tree* para o critério de avaliação **eficiência** foram coerentes com os resultados obtidos neste ensaio de interação, pois nas sessões de avaliação heurística, foram encontrados apenas quatro problemas de usabilidade nesta categoria, os quais foram classificados com grau de severidade baixo (1 ou 2): destes problemas, três relativos à técnica e um, à interface.

7 Conclusões

Este estudo resultou na definição de um conjunto de critérios que permite avaliar uma técnica de visualização de informações hierárquicas em seus dois aspectos fundamentais: representação visual e mecanismos de interação.

Para efeito de validação dos critérios propostos, estes foram utilizados com três métodos diferentes, avaliação heurística, inspeção de conformidade e ensaio de interação, para avaliação de uma técnica de visualização de informações hierárquicas, a *Bifocal Tree*. A escolha desta técnica deveu-se ao fato dela ter sido desenvolvida dentro do grupo de Computação Gráfica (UFRGS) de forma independente e sua avaliação dentro do presente trabalho possibilitará seu aperfeiçoamento.

Os resultados da avaliação heurística com base nos critérios aqui definidos quando comparados com aqueles obtidos através das avaliações utilizando as heurísticas de Nielsen e os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin demonstrou claramente que nosso conjunto de critérios permitiu detectar a maior quantidade de problemas de usabilidade relacionados à técnica, assim como um número bem significativo de problemas mais graves, considerando o grau de severidade atribuído pelos avaliadores.

O teste aplicado a uma inspeção de conformidade mostrou que o conjunto de critérios de avaliação pode ser utilizado com outros métodos de avaliação tradicionais. As sessões de avaliação mostraram que os avaliadores, de posse dos critérios, transportados para *checklists*, conseguem detectar um número expressivo de problemas de usabilidade. Uma característica importante deste tipo de avaliação é a baixa taxa de problemas descartados. Isto é devido ao conjunto de questões ser dirigido diretamente aos prováveis problemas da representação visual e dos mecanismos de interação da técnica de visualização, ou seja, os avaliadores não precisam procurar “livremente” por problemas de qualquer espécie.

Um resultado importante foi o fato da avaliação heurística com o conjunto de critérios propostos ter detectado também um número expressivo de problemas de usabilidade relacionados à interface da técnica de visualização de informações. Já nas sessões de inspeção de conformidade, os avaliadores detectaram muito poucos problemas referentes à interface devido a falta de questões relacionadas especificamente as características operacionais da interface. À primeira vista, pensava-se que seria essencial a técnica sofrer uma inspeção de usabilidade tradicional para verificar as características da interface gráfica, e separadamente, a avaliação da representação visual e dos mecanismos de interação sob nossos critérios. Os resultados mostraram que deve ser investigada a vantagem de estender o conjunto de critérios proposto, incluindo aspectos específicos de interface.

Ao contrário da avaliação heurística, onde os avaliadores detectam problemas de qualquer espécie, inclusive problemas básicos na interface (como por exemplo, “*faltam hints em alguns botões*”, “*algumas mensagens estão em inglês e outras em português*”, “o

item do menu quit não funciona”, “*deveriam haver atalhos*”, “*as mensagens de erro são dirigidas ao programador e não ao usuário*” ou ainda, problemas basicamente derivados da preferência pessoal: “*deveriam ser usados sliders ao invés de botões*”, “*a cor utilizada para o nodo raiz não deveria ser vermelha*”, “*deveria haver menus para todas as operações da interface*”) a inspeção de conformidade teve um número muito menor de problemas descartados, pois as questões são dirigidas diretamente aos problemas de usabilidade relacionados as características da técnica.

Em relação aos objetivos propostos para este trabalho, todos foram atingidos. O conjunto de critérios se mostrou **completo** pois os resultados das avaliações heurísticas, tanto com os alunos como com os avaliadores experientes, mostraram que os critérios de avaliação aqui definidos permitiram encontrar maior quantidade de problemas relacionados à técnica de visualização *Bifocal Tree* (Seção 6.1) do que com as avaliações tradicionais utilizando Nielsen ou Bastien e Scapin. Além disso, a quase totalidade dos avaliadores conseguiram enquadrar todos os problemas de usabilidade detectados nos critérios de avaliação. A flexibilidade foi demonstrada pela possibilidade de utilizar os critérios de avaliação tanto em inspeção de conformidade como na definição de tarefas para ensaios de interação. Finalmente, a amplitude foi demonstrada pelo fato da avaliação heurística com os critérios ter permitido também a detecção de problemas de interface. Embora a inspeção de conformidade utilizando os critérios não tenha expresso a mesma amplitude, isto se deveu ao processo de transposição dos critérios para a *checklist*, que eliminou aspectos específicos de interface, para simplificação do instrumento.

7.1 Contribuição da tese

A principal contribuição deste trabalho foi a criação de um conjunto de critérios de avaliação que permite avaliar uma técnica de visualização de informações hierárquicas em dois aspectos importantes: sua **representação visual** e seus **mecanismos de interação**. Tais resultados, ainda em estágios preliminares, foram incluídos em publicações em 2001 [LUZ 2001] e 2002 [FRE 2002a] e [FRE 2002b].

O trabalho contribui ainda em dois importantes aspectos:

- Demonstra que os critérios podem ser utilizados em diversos tipos diferentes de métodos de avaliação normalmente aplicados somente para avaliar interfaces gráficas. Isto permite que avaliadores acostumados a um ou outro método não precise lançar mão de outra metodologia para proceder a avaliação de técnicas de visualização;
- Organiza dois conjuntos de características importantes e úteis para desenvolvedores de técnicas de visualização de informações hierárquicas:
 - a) um conjunto de tarefas de usuário, que podem ser utilizadas para ensaios de interação. O objetivo da criação deste conjunto de tarefas foi devido aos relatos negativos (quanto a sua aplicação prática) em relação às tarefas de usuários definidas por alguns autores;

- b) um conjunto de mecanismos de interação, que podem ser considerados tarefas de usuário de baixo nível, ou seja, indispensáveis para que o usuário realize uma tarefa de alto nível em técnicas de visualização de informações hierárquicas.

Estes resultados deverão ser incorporados em artigo a ser submetido proximamente [LUZ 2003].

7.2 Trabalhos futuros

Apesar de termos considerado como completos os objetivos da tese, podem ser citados trabalhos que são continuidade imediata daquele aqui desenvolvido:

- (a) Estender o conjunto de critérios de avaliação de forma a avaliar também as características básicas da interface de técnicas de visualização de informações hierárquicas;
- (b) Realizar a avaliação das técnicas *TreeMaps* e *MagniFind* com os instrumentos aqui utilizados. Tais técnicas foram utilizadas repetidas vezes, para o refinamento dos critérios, mas não sofreram avaliação segundo os instrumentos aqui elaborados. Esta comparação subsidiária, também, o aperfeiçoamento da técnica *Bifocal Tree*;
- (c) Executar um ensaio de interação com outras tarefas de usuário avaliando a técnica *Bifocal Tree* em outros aspectos, também para subsidiar seu aperfeiçoamento.

Um trabalho de médio prazo, a ser desenvolvido, é a extensão do conjunto de critérios para técnicas de visualização de outras classes de dados que não hierárquicos. Este trabalho envolve:

- (a) A aplicação de testes de usabilidade com técnicas selecionadas, de acordo com o tipo de dado, como o procedimento aqui efetuado;
- (b) A detecção de eventuais problemas que não podem ser enquadrados em nenhum dos definidos;
- (c) A inclusão de novos critérios ou substituição de alguns existentes, dependendo de seu grau de especificidade.

Finalmente, um último trabalho a ser realizado é a retomada da definição de métricas objetivas para as representações visuais. Esta investigação chegou a ser parte de nosso trabalho durante certo tempo, mas foi postergada pois tanto os relatos na literatura como nossa experiência indicaram tratar-se de linha que merece atenção exclusiva, pois passa por experimentos envolvendo medidas de percepção e sua correlação com medidas objetivas que venham a ser definidas.

Apêndice 1 Material para Avaliação Heurística utilizando as heurísticas definidas por Nielsen

Avaliação Heurística de uma Técnica de Visualização de Informações Hierárquicas - *Bifocal Browser*

Dez Heurísticas de Nielsen [NIE 94]

Descrição da avaliação

Avaliação heurística, definida por Nielsen e Molich [NIE 90] [NIE 94], é um método de avaliação de usabilidade onde um avaliador procura problemas de usabilidade numa interface com o usuário através da análise e interpretação de um conjunto de princípios ou heurísticas. Este método de avaliação é baseado no julgamento do avaliador e, normalmente, descobre 75% dos problemas de usabilidade.

Nesta sessão, será avaliada a técnica de visualização de informações hierárquicas chamada *Bifocal Browser* [CAV 01] [CAV 02].

Primeiramente, leia e analise as dez heurísticas (ver Tabela A).

Heurística	Motivação
1. Visibilidade do <i>status</i> do sistema	Refere-se ao fato do sistema manter os usuários informados sobre o que eles estão fazendo, com <i>feedback</i> imediato.
2. Compatibilidade entre o sistema e o mundo real	O sistema deve utilizar a linguagem do usuário, com palavras, frases e conceitos familiares a ele, fazendo as informações aparecerem em ordem lógica e natural, de acordo com as convenções do mundo real.
3. Liberdade e controle do usuário	Estão relacionados à situação em que os usuários freqüentemente escolhem as funções do sistema por engano e então necessitam de "uma saída de emergência" claramente definida para sair do estado não desejado sem ter que percorrer um longo diálogo, ou seja, é necessário suporte a <i>undo</i> e <i>redo</i> .
4. Consistência e padrões	Referem-se ao fato de que os usuários não deveriam ter acesso a diferentes situações, palavras ou ações representando a mesma coisa. A interface deve ter convenções não-ambíguas.
5. Prevenção contra erros	Os erros são as principais fontes de frustração, ineficiência e ineficácia durante a utilização do sistema.
6. Reconhecimento em lugar de lembrança	Diz respeito à característica da interface de ter objetos, ações e opções visíveis e coerentes, para que os usuários não tenham que recordar as informações entre os diálogos, ou seja, as instruções de uso do sistema devem ser visíveis ou facilmente recuperadas

	sempre que necessário.
7. Flexibilidade e eficiência de uso	A ineficiência das tarefas de usuário podem reduzir a eficácia do usuário e causar-lhes frustração.
8. Projeto minimalista e estético	Os diálogos não deveriam conter informações que são irrelevantes ou raramente necessárias. Cada nova informação em um diálogo compete com as informações relevantes diminuindo sua relativa visibilidade.
9. Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros	As mensagens devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), indicando o problema e sugerindo uma solução.
10. Ajuda e documentação	Mesmo que seja melhor que o sistema possa ser utilizado sem documentação, pode ser necessário fornecer ajuda e documentação. Qualquer informação deveria ser fácil de achar, estar focalizada nas tarefas do usuário. Também deve ser fornecida uma lista das etapas concretas a serem realizadas e estas informações não devem ser demasiado longas.

Tabela A: Conjunto de heurísticas

A seguir, utilize a ferramenta de visualização livremente, tentando ambientar-se com o seu funcionamento, suas características, a representação visual das informações e os mecanismos interativos fornecidos pela técnica *Bifocal Browser*.

Após, utilize novamente a ferramenta (livremente) procurando possíveis problemas de usabilidade.

Quando um problema qualquer for detectado, classifique-o em uma das dez heurísticas de Nielsen, anotando o problema na tabela correspondente e atribuindo o **grau de severidade** (0 até 4) para este problema (dado pela tabela B) e recomece novamente até não encontrar mais problemas de usabilidade.

Grau de severidade	Tipo	Descrição
0	Sem importância	Não afeta a operação da interface
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simples	Problema de baixa prioridade (<u>pode</u> ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade (<u>deve</u> ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado de qualquer forma

Tabela B: Grau de severidade dos problemas de usabilidade

Nas tabelas abaixo, o avaliador encontrava cinco espaços livres para descrever os problemas de usabilidade detectados e o respectivo espaço para apontar o grau de severidade.

Heurísticas de Nielsen

Sessão de avaliação

1. Visibilidade do <i>status</i> do sistema	
Verificação: Os usuários são mantidos informados sobre o progresso do sistema com apropriado <i>feedback</i> em um tempo razoável?	Grau de severidade
Problema:	() Sem importância → 0 () Cosmético → 1 () Simples → 2 () Grave → 3 () Catastrófico → 4

Tabela 1: Visibilidade do *status* do sistema

2. Compatibilidade entre o sistema e o mundo real	
Verificação: O sistema utiliza conceitos e linguagem familiar com o usuário em vez de termos orientados ao sistema? O sistema utiliza convenções do mundo real, exibindo informações com uma ordem lógica e natural?	Grau de severidade
Problema:	() Sem importância → 0 () Cosmético → 1 () Simples → 2 () Grave → 3 () Catastrófico → 4

Tabela 2: Compatibilidade entre o sistema e o mundo real

3. Liberdade e controle do usuário	
Verificação: Os usuários podem fazer o que querem quando querem?	Grau de severidade
Problema:	() Sem importância → 0 () Cosmético → 1 () Simples → 2 () Grave → 3 () Catastrófico → 4

Tabela 3: Liberdade e controle do usuário

4. Consistência e padrões	
Verificação: O projeto de elementos como objetos e ações tem o mesmo significado ou efeito em diferentes situações?	Grau de severidade
Problema:	() Sem importância → 0 () Cosmético → 1 () Simples → 2 () Grave → 3 () Catastrófico → 4

Tabela 4: Consistência e padrões

5. Prevenção contra erros	
Verificação: Os usuários podem cometer erros dos quais bons projetos poderiam prevenir?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 5: Prevenção contra erros

6. Reconhecimento em lugar de lembrança	
Verificação: Os elementos de projeto como objetos, ações e opções são visíveis? O usuário é forçado a relembrar informações de uma parte do sistema para outra?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 6: Reconhecimento em lugar de lembrança

7. Flexibilidade e eficiência de uso	
Verificação: As tarefas de usuário são eficientes e podem se adaptar ao gosto do usuário em suas ações mais frequentes ou ele utiliza atalhos?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 7: Flexibilidade e eficiência de uso

8. Projeto minimalista e estético	
Verificação: Os diálogos contém informações irrelevantes ou raramente necessárias?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 8: Projeto minimalista e estético

9. Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros	
Verificação: As mensagens de erro são expressas em linguagem simples (sem códigos) descrevendo exatamente o problema e sugerindo uma solução?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 9: Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros

10. Ajuda e documentação	
Verificação: São fornecidas apropriadas informações de ajuda, e estas informações são fáceis de procurar e de focalizar nas tarefas do usuário?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 10: Ajuda e documentação

Apêndice 2 Material para Avaliação Heurística utilizando os critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin

Avaliação Heurística de uma Técnica de Visualização de Informações Hierárquicas - *Bifocal Browser*

Critérios Ergonômicos definidos por Bastien e Scapin [BAS 93]

Descrição da avaliação

Avaliação heurística, definida por Nielsen e Molich [NIE 90] [NIE 94], é um método de avaliação de usabilidade onde um avaliador procura problemas de usabilidade numa interface com o usuário através da análise e interpretação de um conjunto de princípios ou heurísticas. Este método de avaliação é baseado no julgamento do avaliador e, normalmente, descobre 75% dos problemas de usabilidade.

Nesta sessão, será avaliada a técnica de visualização de informações hierárquicas chamada *Bifocal Browser* [CAV 01] [CAV 02].

Primeiramente, leia e analise os critérios ergonômicos [BAS 93] (ver Tabela A).

Critério Ergonômico	Motivação
1. Incitação	Fornece sugestões ao usuário, de tal forma que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e fáceis de usar. Permite que o usuário conheça as alternativas quando diversas ações são permitidas pela interface.
2. Agrupamento / distinção por localização	Diz respeito ao uso da posição relativa dos itens para indicar se eles pertencem ou não a uma determinada classe.
3. Agrupamento / distinção por formato	A indicação da pertinência a classes é realizada através de cor, formato, textura.
4. <i>Feedback</i> imediato	Está relacionado às respostas do sistema frente às ações executadas pelos usuários, ou seja, realimentação imediata de uma nova situação. Em todas as situações, o sistema deve fornecer uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada.
5. Legibilidade	Refere-se às características léxicas que as informações apresentam sobre a tela de forma a facilitar a compreensão destas informações. Deve-se levar em consideração, ainda, o brilho, contraste, cor, tamanho de fonte, espaçamento, etc.
6. Concisão	Está relacionada com as entradas e saídas de informações, ou seja, a interface deve permitir pequenas entradas de informações ou eliminar a entrada de

	informações redundantes.
7. Ações mínimas	Está relacionada à quantidade de ações mínimas necessárias para realizar uma tarefa ou atingir um objetivo. Quanto mais ações forem feitas para atingir um fim, existirá maior a probabilidade de ocorrerem erros por parte do usuário.
8. Densidade informacional	Está diretamente ligada ao desempenho do usuário quando este executa uma determinada tarefa ou procura atingir um determinado objetivo. Por exemplo, se a densidade de informação for demasiadamente alta ou baixa demais, isto pode acarretar um mau desempenho do usuário em resolver uma determinada situação.
9. Ações explícitas do usuário	Referem-se às relações entre o processamento computacional e as ações do usuário. As ações devem ser explícitas, ou seja, o sistema deve processar somente aquelas ações requisitadas pelo usuário e somente quando for requisitado para isto.
10. Controle do usuário	Refere-se ao fato que os usuários sempre devem ter o controle da interface, ou seja, interromper ações, cancelar operações, suspender ou continuar tarefas. Para toda ação do usuário devem ser fornecidas opções apropriadas.
11. Flexibilidade	Reflete o número de possíveis formas de atingir um objetivo, ou seja, a interface deve-se adaptar às necessidades do usuário. A interface deve colocar meios à disposição do usuário que lhe permitam personalizá-la, levando em conta as exigências de cada tarefa, suas estratégias ou seus hábitos de trabalho
12. Consideração da experiência do usuário	A interface deve levar em consideração o nível de experiência de cada usuário.
13. Proteção contra erros	A interface deve preocupar-se em detectar e prevenir erros de entrada de informações, comandos ou ações de conseqüências desastrosas e/ou não recuperáveis executadas pelos usuários.
14. Qualidade das mensagens de erro	A qualidade das mensagens de erro deve ser um objetivo a ser atingido no desenvolvimento de qualquer interface com o usuário, ou seja, o conteúdo e formato das mensagens de erros são muito importantes.
15. Correção dos erros	A interface deve permitir que o usuário corrija os seus erros.
16. Homogeneidade / Coerência (consistência)	Refere-se à homogeneidade de aspectos da interface (códigos, denominações, formatos, procedimentos e operações) em contextos semelhantes, diferenciando-se quando em outros contextos.
17. Significado dos códigos e denominações	Está diretamente ligado à adequação entre o objeto ou a informação apresentada ou solicitada e sua referência. Códigos e denominações significativos possuem uma forte relação semântica com sua referência. Os termos com pouca expressão para o usuário podem acarretar problemas de condução, podendo levá-lo a selecionar uma opção errada.
18. Compatibilidade	Refere-se à relação entre as características dos

	usuários (tais como memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas) e suas tarefas com a organização das entradas, saídas e diálogos em uma dada aplicação. Diz respeito ainda, ao grau de semelhança entre diferentes ambientes e aplicações.
--	--

Tabela A: Critérios ergonômicos

A seguir, utilize a ferramenta de visualização livremente, tentando ambientar-se com o seu funcionamento, suas características, a representação visual das informações e os mecanismos interativos fornecidos pela técnica *Bifocal Browser*.

Após, utilize novamente a ferramenta procurando possíveis problemas de usabilidade.

Quando um problema qualquer for detectado, classifique-o em um dos 18 critérios ergonômicos, anotando o problema na tabela correspondente e atribuindo um **grau de severidade** (0 até 4) para este problema (dado pela tabela B) e recomece novamente até não encontrar mais problemas de usabilidade.

Grau de severidade	Tipo	Descrição
0	Sem importância	Não afeta a operação da interface
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simples	Problema de baixa prioridade (<u>pode</u> ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade (<u>deve</u> ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado de qualquer forma

Tabela B: Grau de severidade dos problemas de usabilidade

Nas tabelas abaixo, o avaliador encontrava cinco espaços livres para descrever os problemas de usabilidade detectados e o respectivo espaço para apontar o grau de severidade.

Critérios Ergonômicos de Bastien e Scapin

Sessão de avaliação

1. Incitação	
Verificação: São fornecidos sugestões ao usuário, de tal forma que algumas ações ou tarefas tornem-se mais conhecidas e fáceis de usar? É permitido que os usuários conheçam as alternativas quando diversas ações são permitidas pela interface?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 1: Incitação

2. Agrupamento / distinção por localização	
Verificação: A posição relativa dos itens indicam se eles pertencem ou não a uma determinada classe?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 2: Agrupamento / distinção por localização

3. Agrupamento / distinção por formato	
Verificação: Existe indicação da pertinência a classes sendo realizada através de cor, formato ou textura?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 3: Agrupamento / distinção por formato

4. Feedback imediato	
Verificação: Em todas as situações, o sistema forneceu uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 4: Feedback imediato

5. Legibilidade	
Verificação: As características léxicas das informações (brilho, contraste, cor, tamanho de fonte, espaçamento, ...) apresentadas na tela facilitam a compreensão das informações?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 5: Legibilidade

6. Concisão	
Verificação: A interface permite pequenas entradas de informações? Elimina a entrada de informações redundantes?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 6: Concisão

7. Ações mínimas	
Verificação: A quantidade de ações mínimas necessárias para realizar uma tarefa ou atingir um objetivo é adequada? (Quanto mais ações forem feitas para atingir um fim, existirá maior probabilidade que ocorram erros por parte do usuário)	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 7: Ações mínimas

8. Densidade informacional	
Verificação: O desempenho do usuário quando este executa uma determinada tarefa (ou procura atingir um determinado objetivo) é razoável? (Quando a densidade de informação for demasiadamente alta ou baixa demais, pode acarretar um mau desempenho do usuário em resolver uma determinada situação).	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 8: Densidade informacional

9. Ações explícitas do usuário	
<p>Verificação: As relações entre o processamento computacional e as ações do usuário são explícitas? (O sistema deve processar somente aquelas ações requisitadas pelo usuário e somente quando for requisitado para isto).</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 9: Ações explícitas do usuário

10. Controle do usuário	
<p>Verificação: Os usuários tem controle da interface? Os usuários podem interromper ações, cancelar operações, suspender ou continuar tarefas? (Para toda ação do usuário devem ser fornecidas opções apropriadas).</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 10: Controle do usuário

11. Flexibilidade	
<p>Verificação: O número de possíveis formas de atingir um objetivo é satisfatório? A interface adapta às necessidades do usuário? (A interface deve colocar meios à disposição do usuário que lhe permitam personalizá-la, levando em conta as exigências de cada tarefa, suas estratégias ou seus hábitos de trabalho).</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 11: Flexibilidade

12. Consideração da experiência do usuário	
<p>Verificação: A interface leva em consideração o nível de experiência de cada usuário?</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 12: Consideração da experiência do usuário

13. Proteção contra erros	
Verificação: A interface preocupa-se em detectar e prevenir erros de entrada de informações, comandos ou ações de conseqüências desastrosas e/ou não recuperáveis executadas pelos usuários?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 13: Proteção contra erros

14. Qualidade das mensagens de erro	
Verificação: A qualidade das mensagens de erro é um objetivo atingido no desenvolvimento da interface com o usuário? (O conteúdo e formato das mensagens de erros são muito importantes).	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 14: Qualidade das mensagens de erro

15. Correção dos erros	
Verificação: A interface permite que o usuário corrija os seus erros?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 15: Correção dos erros

16. Homogeneidade / Coerência (consistência)	
Verificação: Existe homogeneidade de aspectos da interface (códigos, denominações, formatos, procedimentos e operações) em contextos semelhantes, diferenciando-se apenas quando em outros contextos?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 16: Homogeneidade / Coerência (consistência)

17. Significado dos códigos e denominações	
<p>Verificação: Existe adequação entre o objeto e a informação apresentada ou solicitada e sua referência? (Códigos e denominações significativos possuem uma forte relação semântica com sua referência. Os termos com pouca expressão para o usuário podem acarretar problemas de condução, podendo levá-lo a selecionar uma opção errada).</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 17: Significado dos códigos e denominações

18. Compatibilidade	
<p>Verificação: Existe relação entre as características dos usuários (memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas) e suas tarefas com a organização das entradas, saídas e diálogos em uma dada aplicação? Existe grau de semelhança entre diferentes ambientes e aplicações?</p>	Grau de severidade
<p>Problema:</p>	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 18: Compatibilidade

Apêndice 3 Material para Avaliação Heurística utilizando os critérios de avaliação definidos por Luzzardi

Avaliação Heurística de uma Técnica de Visualização de Informações Hierárquicas - *Bifocal Browser*

Crterios de avaliaão

Descrião da avaliaão

Avaliaão heurística, definida por Nielsen e Molich [NIE 90] [NIE 94], é um método de avaliaão de usabilidade onde um avaliador procura problemas de usabilidade numa interface com o usuário através da análise e interpretaão de um conjunto de princípios ou heurísticas. Este método de avaliaão é baseado no julgamento do avaliador e, normalmente, descobre 75% dos problemas de usabilidade.

Nesta sessã, será avaliada a técnica de visualizaão de informaões hierárquicas chamada *Bifocal Browser* [CAV 01] [CAV 02].

Primeiramente, leia atentamente os critérios de avaliaão (existem duas classes distintas: uma para **representaão visual** (estática) e outra para os **mecanismos de interaão** (dinâmica) (ver Tabela A).

Critério de avaliaão	Descrião
A. Representaão Visual	
1. Limitaões	Devido a problemas de simplificaão e tempo de geraão das novas representaões visuais, diversas técnicas utilizam formas de limitaão.
2. Densidade dos dados	Se a densidade dos dados for demasiadamente grande, a complexidade cognitiva pode ser influenciada significativamente devido ao grande volume de informaões que estão sendo exibidas na exibião principal ou devido a sobrecarga de elementos de informaão em uma parte específica da representaão visual, ou seja, muita informaão em um mesmo local.
3. Dimensã dos dados	O grande número de dimensões que podem ser exibidas na visualizaão podem causar ao usuário um aumento da complexidade cognitiva, ou seja, causando dificuldade na interpretaão das informaões.

4. Exibição de informações relevantes	Como o volume de dados em uma representação visual é, normalmente, muito grande, é importante procurar exibir somente as informações que realmente representem as principais informações.
5. Ordem lógica	Afeta a localização dos objetos, podendo causar ainda desordem visual e desorientação espacial.
6. Oclusão de objetos	A oclusão de elementos ocorre quando existe sobreposição de objetos, geralmente causada pelo grande volume de informações. A oclusão de objetos pode ser completa ou parcial. A oclusão completa é indesejável, pois pode esconder informações importantes do usuário que poderiam ser úteis nas tarefas de localização e orientação no espaço de informação.
7. Detalhes	Devido a complexidade e quantidade de informações exibidas em uma representação visual, os usuários necessitam, geralmente, ter acesso a uma determinada informação em detalhes, ou seja, precisam selecionar um item ou grupo obtendo detalhes.
8. Contexto de referência	Uma forma de minimizar o problema de desorientação espacial é fornecer um visão global do conjunto de informações através de uma representação visual reduzida ou distorcida de todo conjunto. Normalmente, o contexto de referência é mantido através de vários procedimentos de compressão visuais e/ou técnicas de distorção.
9. Codificação de informações em atributos visuais	Os problemas de oclusão de objetos, desordem visual e desorientação espacial, aliados a complexidade das representações visuais geradas, dificultam a interpretação das informações por parte do usuário. Desta forma, é importante representar objetos, agrupamentos, ligações e relacionamentos através da utilização de atributos visuais. Estes atributos podem ser ícones, glifos, símbolos, rótulos, formas, texturas. Esta codificação permite representar alguns objetos agrupados.
10. Características de realismo	A utilização de realismo auxiliam a interpretação das informações pelo usuário, podendo diminuir a oclusão de objetos, desordem visual e desorientação espacial, melhorando a orientação e a localização espacial.
11. Tempo de resposta	A desorientação espacial do usuário pode ocorrer devido ao tempo de resposta na geração de uma nova representação visual após uma interação. Geralmente, isto ocorre na transição entre a apresentação de duas representações visuais. Este problema pode ser minimizado pela adoção de algoritmos de exibição mais rápidos e eficientes.
12. Senso de orientação	Problemas de falta de ordem lógica, localização de objetos e desorientação espacial podem ocorrer na transição entre representações visuais, quando o usuário está utilizando algum mecanismo interativo que causa mudança brusca no <i>layout</i> .
B. Mecanismos de Interação	
13. Facilidade de uso	Em todas as situações, o sistema deve fornecer uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada.

14. Eficiência de uso	Está relacionado a eficiência na interação homem-interface, face os recursos empregados como tempo, quantidade de incidentes, passos desnecessários e busca de ajuda.
15. Satisfação subjetiva	Opinião geral sobre a utilização da ferramenta de visualização

Tabela A: Conjunto de heurísticas

A seguir, utilize a ferramenta de visualização livremente, tentando ambientar-se com o seu funcionamento, suas características, a representação visual das informações e os mecanismos interativos fornecidos pela técnica *Bifocal Browser*.

Após, utilize novamente a ferramenta (livremente) procurando possíveis problemas de usabilidade.

Quando um problema qualquer for encontrado, classifique-o em um dos 15 critérios de avaliação definidos neste trabalho, anotando o problema na tabela correspondente e atribuindo um **grau de severidade** (0 até 4) para este problema (dado pela tabela B) e recomece novamente até não encontrar mais problemas de usabilidade.

Grau de severidade	Tipo	Descrição
0	Sem importância	Não afeta a operação da interface
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simple	Problema de baixa prioridade (<u>pode</u> ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade (<u>deve</u> ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado de qualquer forma

Tabela B: Grau de severidade dos problemas de usabilidade

Elementos de informação são formas utilizadas para representar visualmente informações estruturadas (hierarquias). No caso do *Bifocal Browser* os elementos de informação são nodos e arestas.

Nas tabelas abaixo, o avaliador encontrava cinco espaços livres para descrever os problemas de usabilidade detectados e o respectivo espaço para apontar o grau de severidade.

Critérios de Avaliação

Sessão de avaliação

Representação Visual

1. Limitações	
Verificação: Existe limitação na quantidade de diferentes tipos de informações, no número máximo de elementos de informações, no número de níveis na hierarquia e no número máximo de janelas auxiliares?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 1: Limitações

Representação Visual

2. Densidade dos dados	
Verificação: O número de diferentes elementos de informação afeta a densidade dos dados?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 2: Densidade dos dados

Representação Visual

3. Dimensão dos dados	
Verificação: O número de níveis da hierarquia afeta a interpretação das informações, ou seja, o número de dimensões é muito alto?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 3: Dimensão dos dados

Representação Visual

4. Exibição de informações relevantes	
Verificação: Existe a representação de informações relevantes pela utilização de formas alternativas de representação?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 4: Exibição de informações relevantes

Representação Visual

5. Ordem lógica	
Verificação: A desordem visual, ambigüidade na representação visual e distribuição dos elementos no <i>layout</i> . afetam a localização dos objetos?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 5: Ordem lógica

Representação Visual

6. Oclusão de objetos	
Verificação: O número de elementos de informação completamente ocultos é muito grande, afetando a localização de objetos?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 6: Oclusão de objetos

Representação Visual

7. Detalhes	
Verificação: É permitido que o usuário controle o nível de detalhes?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 7: Detalhes

Representação Visual

8. Contexto de referência	
Verificação: A legibilidade e visibilidade do contexto de referência são adequadas? Existe a representação da localização do foco no contexto de referência? Os elementos de informação já visitados são destacados na hierarquia?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 8: Contexto de referência

Representação Visual

9. Codificação de informações em atributos visuais	
Verificação: São utilizadas formas alternativas para codificar informações?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 9: Codificação de informações em atributos visuais

Representação Visual

10. Características de realismo	
Verificação: Existem características de realismo na técnica de visualização?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 10: Características de realismo

Representação Visual

11. Tempo de resposta	
Verificação: O tempo de geração de uma nova representação é razoável?	Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4

Tabela 11: Tempo de resposta

Representação Visual**12. Senso de orientação**

Verificação: Em algum momento houve mudança brusca no <i>layout</i> ?		Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4	

Tabela 12: Senso de orientação

Mecanismos de interação**13. Facilidade de uso**

Verificação: O tempo de resposta do sistema é razoável? A técnica permite que o usuário corrija seus erros? (Pode ser verificado o número de vezes que o usuário realizou operações <i>undo</i>).		Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4	

Tabela 13: Facilidade de uso

Mecanismos de interação**14. Eficiência no uso**

Verificação: O tempo gasto na execução de cada tarefa é razoável? A quantidade de erros compromete a execução das tarefas? O usuário executa muitos passos desnecessários? O usuário busca muita ajuda?		Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4	

Tabela 14: Eficiência no uso

Mecanismos de interação**15. Satisfação subjetiva**

Verificação: Há indícios da satisfação ou insatisfação do usuário frente à esta técnica de visualização?		Grau de severidade
Problema:	<input type="checkbox"/> Sem importância → 0 <input type="checkbox"/> Cosmético → 1 <input type="checkbox"/> Simples → 2 <input type="checkbox"/> Grave → 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico → 4	

Tabela 15: Satisfação subjetiva

Apêndice 4 Problemas de usabilidade detectados com as heurísticas de Nielsen e Bastien & Scapin e relacionados a técnica

TABELA A4.1: Problemas de usabilidade encontrados na avaliação heurística (Nielsen) relacionados a técnica

Código	Descrição do problema	Critério de avaliação correspondente
1	Entendo que seria interessante possuir uma espécie de segunda linha de <i>status</i> do sistema, indicando quais foram os nodos selecionados até o momento: conceito de <i>bread crumbs</i> (Exibir todos os nodos selecionados).	Exibição de informações adicionais Representação visual
2	Ao realizar uma operação de rotação, e invocar o botão da ação <i>previous</i> , o sistema retorna para o estado incorreto, em que os nodos da área de interesse não estão expandidos.	Facilidade de uso e eficiência Mecanismo de interação: Expansão e manipulação geométrica
3	Não há nenhuma legenda indicando que os nodos em vermelho pertencem a última sub-árvore visitada.	Exibição de informações adicionais Representação visual
4	Não é possível manter sub-árvores abertas enquanto se visualiza outras, o que dificulta a movimentação de nodos entre sub-árvores diferentes.	Exibição de informações adicionais Representação visual
5	Há momentos em que elementos da área de detalhe aparecem sobre os elementos da área de contexto, podendo confundir o usuário.	Oclusão de objetos Representação visual
6	Ao "clique" em um nodo a árvore pode mudar completamente de lugar e o usuário ficar meio perdido (Sugestão: Utilizar animação).	Senso de orientação Representação visual

TABELA A4.2: Problemas de usabilidade encontrados na avaliação heurística (Bastien & Scapin) relacionados a técnica de visualização

Código	Descrição do Problema	Critério de avaliação
1	Há alguma dificuldade na diferenciação do diretório raiz dos arquivos por apresentarem praticamente a mesma cor.	Codificação de informações em atributos visuais Representação visual
2	Em algumas alterações, os nodos da árvore se encontram muito próximos, causando talvez dificuldade ao usuário em onde se encontra o diretório raiz ou então outros diretórios.	Codificação de informações em atributos visuais Representação visual Facilidade de uso e eficiência Mecanismos de interação: Seleção
3	Quando se seleciona diretamente sub-ramos mais internos, deveria ficar mais óbvia qual é o caminho daquele ramo até o raiz (destaque do caminho).	Exibição de informações adicionais Representação visual
4	As vezes duas árvores de sobrepõem ou ramos saem para fora da tela (pela direita). Isso não deveria acontecer nunca.	Oclusão de objetos Representação visual
5	O sinal de que um sub-ramo está escondido (através do botão direito) deveria ser mais claro (representação do nodo podado).	Codificação de informações em atributos visuais Representação visual Facilidade de uso e eficiência Mecanismos de interação: Poda
6	Quando os <i>labels</i> ficam uns por cima dos outros não existe forma de trazer os de trás para a frente, ficando impossível selecioná-los. É necessário voltar até os níveis superiores, mesmo que o <i>label</i> (nodo) esteja na tela.	Codificação de informações em atributos visuais Representação visual Facilidade de uso e eficiência Mecanismos de interação: Seleção
7	Após modificar a visualização (alterando a distância, limites, etc.) não é possível voltar a visualização padrão.	Facilidade de uso e eficiência Mecanismos de interação: <i>Undo</i>

Apêndice 5 Problemas de usabilidade detectados com as heurísticas de Nielsen e Bastien & Scapin e descartados da avaliação

TABELA A5.1 - Problemas descartados na avaliação (Nielsen)

Código	Tipo	Descrição do Problema	Tipo de avaliação
1	D	Qual a diferença entre retângulo, ícone e nodo?	Nielsen
2	D	Quando se abre uma sub-árvore e se clica novamente na raiz da sub-árvore, perde-se a informação da última visita.	Nielsen
3	D	Arestas vermelhas significando a última visualização nem sempre funciona.	Nielsen

TABELA A5.2 - Problemas descartados da avaliação (Bastien & Scapin)

Código	Tipo	Descrição do Problema	Tipo de avaliação
1	D	Nada foi dito no controle do usuário sobre a opção de restauração da opção <i>default</i> .	Bastien & Scapin
2	D	O fato de eventualmente os ramos ficarem vermelhos não dá a menor idéia de porque eles ficaram assim.	Bastien & Scapin
3	D	Testando mais um pouco, noto que o ramo vermelho é muito mais aleatório do que parecia inicialmente. Eu realmente não tenho idéia de para que ele serve.	Bastien & Scapin
4	D	Os nomes dos nodos deveriam aparecer completos sempre. Não no caso dos botões da interface.	Bastien & Scapin
5	D	Se eu não sei o que a árvore representa então eu não sei como e porque navegar nela.	Bastien & Scapin
6	D	Qual o significado das ligações entre os nodos que são coloridos de vermelho? Nodos do nível anterior?	Bastien & Scapin
7	D	Porque alguns nodos (os com extensão .txt) são coloridos de outra cor? Há alguma ação disponível? Nodos marrons são somente folhas da hierarquia?	Bastien & Scapin

TABELA A5.3 - Problemas descartados da avaliação (Luzzardi)

Código	Tipo	Descrição do Problema	Tipo de avaliação
1	D	A operação de "poda" deveria ser chamada de "colapso": "poda" sugere modificação definitiva.	Luzzardi
2	D	Os botões de rotação seriam desnecessários se a visualização não ficasse tão confusa.	Luzzardi
3	D	Alguns nós possuem cor diferente para codificar, aparentemente, a informação de se é um arquivo ".txt" ou não, etc.	Luzzardi
4	D	Existe uma dificuldade de adaptação ao novo modelo, já que é um padrão usado em larga escala para visualização e navegação em estruturas de informações. Dessa forma é necessário que o usuário se acostume ao modelo sugerido para que o uso seja eficiente.	Luzzardi

Apêndice 6 Inspeção de Conformidade da Técnica de Visualização de Informações Hierárquicas - *Bifocal Tree*

Nesta avaliação, por favor, siga os passos a seguir:

1. Leia cada critério de avaliação.
2. Utilize a ferramenta de visualização livremente, tentando ambientar-se com o seu funcionamento, suas características, sua representação visual das informações e seus mecanismos interativos.
3. Responda (marque com um "x") cada questão do checklist levando em consideração as recomendações correspondentes.
Note que existe um campo específico (em cada questão) para que o avaliador descreva as observações que forem relevantes.
4. Escreva livremente sobre o uso da técnica, na área correspondente à avaliação subjetiva

A seguir é apresentado o material preparado para inspeção de conformidade utilizando os critérios de avaliação definidos neste trabalho. O referido material é o próprio material de avaliação de um dos avaliadores, por esta razão, está preenchido.

Avaliador: MATERIAL DE UM DOS AVALIADORES EXPERIENTES

Critérios de avaliação, *checklist* e recomendações Representação visual

Critério: **Limitações**

Devido a necessidade de simplificação das representações visuais, tanto para garantir baixa complexidade como tempo de geração razoável, diversas técnicas utilizam formas de limitação. Estas limitações servem para não sobrecarregar o sistema cognitivo do usuário, pois este, teria que reconhecer (e diferenciar) demasiados tipos de representações e/ou objetos..

1) Existe limitação do número de diferentes tipos de elementos de informação que a técnica de visualização permite representar concomitantemente?

- Sim
 Não

Observações: *Existem 5 elementos: nodos, arestas, nodos de poda, cores e bolinhas.*

Recomendação: Os tipos diferentes de elementos de informação exibidos concomitantemente devem ser limitados, respeitadas as necessidades das tarefas de usuário.

2) Existe limitação do número máximo de elementos de informação?

- Sim
 Não

Observações: *Para melhorar a visualização os elementos que se encontram distantes do foco, são reduzidos a bolas na extremidade da aresta.*

Recomendação: O número de elementos de informação exibidos concomitantemente deve ser limitado, para evitar a complexidade cognitiva decorrente da alta densidade da exibição.

3) É possível controlar o número de níveis exibidos?

- Sim
 Não
(4) Número máximo de níveis exibidos

Observações: _____

Recomendação: O usuário deve poder controlar o número de níveis exibidos através de um mecanismo específico (por exemplo, um *slider*), aumentando ou diminuindo a quantidade de níveis quando necessário.

4) Existe um número limitado de janelas auxiliares? Não Sim {Que janelas faltariam? Principalmente, uma janela para guardar informações sobre buscas anteriores}**Observações:** A janela que apresenta as informações é única.**Recomendação:** As informações menos relevantes devem ser retiradas da visualização principal, podendo ser exibidas em janelas auxiliares. Estas informações podem ser exibidas ou não de acordo com a vontade do usuário. Outra característica importante é a possibilidade de exibição de mais de uma janela auxiliar ao mesmo tempo, facilitando a comparação entre atributos.**Critério: Complexidade cognitiva**

Uma das principais preocupações da visualização de informações é a redução da complexidade cognitiva das representações visuais, permitindo desta forma, melhorar a interpretação das complexas estruturas de informação através da utilização de representações visuais efetivas. Para minimizar a complexidade cognitiva, metáforas visuais apropriadas são utilizadas para cada tipo de informação, aproveitando as características inerentes do sistema visual humano. A complexidade cognitiva apresenta os seguintes sub-critérios de avaliação: **densidade de dados**, a **dimensão dos dados** e a **exibição de informações relevantes**.

Sub-critério: Densidade dos dados

Se a densidade dos dados for demasiada, a complexidade cognitiva pode ser influenciada significativamente devido ao grande volume de informações que está sendo exibido na exibição principal ou devido a sobrecarga de elementos de informação em uma parte específica da representação visual.

5) Os elementos de informação estão bem distribuídos? Sim Não**Observações:** Levando em consideração a área de detalhe pode-se fazer essa afirmação.**Recomendação:** A hierarquia deve ser exibida através da geração de um layout com forma menos densa, de forma a não comprometer a interpretação e localização de objetos.**Sub-critério: Dimensão dos dados**

O grande número de dimensões que pode ser exibido na visualização podem causar ao usuário um aumento da complexidade cognitiva, ou seja, causando dificuldade na interpretação das informações.

6) Qual o número de níveis exibidos ao mesmo tempo?

(4) Número total de níveis exibidos

Observações: *Esse limite não é definido pelo usuário.*

Recomendação: O número de níveis hierárquicos exibidos deve ser definido pelo usuário, de forma a permitir-lhe controlar a quantidade de objetos visualizados em um dado instante.

Sub-critério: Exibição de informações relevantes

Como o volume de dados em uma representação visual é, normalmente, muito grande, é importante procurar exibir com destaque informações que representem as principais informações, ou enfatizar aspectos importantes em determinadas situações.

7) Existem formas alternativas para representar elementos de informação relevantes?

() Não

(x) Sim { Como isto foi detectado? *Através do uso da cor* }

Observações: *O uso da cor amarela sendo utilizada nas duas estruturas, atrapalha o usuário e a cor vermelha destacando a raiz é um outro agravante, pois pode confundir o usuário, aumentando a carga cognitiva.*

Recomendação: Formas alternativas devem ser utilizadas para representar elementos de informação relevantes. Podem ser utilizadas cores, texturas e marcas para representar alguns tipos de elementos de informação que são mais importantes em algumas situações. Um exemplo é exibir o nodo raiz com uma determinada cor e o objeto selecionado com outra cor.

Critério: Organização espacial

A organização espacial está relacionada com a conformação do layout da representação visual das informações. Normalmente, a geração de um layout eficiente não é automática, pois existem alguns problemas a serem minimizados que necessitam um ajuste dos elementos como, por exemplo, a oclusão de objetos que ocorre em visualizações tridimensionais e que necessitam de formas alternativas de posicionamento dos objetos. Um problema decorrente da organização espacial é a desordem visual que causa dificuldade de reconhecimento e interpretação (pelo usuário) dos muitos elementos presentes.

Sub-critério: Localização dos objetos

Uma necessidade das técnicas de visualização de informações é permitir ao usuário localizar facilmente objetos. O usuário pode ter dificuldade em distinguir um determinado objeto ou um conjunto de objetos, ao procurar informações diretamente sobre a representação visual. Entre outros aspectos, esta dificuldade pode estar relacionada à falta de organização do layout (**ordem lógica**) e à **oclusão de objetos** devido ao grande volume de informações na exibição.

Sub-critério: **Ordem lógica**

Corresponde ao posicionamento relativo dos elementos de informação; deve transmitir ao usuário a organização das informações tanto em termos de relacionamentos hierárquicos pai-filho, irmãos, etc, como em termos da atual navegação (nodo selecionado).

8) Existe desordem visual (o *layout* está desorganizado)?

Não

Sim { É possível localizar elementos de informação apesar da desordem visual? }

Sim

Não { Porque? _____ }

Observações: _____

Recomendação: O *layout* deve ser organizado de forma que o usuário consiga localizar os elementos de informação, tanto pelo seu posicionamento na hierarquia como em relação ao nodo atualmente selecionado.

9) Existe ambigüidade, na representação visual, que possa causar falsas deduções?

Não

Sim { Em que situação? *Quando as estruturas estão bem próximas* }

Observações: _____

Recomendação: A exibição das informações não deve ser ambígua a ponto de dificultar o modelo de organização mental que o usuário constrói do espaço de informação. Cores e formas não devem perturbar a localização dos elementos.

10) Existem zonas com muita aglomeração de elementos de informação ou zonas rarefeitas no layout gerado?

Sim

Não Em algumas situações { Quais? *Na estrutura como um todo* }

Observações: Dependendo do nodo a ser selecionado a estrutura fica desbalanceada em qualquer um dos quadrantes.

Recomendação: A distribuição dos elementos de informação deve ser organizada (ordenada logicamente) de forma a evitar a formação de zonas mais densas e zonas rarefeitas no layout, que possam comprometer a localização de objetos.

Sub-critério: Oclusão de objetos

A oclusão de elementos ocorre quando existe sobreposição de objetos, geralmente causada pelo grande volume de informações. A oclusão de objetos pode ser completa ou parcial. A oclusão completa é indesejável, pois pode esconder informações importantes do usuário que poderiam ser úteis nas tarefas de localização e orientação no espaço de informação.

11) Existe oclusão (ou sobreposição de alguns objetos) de elementos de informação?

- Sim
 Não

Observações: Entre as estruturas e nas áreas mais baixas da hierarquia. de ambas as estruturas.

Recomendação: Os algoritmos de geração de layout devem ser eficientes de forma a gerar uma exibição organizada. Deve existir o mínimo de oclusão de objetos ou, pelo menos, mecanismos interativos que permitam ao usuário modificar dinamicamente o layout.

Critério: Orientação espacial

A técnica de visualização deve fornecer uma representação visual precisa de modo a evitar que o usuário perca sua própria orientação espacial no espaço de informação.

Sub-critério: Detalhes

Devido a complexidade e quantidade de informações exibidas em uma representação visual, detalhes podem não ser diretamente exibidos. Os usuários necessitam ter acesso a uma determinada informação em detalhes, ou seja, precisam selecionar um item obtendo detalhes a respeito dele.

12) É possível controlar o nível de detalhes?

- Sim
 Não { Seria necessário? (x) Sim ou () Não Porque? Daria mais liberdade ao usuário}

Observações: _____

Recomendação: O usuário deve poder controlar o nível de detalhes com que as informações são exibidas. Os detalhes que não possam ser mostrados diretamente, devem ser exibidos em janelas auxiliares.

Sub-critério: **Contexto de referência**

Uma forma de minimizar o problema de desorientação espacial é fornecer um visão global do conjunto de informações através de uma representação visual reduzida ou distorcida de todo conjunto. Normalmente, o contexto de referência é mantido através de vários procedimentos de compressão visuais e/ou técnicas de distorção.

13) O contexto (o espaço de informação) é visível e legível?

Sim

Não { Qual o problema? Visível sim, porém legível nem sempre. }

Observações: _____

Recomendação: O contexto de referência, ou seja, os demais elementos de informação além daquele selecionado, deve ser exibido de forma legível, ou o usuário deve ter acesso fácil ao contexto, que neste caso, é o restante da hierarquia.

14) Existe a representação do atual elemento selecionado no contexto de referência?

Sim

Não { Seria necessário? (X) Sim ou () Não }

Observações: A ligação do elemento selecionado com a estrutura de referência, as não facilita a relação entre esse elemento e os demais da mesma hierarquia, que se encontram no contexto de referência.

Recomendação: Deve haver um relacionamento entre o atual foco de interesse do usuário e o contexto, ou seja, deve ser exibida a representação do foco no contexto.

15) Os elementos de informação já visitados são destacados na hierarquia?

Sim

Não { Seria necessário? () Sim ou () Não }

Observações: Deve-se observar que só existe destaque para o último nodo visitado, as buscas anteriores não possuem nenhuma referência. Isso seria minimizado com uma possível apresentação desses elementos em uma janela auxiliar que poderia ser ativada de conformidade com as necessidades do usuário.

Recomendação: Os elementos visitados devem ser destacados na visualização, pois o usuário não pode perder tempo procurando novas informações sobre informações já visitadas. O destaque destes elementos deve otimizar o trabalho de recuperação de informações.

Critério: Codificação de atributos

Nas técnicas de visualização de informações, estas são geralmente representadas por objetos geométricos acrescidos de atributos visuais, os quais são codificações dos atributos (dos dados) em análise. Desta forma, esta codificação deve ser tal que utilize recursos visuais para aumentar a percepção. Isto pode ser feito de duas formas, uma na própria **codificação das informações** em atributos visuais, e outra, pela utilização de **características de realismo**, que auxiliam no aumento da percepção das representações e, por consequência no aumento da compreensão das informações.

Sub-critério: Codificação de informações em atributos visuais

É importante representar objetos, agrupamentos, ligações e relacionamentos através da utilização de atributos visuais. Estes atributos podem ser ícones, glifos, símbolos, rótulos, formas, texturas. Esta codificação permite representar alguns objetos agrupados.

16) A representação visual utilizada para representar as informações é adequada, globalmente?

- Sim
 Não

Observações: Deveriam haver diferentes elementos que pudessem auxiliar na ordem lógica das buscas.

Recomendação: A representação visual deve ser eficiente e representar claramente os objetos e seus relacionamentos.

17) Existem formas para codificar os atributos dos elementos de informação?

- Não
 Sim { Que recursos visuais são utilizados? _____ }
 Cores
 Símbolos
 Outras formas { Quais? Bolinhas e Retângulos de poda }

Observações: _____

Recomendação: A codificação os objetos deve ser adequada e sem ambigüidade.

Sub-critério: Características de realismo

A utilização de realismo auxiliam a interpretação das informações pelo usuário, podendo diminuir a oclusão de objetos, desordem visual e desorientação espacial, melhorando a orientação e a localização espacial.

18) Existem características de realismo na representação visual?

- (x) Não
 () Sim { Quais características são utilizadas? }
 () Transparência
 () Sombra
 () Textura

Observações: _____

Recomendação: A representação dos objetos com características de realismo não deve prejudicar a localização dos objetos e sim auxiliar o usuário. Deve reduzir a oclusão de objetos e auxiliar na localização dos objetos.

19) As características de realismo afetam positivamente a representação visual?

- () Sim
 () Não

Observações: _____

Recomendação: A representação dos objetos com características de realismo não deve prejudicar a localização dos objetos e sim auxiliar o usuário. Deve reduzir a oclusão de objetos e auxiliar na localização dos objetos.

Critério: Transição entre estados

A interação do usuário sobre uma representação visual cria uma situação especial que é a transição entre estados, onde podem surgir problemas decorrentes da exibição de uma nova representação visual. A avaliação da **transição entre estados** corresponde à análise do **tempo de resposta** e da manutenção do **senso de orientação** do usuário na nova representação.

Sub-critério: Tempo de resposta**20) Como é o tempo de geração da representação visual?**

- (x) Rápido
 () Razoável
 () Lento { Em quais situações? _____ }

Observações: _____

Recomendação: O tempo de geração deve ser rápido, contudo deve ser evitada mudança brusca no *layout*.

Sub-critério: **Senso de orientação**

21) Existe mudança brusca no layout?

- Sim
 Não

Observações: Essa mudança algumas vezes causam desorientação visual.

Recomendação: Não deve haver mudança brusca no layout. A transição entre uma representação visual e a seguinte, decorrente de uma ação do usuário, deve ser animada .

Critérios de avaliação, *checklist* e recomendações Mecanismos de Interação

Os seguintes critérios de avaliação devem ser considerados nas próximas questões, relativas às operações que são realizadas sobre os dados e sobre as representações visuais.

Eficiência: Em todas as situações, o sistema deve fornecer uma resposta, rápida e apropriada para a situação solicitada, minimizando quantidade de incidentes/erros, passos desnecessários e busca de ajuda.

Facilidade de uso: Está relacionado aos recursos disponibilizados para a realização das operações pelo usuário.

Satisfação subjetiva: Opinião geral sobre a utilização da ferramenta de visualização.

Operações sobre os dados

Busca: A visualização é projetada para auxiliar os usuários que estão buscando algum tipo de informação. As técnicas de visualização devem fornecer mecanismos rápidos e eficazes que permitam aos usuários encontrar informações de forma eficiente.

1) Existe um mecanismo interativo para busca e pesquisa

- Não
 Sim

Se o mecanismo interativo existe, responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

2) O resultado de uma busca é destacado do restante das informações?

- Sim
 Não

Observações: O resultado aparece em outra área da janela (área de detalhe).

Recomendação: O resultado de uma busca deve ser destacado para que o usuário distinga mais rapidamente e claramente estas informações. O mecanismo de busca deve ser eficiente e permitir que o usuário encontre rapidamente as informações recuperadas.

Filtragem: Consiste na identificação e eliminação de itens sem interesse no momento, com base em atributos. A filtragem pela remoção de partes da visualização necessariamente modifica o contexto global.

3) Existe um mecanismo interativo para filtragem de elementos de informação

Não

Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

4) Os filtros são facilmente/adequadamente manipulados?

Sim

Não { Qual o problema? _____ }

Observações: _____

Recomendação: A manipulação dos filtros deve ser adequada e eficiente para permitir que o usuário configure facilmente os parâmetros de filtragem (por exemplo, usando sliders).

5) Existem formas não-visuais para filtrar elementos de informação?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: Os filtros devem ser poder ser especificados pela entrada de dados textuais, por exemplo.

6) Existe a possibilidade de recuperar elementos de informação previamente filtrados?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: As informações filtradas devem poder ser recuperadas pelos usuário. Esta recuperação deve ser rápida, fácil e eficiente.

Poda: Permite reduzir o número de elementos presentes na representação visual através da eliminação de objetos que possuem alguma característica especial.

7) Existe um mecanismo interativo para podar elementos de informação?

- Não
 Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

8) Existe indicação para os elementos de informação podados?

- Sim
 Não

Observações: É importante salientar que para se ativar o mecanismo de poda, se faz necessário clicar sobre o nodo com o botão direito do mouse, porém isso não está escrito em lugar nenhum e só consegui encontrá-lo por tentativa. Por outro lado, não existe nenhuma indicação que permita visualizar os elementos podados.

Recomendação: Elementos de informação podados devem ser representados através de objetos diferentes (com forma diferenciada). Esta forma deve ser adequada e não-ambígua.

9) Existe a possibilidade de recuperar elementos de informação podados (expandir objetos podados)?

- Sim
 Não

Observações: Se existe não encontrei.

Recomendação: As informações podadas devem ser recuperadas pelos usuário. Esta operação deve ser eficiente, ter acesso fácil e não alterar bruscamente o layout.

Agrupamento de objetos: É a formação de grupos de objetos, baseada em **relações estruturais** ou **conteúdo** de modo a formar visões abstratas do espaço de informação, que podem ser ajustados ao pequeno espaço disponível na tela. Permite, em outras palavras, reduzir o número de elementos presentes na visualização.

10) Existe um mecanismo interativo para agrupar elementos de informação

- Não
 Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

11) Existe marcação diferenciada de agrupamentos?

- Sim
 Não

Observações: _____

Recomendação: Deve haver uma forma diferenciada para representar agrupamentos. Esta forma deve ser clara e sem ambigüidade.

Expansão: A representação visual inicial gerada pela técnica, por default, pode ser reduzida. Ou, após operações de agrupamento a representação visual pode se tornar reduzida. Assim, pode ser necessário expandir a visualização.

12) Existe um mecanismo interativo para expandir estruturas, ou seja, exibir uma quantidade maior de elementos de informação

Não

Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

13) É possível expandir nodos agrupados?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: Na expansão de agrupamentos não deve haver mudança brusca no layout.

14) A expansão de um elemento de informação altera significativamente o layout?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: A expansão um elemento de informação (podado ou agrupado) não deve alterar demasiadamente o layout de forma a prejudicar a interpretação do usuário. O novo *layout* deve ser exibido suavemente (com animação, por exemplo).

Operações sobre as representações dos dados

Seleção: Selecionar um elemento na representação visual nem sempre é uma tarefa simples, pois em algumas situações, os objetos podem estar ocultos, o usuário pode querer selecionar apenas uma parte do objeto ou a forma de apontamento pode não ser adequada para a situação.

15) Existe um mecanismo interativo para seleção de elementos de informação

Não

Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

16) É permitido selecionar um elemento de informação diretamente sobre a representação visual?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: A seleção de um objeto deve ser diretamente sobre a representação visual. Esta seleção deve ser útil, facilitando a navegação e simplificando a forma que o usuário manipula os elementos de informação.

17) O elemento de informação selecionado fica destacado dos demais (marcado)?

Sim

Não

Observações: É apresentado na área auxiliar.

Recomendação: O objeto selecionado deve ser destacado e diferenciado dos demais objetos. Uma forma de destaque é colocar o objeto selecionado no foco de interesse ou marcá-lo. O mecanismo de seleção do ponto de interesse do usuário deve oferecer recursos que minimizem a desorientação que possa ser provocada em função de uma mudança brusca do layout.

18) A oclusão afeta a seleção dos elementos de informação?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: O *layout* deve ter o mínimo possível de oclusão, de forma que os usuários possam selecionar facilmente o objeto de interesse. Deve haver algoritmos (ou mecanismos que permitam arrastar, rotacionar, mudar do ponto de visão da hierarquia) eficientes para alterar o layout.

19) A exibição de elementos de informação muito pequenos prejudica a seleção de um elemento de informação?

() Não

(x) Sim { Porque? *Devido o espaço muito pequeno apresentado* }

Observações: *Em conseqüência do pequeno espaço apresentado, quando se pretende selecionar determinado elemento, não são raras as vezes que de clica em outro elemento. Isso pode atrapalhar a busca.*

Recomendação: Os objetos exibidos não devem ser muito pequenos de forma que o usuário não consiga selecioná-los. É preferível exibir menos objetos (ou fornecer formas para modificar o tamanho dos objetos) do que objetos com proporções muito pequenas.

20) O elemento de informação selecionado é trazido para o foco principal?

(x) Sim

() Não

Observações: *O foco principal fica na área de detalhe. Todavia, não existe nenhuma diferença acentuada desse nodo em relação aos demais. Se pelo menos houvesse um destaque na cor ou no formato do nodo, isso iria facilitar a visualização do mesmo.*

Recomendação: O objeto selecionado deve ser conduzido ao foco principal ou representado de forma diferente, de maneira que não haja dúvida da sua localização.

21) A desordem visual afeta a seleção dos elementos de informação?

(x) Sim

() Não

Observações: _____

Recomendação: A representação visual deve organizada adequadamente.

22) A desorientação espacial afeta a seleção dos elementos de informação?

(x) Sim

() Não

Observações: _____

Recomendação: Deve haver um mecanismo que permita que o usuário oriente-se espacialmente, de forma a não prejudicar a seleção de objetos. O usuário deve conseguir identificar um objeto auxiliado por um referencial.

Manipulação do ponto de vista: As técnicas de visualização necessitam permitir a movimentação do usuário no espaço de informação. No caso de representações bidimensionais, o usuário pode alterar a região (ou sub-árvore, no caso de hierarquias) que está sendo mapeada para a área de exibição. No caso de representações tridimensionais, a técnica de visualização deve fornecer operações de câmera e de navegação, permitindo desta forma, que o usuário manipule o ponto de visão.

23) Existe um mecanismo interativo de manipulação do ponto de vista

- Não
 Sim

Observações: É importante frisar que o usuário não tem nenhum controle sobre a localização da sub-árvore.

Recomendação: A técnica deve permitir a indicação de sub-árvores, ou regiões, diferentes para visualização, ou que o usuário altere sua própria localização no espaço de informação .

Manipulação geométrica: As técnicas de visualização devem fornecer ao usuário alguns mecanismos para rotação, translação, movimentação e mudança de escala. Estas operações permitem ao usuário interagir com os objetos visuais presentes na representação de forma alternativa à movimentação do usuário.

24) Existe um mecanismo interativo de manipulação geométrica

- Não
 Sim { Rotacionar, Transladar ou Modificar o tamanho }

Observações: _____

Recomendação: A técnica deve fornecer ao usuário mecanismos para rotação, translação, movimentação (scroll) e mudança de escala da representação da hierarquia. Estes mecanismos interativos devem ser fáceis de utilizar.

Zooming: O usuário, normalmente, necessita uma visão detalhada de alguns objetos, da mesma forma que precisa ter uma visão geral do restante das informações (contexto global). Desta forma, é necessário que as técnicas de visualização permitam ao usuário visualizar mais ou menos detalhes dos elementos de informação na representação visual, ou seja, focalizar um elemento à medida que se aproxima obtendo mais informações a respeito dele.

25) Existe um mecanismo interativo de Zooming?

- Não
 Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

26) Após um zooming existe uma visão detalhada dos elementos de informação focados?

- Sim
 Não

Observações: _____

Recomendação: Depois que o usuário realiza uma operação de zooming a técnica deve manter uma visão detalhada do elemento selecionado. A visão deve exibir claramente o objeto com detalhes necessários e suficientes para que o usuário identifique o objeto e os atributos desejados.

27) Após um zooming existe uma visão contextual do restante dos elementos?

- Sim
 Não

Observações: _____

Recomendação: Deve ser mantida uma visão contextual do restante das informações com uma visão geral das informações que não estão sendo focadas diretamente. A visão do contexto deve apresentar um layout bem organizado.

28) É possível manter o senso de localização do usuário?

- Sim
 Não

Observações: *Só em relação ao nodo que se encontra no foco.*

Recomendação: Depois de uma operação de zooming a técnica deve permitir que o usuário não perca o senso de localização dos objetos. O usuário não pode ficar desorientado visual e espacialmente, ou seja, a técnica deve manter o referencial de forma clara e objetiva.

Recuperação de situações anteriores: Em muitas situações, quando o usuário está procurando extrair informações relevantes de uma representação visual, ele pode obter alguma situação inesperada. A técnica de visualização deve possuir algum mecanismo que permita ao usuário recuperar-se desta situação, ou seja, a interface da técnica de visualização deve apresentar robustez tal que permita ao usuário recuperar-se de situações indesejadas. Por exemplo, em algumas técnicas de visualização para dados hierárquicos, é normal o usuário podar informações, ficando com a representação visual sem informações, ou seja, perdendo totalmente a estrutura da hierarquia. Desta forma, é necessário um mecanismo que permita que o usuário retroceda (ou avance) para uma visualização anterior conhecida.

29) Existe um mecanismo interativo de Recuperação de situações anteriores?

Não

Sim

Se o mecanismo interativo existe responda a(s) seguinte(s) questão(ões):

30) Existe um mecanismo de *Undo* eficiente?

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: Deve haver um mecanismo eficiente e fácil de utilizar para que o usuário recupere a visualização anterior.**31) A forma de retroceder ou avançar é adequada, ou seja, é possível navegar no histórico de operações?**

Sim

Não

Observações: _____

Recomendação: Deve haver um mecanismo eficiente e fácil de utilizar para que o usuário navegue para frente ou para trás nas exibições geradas anteriormente.

32) Em alguma situação a hierarquia desapareceu completamente da tela?

Não

Sim { É possível recuperar-se desta situação: Sim ou Não }

Observações: Em determinada situação, através do UNDO foi possível recuperar a estrutura em outras não.

Recomendação: Em nenhuma situação a hierarquia pode desaparecer completamente da tela, ou seja, deve sempre permanecer uma âncora na exibição, como por exemplo, o objeto raiz.

33) Existe forma de recomeçar, ou seja, reinicializar a visualização da hierarquia?

Sim

Não

Observações: Clicando no nodo raiz, que sempre fica em vermelho.

Recomendação: Deve ser permitido que o usuário recomece do ponto inicial, ou seja, recomece a partir da exibição.

34) Existe a possibilidade de recuperar elementos de informação selecionados anteriormente?

- (x) Sim
() Não

Observações: Através do UNDO pode-se obter essa informação, mas nem sempre isso foi possível, trazendo uma desorientação e deixando o usuário sem saber qual procedimento executar.

Recomendação: Os objetos selecionados anteriormente devem poder ser recuperados de forma eficiente, sem ter que ser repetido todo o processo inicial. A manutenção de um histórico de seleções é importante.

Satisfação subjetiva

Coloque aqui suas observações gerais sobre a técnica:

A técnica em relações a grande maioria das disponíveis no mercado, tanto comercialmente quanto no ambiente acadêmico, pode ser considerada satisfatória. Contudo, existem vários elementos que devem ser corrigidos ou adaptados aos usuário, principalmente, no que diz respeito a sobrecarga visual e a rápida mudança no contexto. Apesar dessa mudança ser benéfica, ela pode gerar grande confusão mental. Outro agravante, é a falta de recursos disponíveis ao usuário que permita maior flexibilidade durante o processo interativo. Por outro lado, os elementos oferecidos aos usuários, com a intenção de melhorar a sua visão da estrutura, termina por dificultar, principalmente, as cores, todas as arestas ficam vermelhas ou amarelas, que na maioria das vezes produzem uma desorganização visual da estrutura.

Além do mais, é importante observar que a não disponibilidade de determinados recursos, gera no usuário uma sensação de impotência durante o diálogo, fazendo com que ele fique “decepcionado” e perca a vontade de prosseguir na busca.

Apêndice 7 Material para o Ensaio de Interação

Busca de um determinado nodo na hierarquia: Consiste em localizar um nodo específico dentro da hierarquia utilizando apenas os mecanismos de interação fornecidos pela técnica. As tarefas que avaliam essa funcionalidade foram projetadas de forma que o nodo possa ser localizado a partir da informação de uma pista que auxilie na sua localização. Caso a busca fosse efetuada apenas pelo nome do nodo, o aspecto sorte poderia ser um fator determinante no resultado obtido. As tarefas 1 e 2 avaliam essa funcionalidade e possuem os seguintes objetivos específicos.

Objetivo: Avaliar a execução de uma busca de nodos localizados próximos ao nodo raiz, envolvendo os níveis 2 e 3 da hierarquia pequena e 2, 3 e 4 da hierarquia grande. Para as duas hierarquias o nodo referência para o começo da procura foi posicionado no nível 1. No entanto, o nodo procurado foi posicionado no nível 2 para a hierarquia pequena e no nível 3 para a hierarquia grande.

Tarefa 1: Considerando a sub-árvore, cuja raiz é o nodo “**João Teles**” (localizado no nível 2 da estrutura), informe a quantidade de filhos do nodo “**Santa Rita**” que está localizado em algum ponto da referida sub-árvore.

Objetivo: Avaliar a execução de uma busca de nodos localizados mais distantes do nodo raiz, envolvendo os níveis 3, 4 e 5 da hierarquia pequena e 3, 4, 5 e 6 da hierarquia grande. Para as duas hierarquias o nodo referência para o começo da procura foi posicionado no nível 3. No entanto, o nodo procurado foi posicionado no nível 5 para a hierarquia pequena e no nível 6 para a hierarquia grande.

Tarefa 2: Considerando a sub-árvore, cuja raiz é o nodo “**Humberto de Campos**” (localizado no nível 3 da estrutura), informe a quantidade de filhos do nodo “**João Pessoa**” que está localizado em algum ponto da referida sub-árvore.

Navegação através de um caminho determinado: Consiste em consultar informações de um nodo localizado em um ponto da hierarquia cujo caminho é previamente conhecido, tarefa esta bastante comum na utilização de browser de arquivos. A tarefa 3 foi criada com o objetivo de avaliar a navegação no sentido do nodo raiz para o nodo procurado e a tarefa 4 contempla a situação inversa, onde a navegação é executada de um nível mais profundo em direção ao nodo raiz.

Objetivo: Avaliar a execução de uma navegação através de um caminho pré-definido, que inicia no nodo raiz e segue em direção aos níveis hierarquicamente inferiores, onde está localizado o nodo destino. Na hierarquia pequena o caminho atravessa 4 níveis estando o nodo procurado no quinto. Na grande, o caminho percorre 6 níveis encontrando-se o nodo procurado no sétimo.

Tarefa 3: Informe o nome completo do nodo cujo nome começa com a sílaba “**Mar**” localizado no nível 5 (nível 7 para hierarquia grande) que tem como ancestrais os nodos “**Ruas**”, “**Pinto Bandeira**”, “**Hercílio Graça**” e “**Farnese**” em ordem decrescente de hierarquia.

Objetivo: Avaliar a execução de uma navegação através de um caminho pré-definido, que inicia em um nodo localizado em um nível mais profundo da hierarquia em direção ao nodo raiz. Na hierarquia pequena o nodo que determina o ponto inicial localiza-se no nível 5 e na grande no nível 7.

Tarefa 4: A partir no nodo cujo nome é “**Martim Afonso**” localizado na tarefa anterior, cite o nome completo e a respectiva quantidade de filhos de cada um de seus ancestrais até o nodo “**Pinto Bandeira**”.

Identificação dos relacionamentos pai/filhos: Consiste em verificar se a representação visual fornece uma forma eficiente de identificação dos relacionamentos hierárquicos existentes na estrutura. As tarefas 5 e 6 foram projetadas para avaliar os relacionamentos entre pai e filhos, e a 7 para verificar a facilidade de identificação dos níveis onde os nodos estão localizados.

Objetivo: Avaliar se os relacionamentos entre um nodo pai e seus filhos localizados próximos ao nodo raiz são facilmente identificáveis. Nesta tarefa são referenciados os níveis 2 e 3 da estrutura.

Tarefa 5: Informe o nome de cada filho do nodo “**Evaristo da Veiga**” (localizado no nível 2). Para cada nodo informado cite sua respectiva quantidade de filhos.

Objetivo: Avaliar se os relacionamentos entre um nodo pai e seus filhos localizados em um ponto mais distante do nodo raiz são facilmente identificáveis. Nesta tarefa são referenciados os níveis 4 e 5 (6 e 7 para hierarquia grande) da estrutura.

Tarefa 6: Informe o nome de cada filho do nodo **Nazaré**. Considere que está localizado no nível 6 no final do seguinte caminho: **Ruas\Machado de Assis\Morro da Primavera\Múcio Teixeira\Murilo Furtado**. Para cada nodo informado cite sua respectiva quantidade de filhos.

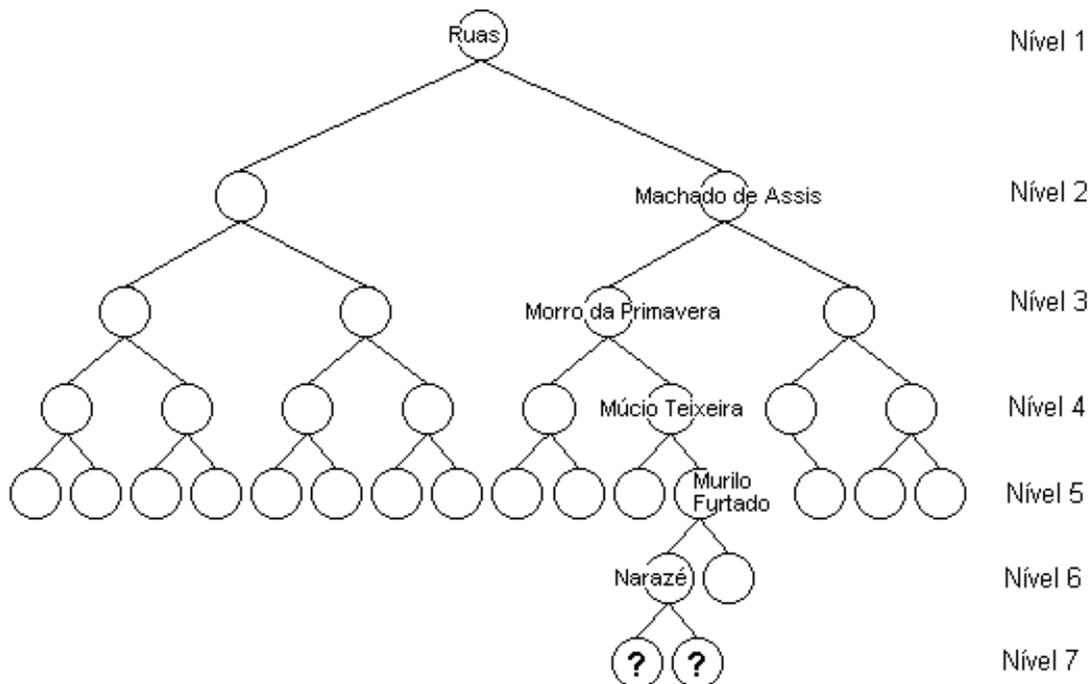


Figura A7.1: Exemplo de uma tarefa de usuário sobre uma hierarquia grande

Objetivo: Avaliar se os níveis da hierarquia são facilmente identificáveis. Nesta tarefa são consultados nodos localizados nos níveis 3, 4 e 5 (5, 6 e 7 para a hierarquia grande) da estrutura.

Tarefa 7: Informe o nome de 3 nodos localizados respectivamente nos níveis 3, 4 e 5 (5, 6 e 7 para hierarquia grande) de forma que não estejam hierarquicamente subordinados entre si (não pertençam a mesma sub-árvore).

Comparação entre dois trechos da hierarquia: Consiste em verificar a facilidade de comparação entre duas informações localizadas em áreas distintas da estrutura. A tarefa 8 permite a comparação entre dois trechos localizados no mesmo nível da hierarquia e a tarefa 9 compara duas áreas situadas em níveis diferentes. A primeira localizada próxima ao nodo raiz e a segunda em um nível mais profundo.

Objetivo: Avaliar a facilidade de comparação entre duas informações localizadas em duas áreas relativamente próximas entre si situadas no mesmo nível, mas em sub-árvores diferentes. Nesta tarefa, as informações que serão comparadas situam-se no nível 4.

Tarefa 8: Considerando os filhos do nodo “**Farrapos**” (localizado no caminho “**Ruas\São Jacó\Farrapos**”) e do nodo “**Hercílio Graça**” (localizado no caminho “**Ruas\Pinto Bandeira\Hercílio Graça**”), informe o nome e o número de filhos daquele nodo que possui a maior quantidade de filhos.

Objetivo: Avaliar a facilidade de comparação entre duas informações localizadas em duas áreas relativamente distantes entre si situadas em níveis e sub-árvores diferentes. Nesta tarefa, as informações que serão comparadas situam-se nos níveis 3 e 5 (3 e 8 para a hierarquia grande).

Tarefa 9: Considerando os filhos do nodo “**Goiás**” (localizado no caminho “**Ruas\São Jacó\Encantado\Goiás**”) e de “**Eça de Queirós**” (localizado no caminho “**Ruas\Eça de Queirós**”), informe o nome e o número de filhos daquele nodo que possui a maior quantidade de filhos.

Apêndice 8 Material de avaliação (Avaliação heurística)

Sumário dos problemas de usabilidade detectados

Heurísticas definidas por Nielsen

Avaliador: **Aluno 1**

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Entendo que seria interessante possuir uma espécie de segunda linha de <i>status</i> do sistema, indicando quais foram os nodos selecionados até o momento: conceito de <i>bread crumbs</i> . (Exibir todos os nodos selecionados)	1	1	1
2	Termos como <i>prunning</i> ou <i>expand</i> poderiam ter sido traduzidos, a fim de aumentar o seu significado	2	2	1
3	As ações disparadas pelo botão direito do mouse são modificadas conforme a seleção de um entre três botões da interface. Seria interessante que estas ações "mutantes" estivessem sempre disponíveis na tela.	3	2	1
4	Ao realizar uma operação de rotação, e invocar o botão da ação <i>previous</i> , o sistema retorna para o estado incorreto, em que os nodos da área de interesse não estão expandidos.	3	3	1
5	Os botões para modificação da distância entre níveis, limite de exibição de nodos, etc., possuem a mesma representação gráfica para a área de contexto e área de interesse.	4	3	1
6	Referente a padrões: o sistema utiliza termos em inglês e português em seus <i>hints</i> , quando deveria optar por uma homogeneidade.	4	2	1
7	Ao tentar abrir um arquivo com formato inválido, caso houvesse um arquivo aberto na tela, seria exibida uma mensagem de erro ao tentar realizar uma operação no arquivo aberto anteriormente.	5	3	1
8	Ao selecionar os botões <i>show</i> , <i>prunning/expand</i> e o botão ao lado do <i>prunning</i> , o usuário realiza diferentes ações com o botão direito. Estas ações não estão indicadas na interface, dificultando sua identificação.	6	3	1
9	Seria interessante manter uma janela de customização, aliás, configuração da visualização dos nodos, sendo que nesta janela estariam disponíveis todas as opções da interface, contudo, porém, utilizando um mecanismo do tipo " <i>slider</i> " para ajuste de parâmetros.	6	2	1
10	O sistema não possui menus que permitam acesso à configuração da visualização dos nodos. É importante que estes menus possuam teclas de atalho, também a fim de facilitar o uso do <i>software</i> .	7	3	1
11	Seria interessante se fosse disponibilizada uma opção que permitisse salvar o estado da visualização atual de uma determinada estrutura de dados.	7	2	1
12	Quando os detalhes de um nodos são visualizados, sua identificação não precisaria ser listada.	8	2	1
13	Ao abrir um arquivo com formato inválido, o sistema	9	4	1

	exibe uma mensagem de violação de acesso à memória, ao invés de indicar para o usuário o problema verificado.			
14	O sistema não possui um sistema de <i>help on-line</i> , definindo os termos e ações disponíveis no sistema	10	3	1
15	O problema 1 poderia ser minorado se o sistema possuísse uma barra de <i>status</i> que indicasse o efeito de um botão ao se passar o ponteiro do mouse sobre tal botão.	10	2	1
16	Nem todos os botões possuem <i>hints</i> .	10	2	1

Avaliador: Aluno 2

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Não há nenhuma legenda indicando que os nodos em vermelho pertencem a última sub-árvore visitada.	1	2	1
2	Não é possível manter sub-árvores abertas enquanto se visualiza outras, o que dificulta a movimentação de nodos entre sub-árvores diferentes.	1	2	1
3	Há momentos em que elementos da área de detalhe aparecem sobre os elementos da área de contexto, podendo confundir o usuário.	1	2	1
4	As funções dos botões <i>show</i> , <i>prunning/expand</i> e o botão a direita destes dois não são claras e demora bastante para o usuário descobrir.	1	2	1
5	Quando se abre uma sub-árvore e se clica novamente na raiz da sub-árvore, perde-se a informação da última visita.	1	1	1
6	Quando se altera o limite de exibição de nodos na tela e ocorre <i>overflow</i> , a barra de ferramentas deixa de funcionar e a exibição fica incorreta.	5	3	1
7	O <i>overflow</i> ocorre mesmo quando se diminui o número de nodos.	5	3	1
8	Não é possível identificar as funções dos botões agrupados ao botão " <i>show</i> " sem uma série de experimentos.	6	2	1
9	As mensagens de erro usam termos em inglês e não sugerem qualquer tipo de solução.	9	3	1
10	Não foi possível encontrar qualquer ajuda presente no software além de <i>hints</i> .	10	3	1

Avaliador: Aluno 3

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Ausência de uma barra de <i>status</i> com informações gerais, como: nível, nodo principal, etc.	1	1	1
2	Alguns botões não possuem comentários quando selecionados com o <i>mouse</i> .	1	1	1
3	A opção maximizar poderia, de fato, maximizar a área de trabalho.	1	2	1
4	Quando é gerado o erro " <i>Overflow na lista de nodos</i> ", outras funções param de funcionar corretamente e a mensagem de erro é exibida constantemente a cada ação que se tente fazer	5	3	1
5	Botões poderiam estar organizados em grupos relacionados a sua função, onde esta é indicada por título, por exemplo.	6	2	1

6	A opção "quit" do menu "File" não funciona.	7	2	1
7	A mensagem "overflow na lista de nodos" poderia conter termos mais comuns, visto que o programa pode ser utilizado por usuários principiantes na informática.	9	2	1
8	As mensagens de erro poderiam conter informações do porquê que um problema foi gerado, como revertê-lo. Exemplo: erro "overflow na lista de nodos".	10	1	1

Avaliador: Aluno 4

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Algumas vezes são necessárias várias "cliques" nos botões (+)(-) para que se note alguma mudança na visualização. Ao "clicar" somente uma vez o usuário pode pensar que não há efeito.	1	3	1
2	Ao "clicar" em um nodo a árvore pode mudar completamente de lugar e o usuário ficar meio perdido. Sugestão: Utilizar animação.	1	1	1
3	A tela "pisca" a cada nova visualização.	1	1	1
4	Menu "File / Quit" não funciona.	1	2	1
5	Os botões "Previous" e "Next" deveriam ser "Undo" e "Redo" ou "Desfazer" e "Refazer".	2	2	1
6	Após o "clique" no ícone da casinha não é mais possível voltar as configurações anteriores pelo botão "Undo".	3	3	1
7	A janela principal não pode ser redimensionalizada.	3	1	1
8	Maximizar a janela não aumenta a visibilidade.	3	2	1
9	O software apresenta menus em "inglês", descrição de alguns botões em inglês outros em português. Mensagem de erro obtida em inglês.	4	2	1
10	Arcos vermelhos significando a última visualização nem sempre funciona.	4	2	1
11	Qual a diferença entre retângulo, ícone e nodo?	4	2	1
12	Utilizando-se os botões de configuração de layout obteve-se a mensagem de erro "overflow na lista de nodos" que não quer dizer nada para o usuário. A visualização ficou com problemas.	5	3	1
13	Usar o botão "Undo" depois de abrir um novo arquivo causou uma violação de endereço de memória que persistia até o programa ser fechado.	5	4	1
14	As configurações de layout não podem ser salvas.	7	2	1
15	Ícones cujos conteúdos não aparecem completamente deveriam mostrar seu conteúdo (nome) ao passar do mouse.	7	1	1
16	A interface possui botões demais que na prática são pouco utilizados. Botões de configuração de layout aparecem duplicados (um para cada foco). Não daria para agrupar?	8	2	1
17	Mensagem de erro "Overflow na lista de nodos". O usuário não sabe o que fazer.	9	3	1
18	O sistema não possui ajuda integrada, apenas pequenas descrições dos botões.	10	2	1
19	Ambos os botões de girar dizem que giram no sentido horário.	10	1	1

Sumário dos problemas de usabilidade detectados

Critérios ergonômicos definidos por Bastien e Scapin

Avaliador: **Aluno 1**

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Algumas operações com os botões não são intuitivas, sendo necessárias várias repetições de ações para que sua funcionalidade seja percebida, por exemplo, o "Context Sector".	1	2	1
2	Os botões de alteração na visualização do nodo que me encontro os outros nodos não estão bem esclarecidos de quem é de quem.	2	3	1
3	Há alguma dificuldade na diferenciação do diretório raiz dos arquivos por apresentarem praticamente a mesma cor.	5	3	1
4	Por enquanto ainda não é possível inserir dados, ou então criar uma nova árvore.	6	2	1
5	Para a alteração na visualização são necessárias várias ações para notar que houve alguma alteração.	7	2	1
6	Em algumas alterações, os nodos da árvore sem encontram muito próximos, causando talvez dificuldade ao usuário onde se encontra o diretório raiz ou então outros diretórios.	8	3	1
7	Assim que começa a execução do programa, as opções <i>default</i> como o "Context Sector", não funcionam.	10	2	1
8	Os botões que são destinados a alteração de <i>layout</i> do contexto não funcionam quando está trabalhando no diretório raiz.	10	3	1
9	Na opção de restaurar os padrões <i>default</i> , ocorre um erro, que além de não ser restaurada um "overflow do número de nodos" ocorre.	10	4	1
10	Para usuários inexperientes, o programa o deixa meio confuso, como qual o botão deve ser "clicado" para determinada mudança.	12	1	1
11	Foi dito no controle do usuário sobre a opção de restauração da opção <i>default</i> .	13	4	1
12	No momento que o erro por "overflow" ocorreu, o programa teve de ser fechado.	15	4	1
13	Em alguns botões o <i>hint</i> aparece em inglês e em outras em português causando uma mudança de contexto para o usuário.	16	2	1

Avaliador: **Aluno 2**

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	A interface só apresenta uma forma para atingir algum objetivo (através dos botões). Prover alternativas através do uso de menus.	11	2	1
2	Ao expandir a árvore usando o botão "Altera a distância entre níveis" junto com o botão (+) não houve a prevenção de erro de "overflow na lista de nodos". Deve haver alguma limitação no número de nodos em uso.	13	3	1
3	A mensagem de erro obtida "overflow na lista de nodos" não informa nada ao usuário, como possíveis	14	3	1

	causas ou soluções para o erro. Serve apenas para o desenvolvedor do programa.			
4	Após obter “ <i>overflow</i> na lista de nodos”, enquanto o usuário não selecionar outro nodo na árvore, todas as opções ficam disponíveis para acesso. Algumas não dão respostas mas todas sempre apresentam a mesma mensagem de erro após sua execução.	15	3	1
5	Parte das informações dos botões está em português e parte está em inglês.	16	2	1
6	Os dois botões mais à direita da interface apresentam a mesma descrição para a ação a ser executada, embora esta seja diferente.	16	2	1

Avaliador: Aluno 3

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Ou não existem alternativas ou elas não são nem um pouco óbvias.	1	2	1
2	Quando se seleciona diretamente sub-ramos mais internos, deveria ficar mais óbvia qual é o caminho daquele ramo até o raiz (destaque do caminho).	2	2	1
3	O fato de eventualmente os ramos ficarem vermelhos não dá a menor idéia de porque eles ficaram.	3	2	1
4	Testando mais um pouco, noto que o ramo vermelho é muito mais aleatório do que parecia inicialmente. Eu realmente não tenho idéia de para que ele serve.	3	3	1
5	As vezes duas árvores de sobrepõem ou ramos saem para fora da tela (pela direita). Isso não deveria acontecer nunca.	5	3	1
6	O sinal de que um sub-ramo está escondido (através do botão direito) deveria ser mais claro.	5	3	1
7	Não vejo como seria fácil entrar informações nesta interface.	6	2	1
8	Quando os <i>labels</i> ficam uns por cima dos outros não existe forma de trazer os de trás para a frente, ficando impossível selecioná-los. É necessário voltar até os níveis superiores, mesmo que o <i>label</i> (nodo) esteja na tela.	7	3	1
9	Os textos deveriam aparecer completos sempre.	8	4	1
10	Não no caso dos botões da interface.	9	3	1
11	Diversas operações da interface são absurdamente não intuitivas (botões / clique com o botão direito do <i>mouse</i>).	12	3	1
12	Ao simplesmente apertar em um botão da interface, o erro “ <i>overflow</i> na lista de nodos” apareceu.	13	3	1
13	A mensagem “ <i>overflow</i> na lista de nodos” não é uma coisa agradável.	14	3	1
14	Depois da mensagem “ <i>overflow</i> na lista de nodos”, o sistema se perdeu completamente (o programa teve que ser reinicializado).	14	4	1
15	Se eu não sei o que a árvore representa então eu não sei como e porque navegar nela.	17	2	1

Avaliador: Aluno 4

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Algumas vezes são fornecidas ao usuário mesmo quando ele não as pode utilizar. Como exemplo os	1	3	1

	botões “back” e “forward” ou (+)(-). Deveriam ser desabilitados quando não tiverem efeito.			
2	O fato dos botões <i>show</i> , <i>pruning/expand</i> e <i>properties</i> atuarem sobre o botão direito do mouse não é visível. Deveriam todos atuar sobre o botão esquerdo havendo um botão extra para voltar ao modo normal. O botão direito poderia abrir um <i>pop-up</i> menu com as opções. O cursor do mouse poderia ser diferenciado quando não em modo normal.	1	4	1
3	O <i>hint</i> do botão <i>show</i> deveria ser mais claro, indicando que seria aberta uma lista de irmãos.	1	1	1
4	Os <i>hints</i> de alguns botões (como <i>home</i> e <i>properties</i>) não estão sendo exibidos.	1	2	1
5	Deveria ficar mais claro que os botões (+) e (-) é que efetuam a operação para um dado grupo, sendo os demais apenas para seleção de operação.	2	3	1
6	O usuário deveria poder apenas manter pressionados os botões (+) e (-) para aplicá-los múltiplas vezes, não sendo necessários diversos “cliques” de <i>mouse</i> .	7	2	1
7	Seria interessante que o usuário pudesse posicionar livremente a barra de botões.	11	0	1
8	O usuário deveria poder salvar a forma como configurar a visualização de um arquivo para poder utilizá-lo em execuções posteriores.	11	3	1
9	Todas as opções disponíveis através dos botões deveriam estar disponíveis através do menu. Eventualmente haveria a necessidade de caixas de diálogo.	11	3	1

Avaliador: Aluno 5

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	O recurso de “poda” utilizando o botão direito está oculto na interface. É necessário saber previamente da existência deste.	1	2	1
2	Inexistência de um <i>help on-line</i> , nem mesmo como menu “desabilitado, indicando implementação futura.	1	3	1
3	Nem todos os botões tem <i>hints</i> .	1	1	1
4	Não há diferenciação clara entre os botões para operar a visualização esquerda e a visualização direita.	2	1	1
5	Qual o significado das ligações entre os nodos que são coloridos de vermelho? Nodos do nível anterior?	3	1	1
6	Porque alguns nodos (os com extensão .txt) são coloridos de outra cor? Há alguma ação disponível? Nodos marrons são somente folhas da hierarquia?	3	2	1
7	A interface com o usuário é em inglês ou em Português? Há <i>hints</i> de botões em ambos idiomas.	5	2	1
8	Baixa legibilidade do texto da raiz, devido a escolha das cores de fundo e frente ser inadequada.	5	1	1
9	Após modificar a visualização (alterando a distância, limites, etc.) não é possível voltar a visualização padrão.	7	2	1
10	Botões “previous” e “next” deveriam permitir voltar ou avançar mais de um nível, como nos navegadores (uma setinha para baixo, abre um menu).	7	2	1
11	Não há atalhos de teclado para nenhuma operação.	12	2	1

	(Sugestão: setas direcionais poderiam girar nos 2 sentidos; (+) e (-) poderiam alterar a visualização da direita).			
12	Botões “previous” e “next” não são desabilitados quando não há ação disponível, o que acaba permitindo ocorrência de erro. Relacionado ao problema 14.1.	13	3	1
13	A mensagem “Access violation at address ...”, que ocorre ao clicar um “previous” sem que haja para onde retornar, não diz nada ao usuário. Relacionado ao problema 13.1.	14	3	1
14	Mensagem pouco explicativa ao tentar abrir arquivo inválido.	14	2	1
15	Hints extensas, porém pouco explicativas. Botões devem ter nome, e não uma descrição obscura.	17	1	1
16	Botões “previous” e “next” se parecem com os botões “First” e “Last”. Deveriam ser iguais ao do explorer, já que o botão “Home” foi aproveitado.	18	1	1
17	Ausência de botão que leve um nível acima na estrutura hierárquica.	18	2	1

Sumário dos problemas de usabilidade detectados

Critérios de avaliação definidos por Luzzardi

Avaliador: **Aluno 1**

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	A janela branca, espaço onde a árvore é exibida, não aumenta conforme o tamanho da janela, que pode ser maximizada além do tamanho original. Poderia haver apenas um limite inferior para seu tamanho.	1	1	1
2	Os atributos do nodo informa muito pouco, poderiam ser colocadas informações extras, como o caminho para se chegar até ele, o tipo do nodo, etc.	1	1	1
3	Não é possível deslocar a árvore ou rotacioná-la no espaço, apenas rotacionar os nós.	1	1	1
4	Ao clicar em um nó a árvore se reestrutura toda e o usuário se perde, não sabe como foi parar lá. Principalmente em nós longe da raiz ou do nó a atual.	5	1	1
5	Ao exibir os atributos de um nodo e clicar em um deles, a informação do nome do nodo desaparece e não pode ser recuperada.	8	2	1
6	Se for possível arrastar os nós o usuário pode visualizar melhor o contexto e encontrar a informação mais facilmente, além de organizar melhor a informação. Deve haver a opção de reestruturar para o nodo como é exibido hoje, se o usuário “fuçar” demais.	13	1	1

Avaliador: **Aluno 2**

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Não é permitido deixar dois ramos da árvore abertos de maneira que se tenha uma boa visualização de ambos	1	2	1

2	O uso de barras de rolagem permitiriam uma melhor visualização dos dados...	2	2	1
3	Quando se clica num nodo distante da raiz um pedaço da árvore sai da tela a esquerda, sendo que metade da tela tem espaço a direita.	6	3	1
4	Quando desejamos ver o atributo de um nodo este não fica marcado. E quando navegamos na janela de atributos, o nome do nodo em que estamos também desaparece.	8	3	1
5	Quando se expande um ramo que se encontra no lado esquerdo ele vai para o lado direito onde se expande. Confunde o usuário leigo	12	2	1
6	Não é permitido arrastar a árvore com o mouse, que é muito mais intuitivo do que apertar botões para movê-la.	13	1	1

Avaliador: Aluno 3

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	A localização dos botões (e o fato de haver 2 conjuntos de botões iguais para coisas diferentes) é confusa.	5	3	1
2	Os botões não possuem <i>hints</i> (alguns), tornando a navegação praticamente impossível.	5	3	1
3	O acionamento de alguns botões habilita/desabilita o funcionamento de alguns botões.	5	2	1
4	Seria interessante que fosse possível arrastar os nós em relação ao foco com o mouse, ao invés de apenas pelos botões.	5	2	1
5	Existem controles diferentes para as duas partes da árvore, mas o tipo de informação é basicamente o mesmo.	5	2	1
6	O <i>label</i> de nós muito próximos ficam sobrepostos em diversas situações.	6	3	1
7	Em vários casos as arestas ficam obstruídas e é impossível saber qual nó é filho de qual outro.	6	3	1
8	O tamanho das janelas que aparecem quando se clica com o botão da direita não pode ser alterado, escondendo várias opções, quando não é necessário.	6	2	1
9	O controle "tamanho do retângulo" é inútil, pois ou se deve poder ler o label, ou não! (e não pela metade).	7	2	1
10	Alguns conglomerados de nós poderiam ser melhor visualizados se fosse possível usar uma parte maior da tela, mas não é permitido " <i>resize</i> ".	7	3	1
11	O "caminho aberto" de nós, dentro da árvore, não é diferenciado dos demais nós.	8	2	1
12	Alguns nós possuem cor diferente para codificar, aparentemente, a informação de se é um arquivo ".txt" ou não, etc.	9	2	1
13	Não há nenhuma animação para sinalizar o tipo de movimentação que ocorre na árvore ao se expandir um nó.	12	3	1
14	Quando se rotaciona a árvore, isso é exibido de maneira brusca e pouco intuitiva.	12	3	1
15	A localização dos nós muda completamente quando se clica em alguns lugares da árvore.	12	3	1
16	Seria interessante que, ao se expandir um nó, o ambiente de visualização fosse expandido na direita do nó.	12	3	1

17	As vezes toda uma parte da árvore é deslocada para outro local da tela, causando desorientação.	12	3	1
18	Os <i>hints</i> nos botões de <i>undo</i> e <i>redo</i> são pouco intuitivos (<i>previous</i> e <i>next</i>), assim como os ícones escolhidos.	13	3	1
19	O tipo de informação que se obtém ao clicar com o botão da direita varia conforme o botão que está pressionado na barra de ferramentas.	13	2	1
20	Algumas informações aparentemente não são importantes para o usuário, como o ID / tamanho do nó.	13	2	1
21	É impossível buscar ajuda.	14	3	1
22	O tempo gasto para re-localizar os nós irmãos, quando ocorre qualquer pequena modificação no <i>layout</i> da árvore é considerável.	14	2	1

Avaliador: Aluno 4

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	A janela <i>show</i> mostra elementos tanto em foco quanto em outro, quebrando completamente a expectativa do usuário em relação a técnica de visualização.	4	4	1
2	A janela <i>show</i> e a janela sem nome ao lado dela deveriam ser uma só, já que as duas mostram informações do nó no foco.	4	3	1
3	A janela de <i>pop-up</i> deveria ajustar seu tamanho de forma apropriada.	4	1	1
4	Os dois focos da árvore deveriam ter os mesmos controles; existem dois focos, mas a informação é essencialmente a mesma, e deveria ser controlada de maneira uniforme.	5	3	1
5	O usuário deveria poder arrastar nodos para perto ou longe dos focos.	5	2	1
6	O "limite para ícones" e a "largura do retângulo" devem ser um só controle. Os dois servem para a mesma coisa.	7	3	1
7	Analogamente, o "limite de exibição" serve o mesmo propósito. Deveria haver um único controle para as três características.	7	3	1
8	O controle do nível de detalhes não deveria ser feito através do colapso / expansão de nodos, mas sim através dos focos da árvore (da distância aos focos).	7	2	1
9	Não existe nenhuma transição entre dois estados da árvore. O usuário fica desorientado.	12	4	1
10	A árvore deveria se expandir na direção do elo, ou poderia pelo menos sinalizar a mudança suavemente.	12	2	1
11	Controles como limites e larguras deveriam ser <i>sliders</i>	?	3	1
12	Botões de <i>undo</i> e <i>redo</i> deveriam ter ícones familiares, e significativamente diferentes dos de rotação. Os tooltips deveriam ser " <i>undo</i> " e " <i>redo</i> ", e não " <i>previous</i> " e " <i>next</i> ".	?	2	1
13	A aplicação deveria utilizar a janela inteira, e não somente uma parte fixa desta.	?	2	1
14	Comportamento inconsistente: ou proíbe a maximização, ou permite o reajuste do tamanho da janela.	?	2	1
15	A operação de "poda" deveria ser chamada de	?	3	1

	“colapso: “poda” sugere modificação definitiva.			
16	Os botões de rotação seriam desnecessários se a visualização não ficasse tão confusa.	?	2	1

Avaliador: Aluno 5

Código	Descrição do problema	Identificação do critério	Severidade Média	Nro de vezes relatadas
1	Imaginando a visualização em um diretório de arquivos, seria complicado informar o tipo de arquivo. Tanto a mudança nas cores quanto na forma geométrica são muito limitadas. E o uso de imagens deixaria o ambiente poluído. Esta limitação da quantidade de diferentes tipos de informação limita a aplicação da ferramenta.	1	3	1
2	Embora a visão geral da hierarquia seja muito boa, há uma limitação na quantidade de níveis exibidos simultaneamente em um mesmo caminho.	1	1	1
3	Como são exibidos vários níveis de hierarquia de vários caminhos diferentes, há uma grande poluição. Embora facilite buscas, geram certo desconforto e desorientação.	1	3	1
4	Quando queremos visualizar os detalhes de um elemento clicando com o botão direito surge uma janela. Porém, se quisermos ver os detalhes de um outro, é utilizado a mesma janela, impedindo comparações.	2	3	1
5	Grandes quantidades de elementos geram uma visualização densa e complexa dificultando a orientação do usuário.	2	3	1
6	Como são exibidos vários níveis de hierarquia de vários caminhos diferentes, há uma grande poluição. Embora facilite buscas, gera um certo desconforto e desorientação.	3	2	1
7	Não há como filtrar os elementos a ser exibidos, nem como escolher forma ou ordem de exibição.	4	3	1
8	A distribuição sem critérios de posicionamento dificulta a procura por um elemento específico, além de deixar o usuário perdido.	5	3	1
9	A sobreposição de objetos e a não exibição completa de seus nomes dificultam a navegação na hierarquia, já que se torna difícil encontrar um objeto específico.	6	3	1
10	Utilizando a ferramenta em uma resolução de 640x480 pixels, perde-se grande parte da exibição da estrutura, já que o ambiente não possui barras de rolagem.	6	4	1
11	Não há elementos que informem ao usuário detalhes dos objetos. Para o usuário ter acesso a esses detalhes é necessário requisitar os detalhes de um objeto específico. Dessa forma ele tem que adivinhar qual objeto possui a característica desejada.	7	3	1
12	Não foi possível perceber diferença na visualização de elementos já visitados. Este recurso evitaria buscas repetidas pelos mesmos caminhos quando procuramos por uma informação.	8	4	1
13	Não há muitas formas alternativas além de marcas ou cores mesmo estas formas alternativas simples perdem a eficiência quando há estrutura e bastante grande.	9	1	1
14	Como a área de detalhe fica sempre a direita da área de contexto há uma desorientação quando clicamos	12	3	1

	em um elemento que está na parte esquerda, por exemplo.			
15	O avanço no nível da hierarquia provoca uma reexibição de toda a estrutura e não só do setor em que se está trabalhando.	12	2	1
16	Existe uma mistura de idiomas nos textos de dicas dos botões. Boa parte está em inglês. Deveria ser tudo em português não há porque americanizar.	13	2	1
17	Não ajuda <i>on-line</i> , o que torna difícil o esclarecimento de dúvidas sobre a forma de visualização.	13	4	1
18	Existe uma dificuldade de adaptação ao novo modelo, já que é um padrão usado em larga escala para visualização e navegação em estruturas de informações. Dessa forma é necessário que o usuário se acostume ao modelo sugerido para que o uso seja eficiente.	14	2	1

Satisfação subjetiva: O novo modelo de visualização de estruturas de informações trás várias vantagens atraentes. Porém, ainda há detalhes de interface a serem aprimorados como já dito, a maior dificuldade encontra-se na adaptação ao uso de um modelo que quebre completamente o padrão usado pela maioria dos sistemas.

Sobre a avaliação: É muito complicado avaliar alguma coisa através de critérios sobre os quais não se tinha conhecimento e que não estão bem claros. Foi complicado decidir em qual critério devia-se classificar o problema encontrado, devido a similaridade de alguns critérios.

Bibliografia

- [ABO 92] ABOWD, G.; COUTAZ, J.; NIGAY, L. Structuring the Space of Interactive Systems Properties. In: IFIP WORKING CONFERENCE ON ENGINEERING OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION, EHCI, 1992, Ellivouri, Finland. **Proceedings...** Amsterdam: North Holland, 1992. p. 113-128.
- [AGR 93] AGRAWAL, R.; IMIELINSKI, T. Database mining: a performance perspective. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, New York, v. 5, n. 6, p. 914-925, Dec. 1993.
- [AGR 95] AGRAWAL, R. Data mining: the quest perspective. In: EDBT SUMMER SCHOOL, 1995, Gubbio, Italy. Disponível em: <<http://www.almaden.ibm.com/cs/quest>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [AHL 92] AHLBERG, C.; WILLIAMSON, C.; SHNEIDERMAN, B. Dynamic Queries for Information Explorations: an implementation and evaluation. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1992, Monterey, California. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1992. p. 619.
- [AHL 94] AHLBERG, C.; SHNEIDERMAN, B. Visual Information Seeking: tight coupling of dynamic query filters with starfield displays. In: ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, SIGCHI, 1994, Boston, Massachusetts. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1994. p. 313-317.
- [AHL 95] AHLBERG, C.; WISTRAND, E. IVEE: An Information Visualization and Exploration Environment. In: IEEE INFORMATION VISUALIZATION, Atlanta, Georgia. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1995. p. 66-73.
- [AND 98] ANDREWS, K.; HEIDEGGER, H. Information Slices: Visualizing and exploring large hierarchies using cascading, semi-circular discs. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 1998, Raleigh Durham, North Carolina. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1998. p. 9-12.
- [BAO 98] BASSO, K.; FREITAS, C. M. D. S. Visualizing of geological prospecting data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER GRAPHICS, IMAGE PROCESSING, AND VISION, SIBGRAPI, 1998, Rio de Janeiro, RJ. **Proceedings ...** Rio de Janeiro: IEEE, INPE/USP-SC, 1998.
- [BAR 2001] BARLOW, T.; NEVILLE, P. A Comparison of 2-D Visualizations of Hierarchies. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 2001, San Diego, CA. **Proceedings ...** Los Alamitos:

- IEEE Computer Society Press, 2001. p. 131-138. Disponível em: <<http://computer.org/proceedings/infovis/1342/1342toc.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [BAS 93] BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces**. Rocquencourt, France: Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, 1993. (Technical Report n.156).
- [BAT 99] BATTISTA, G. et al. **Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 397p.
- [BEA 96] BEAUDOIN, L.; PARENT M. A.; VROOMEN, L. C. Cheops: A compact explorer for complex hierarchies. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 1996. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996. p.87-92.
- [BEC 98] BECKER, R.; CHAMBERS, J.; WILKS, A. **The news language**. Pacific Grove: Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books and Software, 1998.
- [BED 94] BEDERSON, B. B. et al. **A Zooming Web Browser**. Albuquerque: Computer Science Department, University of New Mexico, 1994.
- [BER 81] BERTIN, J. **Graphics and Graphic Information Processing**. New York: De Gruyter, 1981.
- [BER 83] BERTIN, J. **Semiology of Graphics**. Madison: University of Wisconsin Press, 1983.
- [BIE 93] BIER, E. A. et al. **Toolglass and Magic Lenses: The See-Through Interface**. 1993. Disponível em: <<http://www.parc.xerox.com/istl/projects/MagicLenses/93Siggraph.html>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [BOV 90] BOVAIR, S.; KIERAS, D.; POLSON, P. The Acquisition and Performance of Text-Editing Skill: a cognitive complexity analysis. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, INTERACT, 3., 1990. **Proceedings ...** Amsterdam: North-Holland, 1990.
- [BRA 97] BRATH, R. Concept Demonstration: Metrics for Effective Information Visualization. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 1997. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1997. p.108-111. Disponível em: <<http://www.computer.org/proceedings/infovis/8189/81890108abs.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2002.

- [CAI 95] CARRIÈRE, J.; KAZMAN, R. Interacting with Hierarchies: Beyond Cone Trees. In: IEEE CONFERENCE ON INFORMATION VISUALIZATION, 1995. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1995. p.74-81.
- [CAL 2000] CALLAHAN, E.; KOENEMANN, J. A Comparative Usability Evaluation of User Interfaces for Online Product Catalogs. In: CONFERENCE ON ELECTRONIC COMMERCE, ACM, 2000, Denver, CO. **Proceedings ...** Minneapolis: [s.n.], 2000. p. 197-206.
- [CAM 97] CAMPO, M.; OROSCO, R.; TEYSEYRE, A. Automatic Abstraction Management in Information Visualization Systems. In: INTERNATIONAL INFORMATION VISUALIZATION CONFERENCE, 1997, London, England. **Proceedings ...** London: IEEE Computer Society Press, 1997. p. 50-56. Disponível em: <http://www.computer.org/proceedings/iv/8076/80760050abs.htm>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [CAR 83] CARD, S. et al. **The Psychology of Human-Computer Interaction**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [CAR 91] CARD, S. K.; ROBERTSON, G. G.; MACKINLAY, J. D. The Information Visualizer: an information workspace. In: ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1991, New Orleans. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1991. p.181-188.
- [CAR 96] CARD, S. K.; ROBERTSON, G. C.; YORK, W. The WebBook and the WebForager: an information workspace for the World Wide Web. In: ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN SOFTWARE, CHI, 1996, Vancouver, British Columbia, Canada. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1996. p. 111-117.
- [CAR 97] CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D. The Structure of the Information Visualization Design Space. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 1997, Phoenix, AZ. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1997. p. 92-99.
- [CAR 99] CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. Focus + Context. In: CARD, Stuart K.; MACKINLAY, Jock D.; SHNEIDERMAN, Ben. **Readings in Information Visualization: Using Vision to Think**. San Francisco, California: Morgan Kaufmann, 1999. p.307-309.
- [CAV 2001a] CAVA, R.A.; FREITAS, C.M.D.S. Visualizing Hierarchies Using a Modified Focus+Context Technique (interactive poster) In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 2001, San Diego, California. **Late Break Hot Topics: Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2001.

- [CAV 2001b] CAVA, R.A.; FREITAS, C.M.D.S. Node-Edge Diagram Layout for Displaying Hierachies. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, 14., 2001, Florianópolis, SC. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2001. p. 373.
- [CAV 2002] CAVA, R.A.; LUZZARDI, P.R.G.; FREITAS, C.M.D.S. The Bifocal Tree: a Technique for the Visualization of Hierarchical Information Structures. In: WORKSHOP ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, IHC, 2002, Fortaleza, CE. **Proceedings ...** Fortaleza: SBC, 2002.
- [CHE 73] CHERNOFF, H. The Use of Faces to Represent Points in a k-Dimensional Space Graphically. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, VA, v. 68, n. 342, p. 361-368, June 1973.
- [CHI 98a] CHI, E. H. et al. Visualizing the evolution of web ecologies. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1998, Los Angeles. **Proceedings...** New York: ACM Press 1998.
- [CHI 98b] CHI, E. H.; RIEDL, J. T. An Operator Interaction Framework for Visualization Systems. In: SYMPOSIUM ON INFORMATION ON VISUALIZATION, InfoVis, 1998, Research Triangle Park, NC. **Proceedings ...** North Carolina: IEEE Computer Society Press, 1998. p. 63-70.
- [CHI 2000] CHI, E. H. A Taxonomy of Visualization Techniques using the Data State Reference Model. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2000, Salt Lake City, Utah. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2000. p. 69-75.
- [CHN 2000] CHEN, C.; Czerwinski, M. **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 851-866, Nov. 2000.
- [CHU 95] CHUAH, M. et al. SDM: selective dynamic manipulation of visualizations. In: ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, UIST, 1995, Pittsburgh, PA. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1995. p. 61-70.
- [CHU 98a] CHUAH, M. C.; EICK, S. G. Information Rich Glyphs for Software Management Data. **IEEE Computer Graphics and Applications**, Los Alamitos, v. 18, n. 4, p. 24-29, July/Aug. 1998.
- [CHU 98b] CHUAH, M. Dynamic Aggregation with Circular Visual Designs. In: IEEE INFORMATION VISUALIZATION SYMPOSIUM, ACM, 1998, Research Triangle Park, NC . **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1998. p. 35-43.

- [CUG 2000a] CUGINI, J.; LASKOWSKI, S.; SEBRECHTS, M. Design of 3D Visualization of Search Results: Evolution and Evaluation. National Institute of Standards and Technology, 2000. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/iaui/vvrg/cugini/uicd/nirve-paper.html>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [CUG 2000b] CUGINI, J. Presenting Search Results: Design, Visualization and Evaluation. In: INFORMATION DOORS - WHERE INFORMATION SEARCH AND HYPERTEXT LINK WORKSHOP, 2000, San Antonio, Texas. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 2000. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/iaui/vvrg/cugini/irlib/paper-may2000.html>>. Acesso em 10 abr. 2002.
- [DAE 95] DAESSLER, R. **Visualization of Abstract Information**. 1995. Disponível em: <<http://fabdp.fh-potsdam.de/infoviz/paper/uom0595/tut.html>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [DOG 2002] DOGRUSOZ, U. et al. Graph Visualization Toolkits. **IEEE Computer Graphics and Applications**, Los Alamitos, v. 22, n. 1, p. 30-37, Jan./Feb. 2002.
- [FAY 96] FAYYAD, U. et al. (Ed.). **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [FEI 90] FEINER, S.; BESHERS, C. Worlds within Worlds: Metaphors for Exploring n-Dimensional Virtual Worlds. In: UIST, 1990, Snowbird, UT. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1990. p. 76-83.
- [FRE 95] FREITAS, C. M. D. S.; WAGNER, F. R. Ferramentas de suporte às tarefas da análise exploratória visual. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 5 - 36, Jan. 1995.
- [FRE 2002a] FREITAS, C. M. D. S.; LUZZARDI, P. R. G.; CAVA, R. A.; WINCKLER, M. A.; PIMENTA, M.; NEDEL, L. P. Evaluating Usability of Information Visualization Techniques. In: SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, IHC, 5., 2002, Fortaleza, CE. **Proceedings ...** Fortaleza: SBC, 2002. p. 40-51.
- [FRE 2002b] FREITAS, C. M. D. S.; LUZZARDI, P. R. G.; CAVA, R. A.; WINCKLER, M. A.; PIMENTA, M.; NEDEL, L. P. Usability issues in the evaluation of information visualization techniques. In: **ADVANCED VISUAL INTERFACES, AVI**, 2002, Trento, Italy. **Proceedings ...** Roma: Dipartimento di Scienze dell'Informazione, Università di Roma, 2002. v. 1.
- [FUR 81] FURNAS, G. W. The FISHEYE View: a new look at structured files. In: CARD, S. K., MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. (Ed.) **Readings in**

Information Visualization: Using Vision to Think. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1981. p. 312-330.

- [FUR 86] FURNAS, G. W. Generalized Fisheye Views. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1986, Boston. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1986. p.16-23.
- [GED 99] GEDIGA, G.; HAMBORG, K. C. IsoMetrics: an usability inventory supporting summative and formative evaluation of software systems. In: CONFERENCE HUMAN-COMPUTER INTERACTION – ERGONOMICS AND USERS INTERFACES, HCI, 1999, Munich, Germany. **Proceedings ...** Munich: [s.n.], 1999. p. 1018-1022.
- [GER 95] GERSHON, N.; EICK, S. G. Visualization's New Tack. **IEEE Spectrum**, New York, v. 32, n. 11, p. 38-56, Nov. 1995.
- [GER 97] GERSHON, N.; EICK, S. Information Visualization. **IEEE Computer Graphics and Applications**, Los Alamitos, v. 17, n. 4, p. 29-31, July/Aug. 1997.
- [GRA 2000] GRAHAM, M.; KENNEDY, J.; BENYON, D. Towards a Methodology for Developing Visualizations. **International Journal of Human Computer Studies**, [S.l.], v. 53, n. 5, p. 55-75, Nov. 2000.
- [HAB 90] HABER, R. B.; MCNABB, D. A. Visualization Idioms: a conceptual model for scientific visualization systems. In: NIELSON, G. M.; SHRIVER, B. D. (Ed.). **Visualization in Scientific Computing**. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1990. p. 74-93.
- [HAV 2001] HAVRE, S. et al. Interactive Visualization of Multiple Query Results. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2001, San Diego, California. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Press, 2001. p. 105-112.
- [HEA 94] HEARST, M. A. Using categories to provide context for full-text retrieval results. In: INTELLIGENT MULTIMEDIA INFORMATION RETRIEVAL SYSTEMS AND MANAGEMENT, RIAO, 1994, New York, NY. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1994. p. 115-130.
- [HEN 86] HENDERSON, J. D. A.; CARD, S. K. Rooms: The Use of Multiple Virtual Workspaces to Reduce Space Contention in Window-based Graphical User Interfaces. **ACM Transactions on Graphics**, New York, v. 5, n. 3 , p. 211-243, July 1986.
- [HER 2000] HERMAN, I.; MELANÇON, G.; MARSHALL, M. S. Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: A Survey. **IEEE Transactions**

on **Visualization and Computer Graphics**, Los Alamitos, v. 6, n. 1, p. 24-44, Jan./Mar. 2000.

- [HIB 96] HIBINO, S.; RUNDENSTEINER, E. A. **MMVIS: A MultiMedia Visual Information Seeking Environment for Video Analysis**. 1996. Disponível em: <<http://www.acm.org/sigchi/chi96/Proceedings/demos/Hibino/sh2txt.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [HOL 97] HOLMQUIST, L.E. Focus+Context Visualization with Flip Zooming and the Zoom Browser. In: **EXTENDED ABSTRACT OF CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1997. Proceedings ...** New York: ACM Press, 1997. p.263-264. Disponível em: <<http://www.acm.org/sigchi/chi97/proceedings/poster.lch.html>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [HOR 2001] HORNBAEK, K.; BEDERSON, B.; PLAISANT, C. Navigation Patterns and Usability of Overview+Detail and Zoomable User Interfaces for Maps. Revised version with new title, "Navigation Patterns and Usability of Zoomable User Interfaces with and without an Overview". **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, New York, v. 9, n. 4, p. 362-389, Dec. 2002.
- [HUB 97] HUBONA, G. S.; SHIRAH, G. W.; FOUT, D. G. 3D object recognition with motion. In: **EXTENDED ABSTRACT OF CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1997**, Atlanta, Georgia. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1997. p. 345 - 346.
- [INM 92] INMON, W. H. **Building the Data Warehouse**. New York: John Wiley, 1992.
- [JEF 91] JEFFRIES, R. et al. User interface evaluation in the real world: A comparison of four techniques. In: **CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1991**, New Orleans, LA. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1991. p. 119 - 124.
- [JEO 98] JEONG, C.; PANG, A. Reconfigurable disc trees for visualizing large hierarchical information space. In: **IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 1998**, Raleigh Durham, North Carolina. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1998. p.19-25
- [JER 98] JERDING, D. F.; STASKO, J. T. The Information Mural: A technique for displaying and navigating large information spaces. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, Los Alamitos, v. 4, n. 3, p. 257-271, July/Sept. 1998.
- [JOH 91] JOHNSON, B.; SHNEIDERMAN, B. TreeMaps: A space - filling approach to the visualization of hierarchical information structures. In: **IEEE**

- VISUALIZATION, 1991, San Diego, CA. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1991. p 284 - 291.
- [JUA 2000] JUAREZ, O. et al. Evaluating Visualizations Based on the Performed Task. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION VISUALISATION, 2000, London, England. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2000. p.135-144.
- [KIM 94] KIM, H.; KORFHAGE, R. BIRD: Browsing Interface for the Retrieval of Documents. In: IEEE SYMPOSIUM ON VISUAL LANGUAGES, 1994, St. Louis, Missouri. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1994. p. 176-177.
- [KLE 81] KLEINER, B. K.; HARTIGAN, J. A. Representing Points in Many Dimensions by Trees and Castles. **Journal of the American Statistical Associations**, Alexandria, VA, v. 76, p. 260-269, June 1981.
- [KOB 2001] KOBASA, A. An Empirical Comparison of Three Commercial Information Visualization Systems. In: SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2001, San Diego, CA. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2001. p. 123-130.
- [KUM 97] KUMAR, H.; PLAISANT, C.; SHNEIDERMAN, B. Browsing hierarchical data with multi-level dynamic queries and pruning. **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 103-124, Jan. 1997.
- [LAM 95] LAMPING, J.; RAO, R.; PIROLI, P. A Focus + Context Technique Based on Hyperbolic Geometry for Visualizing Large Hierarchies. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1995, Denver, CO. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1995. p. 401 - 408.
- [LAM 96a] LAMPING, J.; RAO, R., Visualizing Large Trees Using the Hyperbolic Browser. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1996, Vancouver, British Columbia, Canada. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1996. p. 388-389.
- [LAM 96b] LAMPING, J.; RAO, R. The hyperbolic browser: a focus + context technique for visualizing large hierarchies. **Journal of Visual Languages and Computing**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 33-55, Mar. 1996.
- [LUZ 2002] LUZZARDI, P. R. G.; WINCKLER, M. A. A.; CAVA, R. A.; PIMENTA, M. S.; NEDEL, L. P.; FREITAS, C. M. D. S. Usability of Information Visualization Techniques. Submetido ao CODATA Journal.

- [LUZ 2003] LUZZARDI, P. R. G.; FREITAS, C. M. D. S. An Extended Set of Ergonomic Criteria for Information Visualization Techniques. Submetido ao IEEE Symposium on Information Visualization, InfoVis, 2003, Seattle, Washington.
- [MAC 86] MACKINLAY, J. Automating the design of graphical presentations of relational information. **ACM Transactions on Graphic**, New York, v. 5, n. 2, p. 110-141, Apr. 1986.
- [MAC 95] MACKINLAY, J. D.; RAO, J. D.; CARD, S. K. An Organic User Interface for Searching Citation Links. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1995, Denver, CO. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1995. p. 67-73.
- [MAC 91] MACKINLAY, Jock D.; ROBERTSON, George G.; CARD, Stuart K. The Perspective Wall: Detail and context smoothly integrated. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, SIGCHI, 1991, New Orleans, Louisiana. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1991. p.173-176.
- [MAN 97] MANSSOUR, I.; FREITAS C. M. D. S.; CLAUDIO D. M.; WAGNER, F. R. Visualizing and Exploring Meteorological Data Using a Tool-Oriented Approach. In: EARNSHAW, R.; VONCE, J.; JONES, H. (Ed.). **Visualization and Modeling**. Cambridge: Academic Press, 1997. p. 47-62.
- [MAN 2001] MANSSOUR, I.; FURUIE, S.; NEDEL, L. P.; FREITAS C. M. D. S. A Framework to Visualize and Interact with Multinodal Medical Images. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON VOLUME GRAPHICS, 2001, Stony Brook. **Proceedings...** New York: IEEE Computer Society Press, 2001.
- [MIL 97] MILLER, N. et al. The Need for Metrics in Visual Information Analysis. In: WORKSHOP ON NEW PARADIGMS IN INFORMATION VISUALIZATION AND MANIPULATION; ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, CIKM, 6., 1997, Las Vegas, Nevada. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1997. p. 24 - 28.
- [MOR 2000] MORSE, E.; LEWIS, M.; OLSEN, K. A. Evaluating visualizations: using a taxonomic guide. **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 637-662, Nov. 2000.
- [MUN 97] MUNZNER, T. H3: Laying Out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space. In: IEEE INFORMATION VISUALIZATION SYMPOSIUM, 1997, Phoenix, AZ. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1997. p 2-10.
- [MUN 98] MUNZNER, T. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAPH DRAWING, GD, 6., 1997, Rome, It. **Graph Drawing: Proceedings**. Berlin:

- Springer-Verlag, 1998. p. 384-393. (Lecture Notes in Computer Science, 1547).
- [NIE 90] NIELSEN, J.; MOLICH, R. Heuristic Evaluation of User Interfaces. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1990, Seattle, Washington. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1990. p. 249-256.
- [NIE 93] NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston, MA: Academic Press, 1993.
- [NIE 94] NIELSEN, J. Heuristic Evaluation. In: NIELSEN, J.; MACK, R. L. (Ed.). **Usability Inspection Methods**. New York: John Wiley and Sons, 1994. p. 25-62.
- [NOR 89] NORMAN, D. A. **QUIS (Questionnaire for User Interaction Satisfacion)**. 1989.
Disponível em: <<http://www.lap.umd.edu/QUIS/index.html>>. Acesso em: 10 abr. 2002.
- [NOR 2000] NORTH, C.; SHNEIDERMAN, B. Snap-together visualization: can users construct and operate coordinated visualizations? **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 715-739, Nov. 2000.
- [NUC 96] NUCHPRAYOON, A. **GUIDO: A Usability Study of its basic retrieval operations**. 1996. Doctoral Dissertation. School of Information Sciences, University of Pittsburgh.
- [OLI 97] OLIVEIRA, M. C. F.; MINGHIM, R. Uma Introdução à Visualização Computacional. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 17., JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA, JAI, 16., 1997. **Anais** ... Brasília: UnB, 1997.
- [OLV 99] OLIVE: On-Line Library of Information Visualization User-Interfaces. 1999.
Disponível em: <<http://www.cs.umd.edu/~north/infoviz.html>>. Acesso em: 7 mar. 2001.
- [OLS 93] OLSEN, K. A. et al. Visualization of a Document Collection: The VIBE System. **Information Processing and Management**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 69-81, 1993.
- [OPP 92] OPPERMANN, R. et al. Software ergonomische Evaluation. Der Leitfaden EVADIS II. (Mensch Computer Kommunikation 5/2). In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1992, Monterey, California. **Proceedings**... New York: ACM Press, 1992. p. 635-638.

- [PIR 96] PIROLI, P. et al. Scatter/Gather browsing communicates the topic structure of a very large text collection. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1996, Vancouver, BC. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1996. p. 213-220.
- [PIR 2000] PIROLI, P.; CARD, S. K.; WEGE, M. M.V.D. The effect of information scent on searching information visualizations of large tree structures. In: CONFERENCE ON ADVANCED VISUAL INTERFACES, 2000, Palermo, Italy. **Proceedings...** New York: ACM Press, 2000.
- [PLA 95] PLAISANT, C.; CARR, D.; SHNEIDERMAN, B. Image browser taxonomy and guidelines for designers. **IEEE Software**, Los Alamitos, v. 12, n. 2, p. 21-32, Mar. 1995.
- [PLA 96] PLAISANT, C.; MILASH, B.; ROSE, A.; WIDOFF, S.; SHNEIDERMAN, B. LifeLines: visualizing personal histories. In: ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1996, Vancouver, B. C., Canada. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1996. p. 221-227. Disponível em: <http://www.cs.umd.edu/project/hcil>. Acesso em: 23 fev. 2000.
- [PLA 2002] PLAISANT, C.; GROSJEAN, J.; BEDERSON, B. SpaceTree: Design Evolution of a Node Link Tree Browser. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2002, Boston, Massachusetts, USA. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2002. p. 28-29.
- [POH 98] POHL, M. Hypermedia as a cognitive tool. In: ED-MEDIA, 1998, Charlottesville, VA. **Proceedings** ... Norfolk, VA: AACE, 1998. p. 1089-1094.
- [POH 2000] POHL, M.; PURGATHOFER, P. Hypertext authoring and visualization. **International Journal Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 809-825, Nov. 2000.
- [PRU 99] PRUMPER, J. Test it: ISONORM 9241/10. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, HCI, 8., 1999, Munich, Germany. **Proceedings** ... New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1999. p. 1028-1032
- [RAO 92] RAO, R.; CARD, S. K.; JELLINEK, H. D.; MACKINLAY, J. D.; ROBERTSON, G. G. The information grid: A framework for information retrieval and retrieval - centered applications. In: UIST, 1992, Monterey, CA, USA. **Proceedings** ... New York: ACM Press, 1992. p. 23 - 32.
- [RAO 94] RAO, R.; CARD, S. K. The Table Lens: Merging Graphical and Symbolic Representations in an Interactive Focus + Context Visualization for Tabular

- Information. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1994, Boston, Massachusetts. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1994. p. 111-117.
- [REI 81] REINGOLD, E.; TILFORD, J. Tidier Drawings of Trees. **IEEE Transactions on Software Engineering**, Washington DC, p. 223-228, 1981.
- [REK 93] REKIMOTO, Jun; GREEN, Mark. The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization. In: ANNUAL WORKSHOP ON INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS, WITS, 3., 1993. **Proceedings ...** [S.l.:s.n.], 1993. p.125-132.
- [RIS 2000] RISDEN, K. et al. An Initial Examination of Ease of Use for 2D and 3D Information Visualizations of Web Content. **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 695-714, Nov. 2000.
- [ROB 91] ROBERTSON, George G.; CARD, Stuart K.; MACKINLAY, Jock D. Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTER SYSTEMS, CHI, 1991, New Orleans. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1991. p.189-194.
- [ROB 93] ROBERTSON, G. C.; MACKINLAY, J. D.; CARD, S. K. Information Visualization using 3D Interactive Animation. **Communications of the ACM**, New York, v. 36, n. 4, p. 57 – 70, Apr. 1993.
- [ROT 97] ROTH, S. F. et al. **Towards an Information Visualization Workspace: Combining Multiple Means of Expression.** 1997. Disponível em: <<http://citeseer.nj.nec.com/277912.html>>. Acesso em 10 abr. 2002.
- [RUB 94] RUBIN, J. **Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests.** [S.l.]: Wiley Technical Communication Library, 1994.
- [RUN 2002] RUNDENSTEINER, E. et al. XmdvTool: Visual Interactive Data Exploration and Trend Discovery of High-dimensional Data Sets. In: INTERNATIONAL MANAGEMENT OF DATA AND SYMPOSIUM ON PRINCIPLES OF DATABASE SYSTEMS, ACM SIGMOD, 2002, Madison, Wisconsin. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 2002. p. 631-631.
- [SAV 96] SAVAGE, P. User Interface Evaluation in an Iterative Design Process: A Comparison of Three Techniques. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, CHI, 1996, Vancouver, British Columbia, Canada. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1996.
- [SHA 64] SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication.** Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1964.

- [SHN 92] SHNEIDERMAN, B. Tree Visualization with Tree-maps: A 2d space-filling approach. **ACM Transactions on Graphics**, Boston, MA, v. 11, n. 1, p 92-99, Jan. 1992.
- [SHN 94] SHNEIDERMAN, B. Dynamic queries for visual information seeking. **IEEE Software**, Los Alamitos, v. 11, n. 6, p. 70-77, Nov. 1994.
- [SHN 96] SHNEIDERMAN, Ben. The Eyes Have It: A Task Data Type Taxonomy for Information Visualization. In: IEEE SYMPOSIUM ON VISUAL LANGUAGES, 12., 1996, Boulder, CO. **Visual languages and innovation: proceedings**. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996. p.336-343.
- [SHN 2001a] SHNEIDERMAN, B.; WATTENBERG, M. Ordered Treemap Layouts. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2001, San Diego, California. **Proceedings ...** Los Alamitos: IEEE Press, 2001. p. 73-78.
- [SHN 2001b] SHNEIDERMAN, B. Inventing discovery tools: combining information visualization with data mining. **Information Visualization**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 5-12, Mar. 2002.
- [SHN 2000] SHNEIDERMAN, B. The Limits of Speech Recognition: Understanding Acoustic Memory and Appreciating Prosody. **Communications of the ACM**, New York, v. 43, n. 9, p. 63-65, Sept. 2000.
- [SMI 96] SMITH, P. Towards a practical measure of hypertext usability. **Interacting with Computers**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 365-381, Mar. 1996.
- [SPE 82] SPENCE, R.; APPERLEY, M. Data base navigation: an office environment for the professional. **Behavior and Information Technology**, New York, v.1, n.1, p.43-54, 1982.
- [SPE 2001] SPENCE, R. **Information Visualization**. Harlow: Addison-Wesley, 2001.
- [SPN 96] SPENKE, M.; BEILKEN, C.; BERLAGE, T. The Interactive Table for Product Comparison and Selection. In: SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, UIST, 9., 1996, Seattle, WA. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1996. p. 41-50. Disponível em: <<http://fit.gmd.de/~cici/Focus/Paper/uist96.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2000.
- [SPN 99] SPENKE, M.; BEILKEN, C. Discovery Challenge Visual, Interactive Data Mining with InfoZoom – the Financial Data Set. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRINCIPLES AND PRACTICE OF KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES, PKDD, 3., 1999, Prague, Czech Republic. **Proceedings ...** Prague: PKDD, 1999. p. 33-38. Disponível em: <<http://fit.gmd.de/~cici/InfoZoom/DiscoveryChallenge/Financial.ps>>. Acesso em: 14 fev. 2001.

- [SPO 93] SPOERRI, A. InfoCrystal: A Visual Tool for Information Retrieval. In: VISUALIZATION, 1993, San Jose, CA. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1993. p. 150-157.
- [STA 2000a] STASKO, J. T. et al. An Evaluation of Space-Filling Information Visualizations for Depicting Hierarchical Structures. **International Journal of Human-Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 663-694, Nov. 2000.
- [STA 2000b] STASKO, J.; ZHANG, E. Focus+Context Display and Navigation Techniques for Enhancing Radial, Space-Filling Hierarchy Visualizations. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, 2000, San Francisco, California. **Proceedings**... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2000. p.57-65.
- [SUT 98] SUTCLIFFE A. G.; ENNIS M. Towards a cognitive theory of information retrieval. **Interacting with Computers**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 321-351, June 1998.
- [SUT 2000] SUTCLIFFE, A. G.; ENNIS, M.; HU, J. Evaluating the effectiveness of visual user interfaces for information retrieval. **International Journal of Human Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 741-763, Nov. 2000.
- [TAV 2001] TAVANTI, M.; LIND, M. 2D vs 3D, Implications on Spatial Memory. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2001, San Diego, California. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Press, 2001. p. 139.
- [TES 92] TESLER, J.; STRASNICK, S. **FSN: 3D Information Landscapes**. Mountain View, California: Silicon Graphics, 1992.
- [TOG 92] TOGNAZZINI, B. User testing on the cheap. **TOG on Interface**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1992. p. 79-89.
- [TUF 83] TUFTE, E. R. **The Visual Display of Quantitative Information**. Cheshire: Graphics Press, 1983.
- [TUF 90] TUFTE, E. R. **Envisioning Information**. Cheshire: Graphics Press, 1990.
- [TUF 97] TUFTE, E. R. **Visual Explanations**. Cheshire: Graphics Press, 1997.
- [TUR 92] TURO, D.; JOHNSON, B. Improving the Visualization of Hierarchies with Treemaps: Design Issues and Experimentation. In: IEEE VISUALIZATION, 1992, Boston, Massachusetts. **Proceedings**... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1992. p.124-131.

- [WAR 94] WARE, C.; FRANCK, G. Viewing a graph in a virtual reality display is three times as good as a 2D diagram. In: IEEE VISUAL LANGUAGES, 1994, St. Louis, Missouri. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1994. p. 182-183.
- [WAR 2000] WARE, C. **Information Visualization: Perception for Design**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2000.
- [WEH 90] WEHREND, S.; LEWIS, C. A problem-oriented classification of visualization techniques. In: IEEE VISUALIZATION, 1990, San Francisco, California. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1990. p. 139-143.
- [WES 2000] WESTERMAN, S. J.; CRIBBIN, T. Mapping semantic information in virtual space: dimensions, variance, and individual differences. **International Journal of Human Computer Studies**, Amsterdam, v. 53, n. 5, p. 765-788, Nov. 2000.
- [WIJ 99] WIJK, J. J.; WETERING, H. Cushion Treemaps: Visualization of Hierarchical Information. In: IEEE INFORMATION VISUALIZATION, 1999, San Francisco, California. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1999. p. 73-78.
- [WIS 98] WISS, U.; CARR, D.; JONSSON, H. Evaluating 3-Dimensional Information Visualization Designs. In: IEEE CONFERENCE ON INFORMATION VISUALIZATION, 1999, London, England. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1998. p. 137-144.
- [WIS 99] WISS, U.; CARR, D. A. An Empirical Study of Task Support in 3D Information Visualizations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION VISUALIZATION, 1999, London, England. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1999. p. 392-399.
- [VID 86] VIDULICH, M. A.; TSANG, P. S. **Collecting NASA Workload ratings: a paper and pencil package**. Moffet Field, CA: NASA Ames Research Center, 1986.
- [YAN 2000] YANG-PELÁEZ, J.; FLOWERS, W. C. Information Content Measures of Visual Displays. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION, InfoVis, 2000, Salt Lake City, Utah. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2000. p. 99-104.
- [YAN 2002] YANG, J.; WARD, M.; RUNDENSTEINER, E. Interring: a radial, space-filling hierarchy visualization system with a set of navigation, modification, and selection tools. In: ACM SIGMOD CONFERENCE, 2002. **Demonstration Session: Data exploration**. Madison, Wisconsin: [s.n.], 2002. p.631.

- [ZHO 97] ZHOU, M.; FEINER, S. Top-down hierarchical planning of coherent visual discourse. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT USER INTERFACES, IUI, 3., 1997, Orlando, Florida. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1997. p. 129-136.
- [ZHO 98] ZHOU, M. X.; FEINER, S. K. Visual task characterization for automated visual discourse synthesis. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, SIGCHI, 1998, Los Angeles, CA. **Proceedings ...** New York: ACM Press, 1998. p. 392-399.