

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LUCAS NOWACZYK SEADI

**Visualização de Grafos com Leiautes Heterogêneos**

Trabalho de Graduação

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla M. D. S. Freitas  
Orientadora

Andre Suslik Spritzer  
Co-orientador

Porto Alegre, julho de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitoria de Graduação: Prof.<sup>a</sup> Valquíria Linck Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador da CIC: Prof. Raul Fernando Weber

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Alex e Leila, por sempre incentivarem e insistirem na continuidade dos meus estudos.

Agradeço aos meus orientadores, Carla e André, por toda a ajuda e paciência.

Agradeço à UFRGS e ao Instituto de Informática pelo ensino de alta qualidade a que tive acesso.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	5
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1 INTRODUÇÃO .....	8
1.1 Motivação e objetivo .....	9
1.2 Organização do texto .....	9
2 TRABALHOS RELACIONADOS .....	10
2.1 Algoritmos baseados em força e MagnetViz .....	10
2.2 Layout radial .....	12
2.3 Utilização de meta-nodos .....	13
3 ESTENDENDO O MAGNETVIZ COM LAYOUT RADIAL E MÚLTIPLAS VISÕES .....	16
3.1 Múltiplas visões .....	16
3.2 Layout Radial .....	17
3.3 Layout com Meta-nodos .....	19
4 AVALIAÇÃO PRELIMINAR .....	22
4.1 Sujeitos .....	22
4.2 Procedimento .....	22
4.3 Resultados .....	22
5 CONCLUSÃO .....	28
5.1 Trabalhos futuros .....	28
REFERÊNCIAS .....	29
ANEXO – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO .....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Rede de co-autorias da CHI com 2800 nodos e 5724 arestas visualizada com a técnica MagnetViz.....	11
Figura 2.2: Ímã virtual isolando um subgrafo.....	11
Figura 2.3: <i>Layout</i> radial apresentado por Yee et al. (2001). Imagem extraída do vídeo disponível em <a href="http://bailando.sims.berkeley.edu/infovis.html">http://bailando.sims.berkeley.edu/infovis.html</a> , reproduzida por cortesia de M. Hearst. ....	12
Figura 2.4: Grafo em <i>layout</i> radial gerado com a técnica desenvolvida neste trabalho. ....	13
Figura 2.5: Grafo de 489 nodos agrupados em uma hierarquia de meta-nodos apresentado por Abello (2006).....	14
Figura 2.6: Hierarquia de meta-nodos apresentada por Archambault (2006).....	14
Figura 2.7: Quatro níveis da hierarquia de meta-nodos e nodos apresentada por Rodrigues (2006).....	15
Figura 3.1: Interface com as três janelas exibindo a visualização padrão (no alto, à esquerda), visualização radial (no alto, à direita) e visualização com meta-nodos (inferior). ....	16
Figura 3.2: Grafo com componentes não conectados, exibidos com o MagnetViz radial.....	18
Figura 3.3: Mudança de foco do nodo n0 (esquerda) para o nodo n3 (direita).....	19
Figura 3.4: Estado inicial do <i>layout</i> radial com meta-nodos; cada meta-nodo corresponde a um componente não conectado do grafo.....	20
Figura 3.5: Componente correspondente ao meta-nodo expandido.....	20
Figura 3.6: Mudança de componente em exibição radial.....	21
Figura 4.1: Grafo de co-autorias da UFRGS de 2007 representado no MagnetViz.....	23
Figura 4.2: Distribuição das respostas relativas ao <i>layout</i> radial.....	23
Figura 4.3: Moda das respostas relativas ao <i>layout</i> radial.....	24
Figura 4.4: IQR das respostas relativas ao <i>layout</i> radial.....	24
Figura 4.5: Distribuição das respostas relativas ao <i>layout</i> radial com meta-nodos.....	24
Figura 4.6: Moda das respostas relativas ao <i>layout</i> radial com meta-nodos.....	25
Figura 4.7: IQR das respostas relativas ao <i>layout</i> radial com meta-nodos.....	25
Figura 4.8: Distribuição das respostas relativas a questões de topologia do grafo.....	25
Figura 4.9: Distribuição das respostas relativas à clareza dos <i>layouts</i> .....	26
Figura 4.10: Distribuição das respostas relativas à interação com os <i>layouts</i> .....	26

## RESUMO

Grafos são a forma mais intuitiva de representar características relacionais e hierárquicas de conjuntos de dados. Técnicas de visualização de grafos se popularizaram nos últimos anos em função da ampla e intensa utilização de redes sociais.

MagnetViz é uma técnica para visualização de grafos baseada em forças. Os algoritmos baseados em força constituem uma das famílias clássicas de algoritmos de desenho de grafos. Sendo uma subclasse dos *layouts* baseados em otimização, esses algoritmos tratam o grafo como um sistema físico, atribuindo forças aos nodos e arestas e minimizando a energia até que um *layout* estável seja alcançado.

O presente trabalho é motivado pela necessidade de estender a ferramenta MagnetViz com *layouts* diferentes daquele gerado pelo algoritmo padrão. O objetivo é proporcionar melhor visualização dependendo da topologia do grafo, sendo acrescentadas à ferramenta uma técnica de visualização radial e visualização de meta-nodos.

**Palavras-Chave:** Visualização de grafos, grafos dirigidos à força, grafos radiais.

## **Graph Visualization with Heterogeneous Layouts**

### **ABSTRACT**

Graphs are the most intuitive way to represent relational and hierarchical features of data sets. Graph visualization techniques have become popular in recent years due to the extensive and intensive use of social networks.

MagnetViz is a force-based technique for the visualization of graphs. Force-based algorithms are one of the classic families of graph drawing algorithms. Being a subclass of optimization-based layouts, these algorithms treat the graph as a physical system by assigning forces to the nodes and edges and minimizing the energy until a stable layout is achieved.

This work is motivated by the need to extend the MagnetViz tool with different layouts than the one generated by the standard algorithm. The goal is to provide a better visualization depending on the topology of the graph. Radial visualization and metanodes-based visualization are added to the tool.

**Keywords:** Graph visualization, force-directed graphs, radial graphs.

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década, a popularidade de aplicações de *networking* aumentou dramaticamente. Os internautas de hoje são frequentemente parte de muitas redes sociais: eles se comunicam em grupos ou fóruns sobre tópicos de interesse, trocam *emails* com seus amigos e colegas, expressam suas ideias em *blogs*, compartilham vídeos no *YouTube*, trocam e comentam fotos no *Flickr* ou no *Facebook*.

Sistemas de *networking* recentes com crescente popularidade tais como *LinkedIn* ou *Facebook* são dedicados exclusivamente a gerenciar e estender a rede social de um indivíduo. Graças a um efeito bola de neve, as comunidades online desses sistemas crescem rapidamente e sem esforço. Comparadas a dados coletados através de pesquisas e entrevistas, redes online são muito maiores e contêm informações muito mais ricas sobre a forma como as pessoas interagem umas com as outras. Essa avalanche de novas e vastas bases de dados gera novos desafios: as ferramentas precisam suportar a análise de uma quantidade muito grande de dados que muitas vezes evolui com o tempo, frequentemente gerando problemas de legibilidade e agrupamento que, se não forem tratados devidamente, podem prejudicar a representação dos dados como um todo.

Analisar como as pessoas se comunicam, colaboram, que informações elas trocam e que papéis elas desempenham no grupo social está se tornando um ponto de interesse de uma grande variedade de organizações, transcendendo o uso pessoal. Não há modelos confiáveis de tais redes – os modelos de análise de redes sociais Redes Aleatórias, Mundos Pequenos e Redes Sem Escalas são insuficientes e mecanicistas demais para representar corretamente as complexidades de uma rede social na Internet (RECUERO, 2004). Portanto, há uma necessidade por ferramentas que forneçam a análise exploratória da estrutura de redes sociais reais. Para este fim, grafos são uma ferramenta poderosa.

Frequentemente, os usuários finais têm que lidar diretamente com grafos. Mesmo para grafos simples, a compreensão e manipulação dessas estruturas é muito facilitada pelo uso de ferramentas de visualização. A representação visual natural de um grafo é o diagrama nodo-aresta, onde os nodos são exibidos como objetos visuais, conectados uns aos outros por linhas que representam as arestas (BATTISTA, 1999).

O problema de computar um diagrama nodo-aresta pode ser descrito simplesmente como encontrar as posições geométricas dos nodos que são mais interessantes esteticamente para a melhor compreensão do grafo e sua estrutura. Resolver este problema, porém, provou-se uma tarefa muito complexa, tornando-se o foco da área de desenho de grafos.

Há uma multiplicidade de algoritmos para desenho de grafos, com a escolha de qual usar dependendo do tipo de grafo que se queira desenhar e dos critérios estéticos escolhidos para o *layout* gerado (BATTISTA, 1999; HERMAN, 2000). Embora haja algumas linhas gerais sobre o que torna um grafo melhor compreendido por um humano, a escolha de um algoritmo depende fortemente da aplicação pretendida. Assim, é interessante para uma ferramenta de visualização de grafos oferecer a possibilidade de gerar visualizações com diferentes algoritmos.



## 1.1 Motivação e objetivo

MagnetViz (SPRITZER, 2008; SPRITZER, 2011) é uma técnica para visualização de grafos baseada em força. Os algoritmos baseados em força constituem uma das famílias clássicas de algoritmos de desenho de grafos. Sendo uma subclasse dos *layouts* baseados em otimização, esses algoritmos tratam o grafo como um sistema físico, atribuindo forças aos nodos e arestas e minimizando a energia até que um *layout* estável seja alcançado.

No presente trabalho, o objetivo é integrar outras formas de visualização de grafos na ferramenta MagnetViz, de modo a proporcionar melhor visualização dependendo da topologia do grafo. As formas de visualização escolhidas se baseiam no *layout* radial (YEE, 2001), que tem como característica principal o foco em um determinado nodo e seus vizinhos em detrimento do grafo como um todo.

## 1.2 Organização do texto

O restante do texto está organizado como segue. O capítulo 2, a seguir, descreve os trabalhos relacionados, incluindo a técnica MagnetViz. O capítulo 3 detalha a extensão da ferramenta MagnetViz para múltiplas visões, incluindo *layout* radial e exibição de subgrafos como meta-nodos. O capítulo 4 descreve uma breve avaliação da ferramenta estendida. Finalmente, o capítulo 5 mostra as conclusões do trabalho e direções para sua continuidade.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

Há muitos algoritmos de desenho de grafos (BATTISTA, 1999) cujo resultado é, em geral, dependente da topologia do grafo. Nas seções a seguir são revisadas as técnicas empregadas no presente trabalho.

### 2.1 Algoritmos baseados em força e a técnica MagnetViz

Já que os *layouts* dirigidos à força são essencialmente simulações físicas, eles são muito flexíveis na aplicação de restrições – tudo que puder ser expresso por forças pode ser integrado ao algoritmo. Esta flexibilidade e o fato de que eles geralmente produzem *layouts* limpos e de aparência orgânica os fez serem frequentemente adotados por *designers* de aplicação apesar das desvantagens de não serem determinísticos e serem computacionalmente pesados (BATTISTA, 1999). Algoritmos como o de Fruchterman e Reingold (FRUCHTERMAN, 1991) e Eades (EADES, 1996) possuem essas características.

Outra desvantagem dos algoritmos dirigidos à força é que, como a maioria das outras técnicas de desenho de grafos, eles consideram apenas a topologia do grafo. Isso pode, por vezes, deixar de fora dados importantes na computação do *layout*, ao ignorar a informação semântica contida nos atributos dos nodos e arestas. Esta informação é muito dependente da aplicação e pode ser tão importante para os usuários quanto os relacionamentos que são expressos explicitamente pelo diagrama nodo-aresta.

Enquanto a maior parte das técnicas visualizam um *layout* de grafo estático pré-computado, a técnica MagnetViz (SPRITZER, 2008; SPRITZER, 2011) permite que usuários dinamicamente alterem o *layout* de um grafo de forma a melhor satisfazer suas necessidades. Isso é feito estendendo a metáfora de física dos algoritmos dirigidos à força (Figura 2.1) para proporcionar aos usuários ímãs virtuais, que podem atrair nodos que satisfazem um conjunto de critérios associados a eles.

Os critérios de um ímã podem ser baseados na topologia ou semântica do grafo, ou mesmo no que é atraído ou não pelos demais ímãs. Um ímã pode ter quantos critérios o usuário desejar. A criação, edição e remoção de critérios é feita no painel de propriedades dos ímãs. Um critério adicionado pode ser deixado como um critério simples ou marcado como *requerimento*. Para ser atraído, um nodo precisa preencher ao menos um dos critérios, mas precisa cumprir todos os requerimentos. Os usuários também podem marcar um critério como “negativo”, de forma que o ímã irá atrair os nodos que **não** o satisfazem.

Através de *boundary shapes*, que são simples formas geométricas que podem ser colocadas ao redor de ímãs, usuários podem também definir regiões na cena onde os nodos atraídos devem permanecer (Figura 2.2). Nodos podem ser atraídos por mais de um ímã. Essa propriedade é chamada de intersecção de ímãs, e quando ocorre, o usuário pode associar esses nodos a um ímã específico – fazendo-os se comportar como se atraídos somente por aquele ímã e ignorando as forças de atração exercidas pelos outros – ou deixá-los livres – nesse caso, eles serão afetados pelas forças de todos os ímãs que os atraírem, mas ignorarão as restrições impostas pelas *boundary shapes*.

Usuários podem criar ímãs filhos, que agem somente nos nodos atraídos pelo ímã pai, criando assim uma hierarquia de ímãs. A intersecção entre pai e filho é ocorre da mesma maneira

que as outras, e mães filhas podem ter seus próprios filhos. Quando um pai é deletado, todos os seus filhos também são.

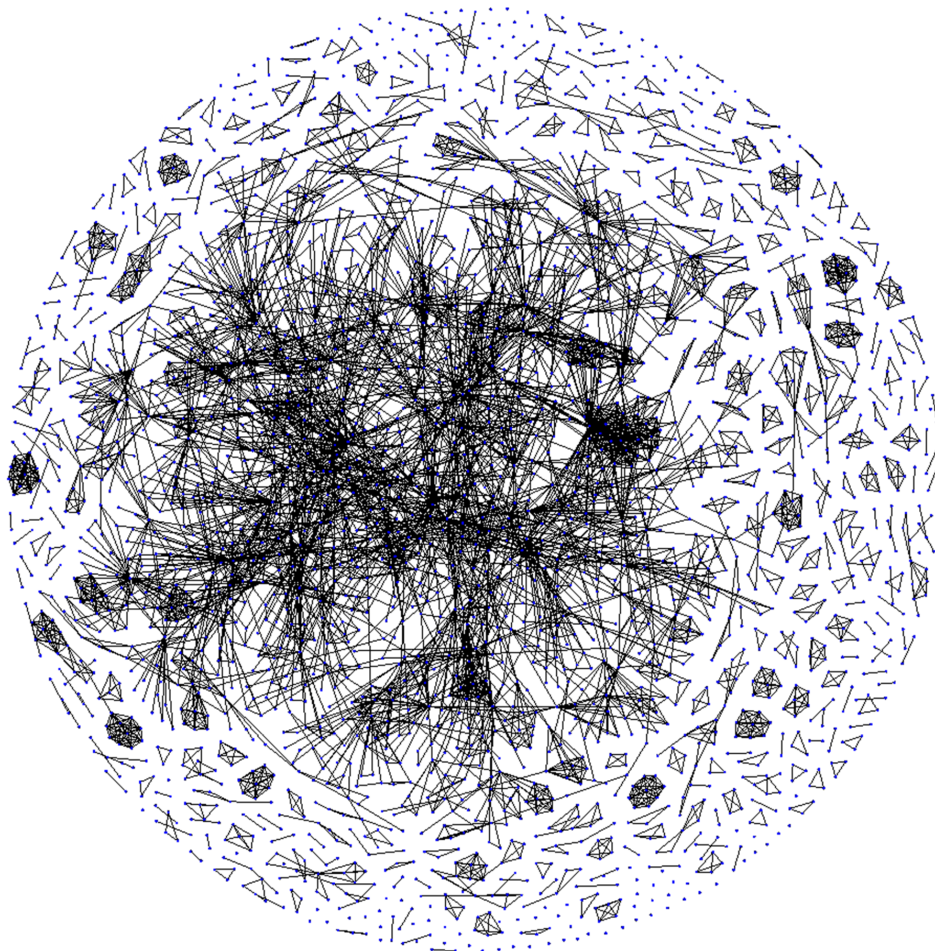


Figura 2.1: Rede de co-autorias da CHI com 2800 nodos e 5724 arestas visualizada com a técnica MagnetViz

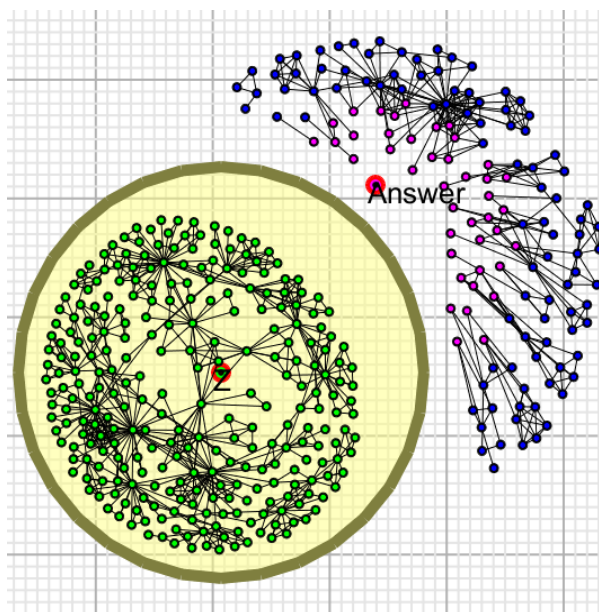


Figura 2.2: Ímã virtual isolando um subgrafo

Os grafos são descritos para o MagnetViz usando GraphML (GRAPHML, 2010), uma linguagem baseada em XML que permite a especificação dos nodos e arestas e de atributos para essas entidades. Após a submissão de um grafo como entrada, MagnetViz o exibe utilizando uma versão modificada do algoritmo clássico de Fruchterman e Reingold (FRUCHTERMAN, 1991), e permite que o usuário, a seguir, insira ímãs na cena. Usuários podem construir as condições associadas aos ímãs utilizando os atributos dos nodos e arestas, além de atributos topológicos próprios de grafos. Ímãs também podem ser criados baseados em outros ímãs, permitindo operações de conjunto em cima dos dados.

## 2.2 *Layout radial*

Além dos algoritmos dirigidos à forças, há inúmeras técnicas de visualização de grafos, baseadas em princípios diferentes, descritas na literatura (BATTISTA, 1999; HERMAN, 2000). Uma dessas técnicas é o *layout radial* (YEE, 2001) (Figura 2.3).

Este *layout* foi escolhido para integração à ferramenta MagnetViz devido à sua rapidez na geração da visualização e as possibilidades de interação. Além disso, o conceito no qual ele se baseia – focar em um nodo e seus vizinhos mais próximos – é condizente com o contexto de um usuário de redes sociais, que enxerga a rede a partir de sua própria perspectiva, estendendo-se em direção aos outros membros dela.

Na técnica de *layout radial*, um nodo é posicionado no centro e os demais são distribuídos ao redor dele, dispostos em anéis concêntricos em torno do nodo em foco (Figura 2.4). Cada nodo reside no anel correspondente à sua menor distância do foco. Vizinhos imediatos do foco residem no anel mais inferior, seus vizinhos residem no segundo menor anel, e assim por diante. Os anéis são desenhados explicitamente para tornar a distância aparente.

A posição angular do nodo em seu anel é determinada pela largura angular, ou setor, do anel alocado a ele. A cada nodo é alocado um setor dentro do setor designado a seu pai, com tamanho proporcional à largura angular da sub-árvore daquele nodo. O nodo em foco recebe o maior setor, ou seja,  $2\pi$ , e cada um dos restantes tem a largura angular definida como o setor de seu nodo pai multiplicado pela quantidade de nodos folha em sua subárvore e dividido pela quantidade de nodos folha na subárvore de seu nodo pai (WILLS, 1997). Inicialmente, o nodo de maior grau é escolhido como foco.

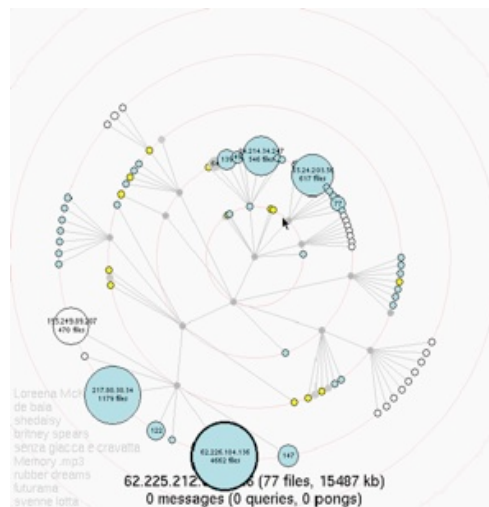


Figura 2.3: *Layout radial* apresentado por Yee et al. (2001). Imagem extraída do vídeo disponível em <http://bailando.sims.berkeley.edu/infovis.html>, reproduzida por cortesia de M. Hearst.

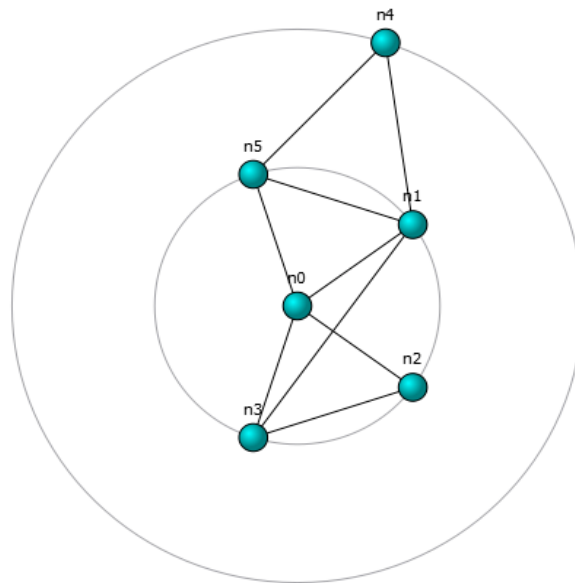


Figura 2.4: Grafo em *layout* radial gerado com a técnica desenvolvida neste trabalho.

O *layout* radial como descrito em (YEE, 2001) assume que o grafo é conectado, o que não é o caso da ferramenta desenvolvida para este trabalho. O tratamento dado a componentes não conectados, assim como as vantagens e desvantagens dos mesmos no *layout* são detalhados na seção 3.2.

### 2.3 Utilização de meta-nodos

Um aspecto importante na obtenção de visualizações compreensíveis e organizadas visualmente é o tratamento dado a grafos onde existem subgrafos densos, fortemente conectados, que podem atrapalhar a análise de relações entre subgrafos, além de gerar um problema de escalabilidade. Para melhorar a apresentação do grafo em um nível de abstração mais alto, algumas ferramentas permitem apresentar subgrafos como nodos especiais (meta-nodos). Assim, um grafo composto por diversos subgrafos pode ser representado como um grafo de meta-nodos.

Foram propostas técnicas que adotam um *layout* de grafo pré-computado e o utilizam para construir uma hierarquia que será explorada interativamente navegando através de meta-nodos recursivos, sendo os meta-nodos um agrupamento de nodos do grafo (ABELLO, 2006) (Figura 2.5). Schaffer (SCHAFFER, 1998) utiliza uma abordagem multifocal onde meta-nodos podem ser expandidos e visualizados no contexto do grafo inteiro. E eles podem ser substituídos no *layout* pelos nodos que contêm, ou agrupá-los dentro de sua área (ARCHAMBAULT, 2010; RODRIGUES, 2006) (Figuras 2.6 e 2.7), de forma semelhante às *boundary shapes* em MagnetViz. Arestas entre meta-nodos indicam que existe pelo menos uma aresta entre dois nodos pertencentes aos dois subgrafos.

A incorporação de visualização de subgrafos como meta-nodos em uma técnica como a do *layout* radial ou *layout* baseado em forças leva à necessidade de prover ao usuário a possibilidade de indicar o subgrafo a ser aglutinado e exibido como um meta-nodo e, é claro, sua consequente expansão, ou seja, indicar o meta-nodo que deve ser reexibido como um subgrafo segundo as regras do *layout* geral. A próxima seção detalha o algoritmo radial implementado como segunda visão da ferramenta MagnetViz.



Figura 2.5: Grafo de 489 nodos agrupados em uma hierarquia de meta-nodos apresentado por Abello (2006)

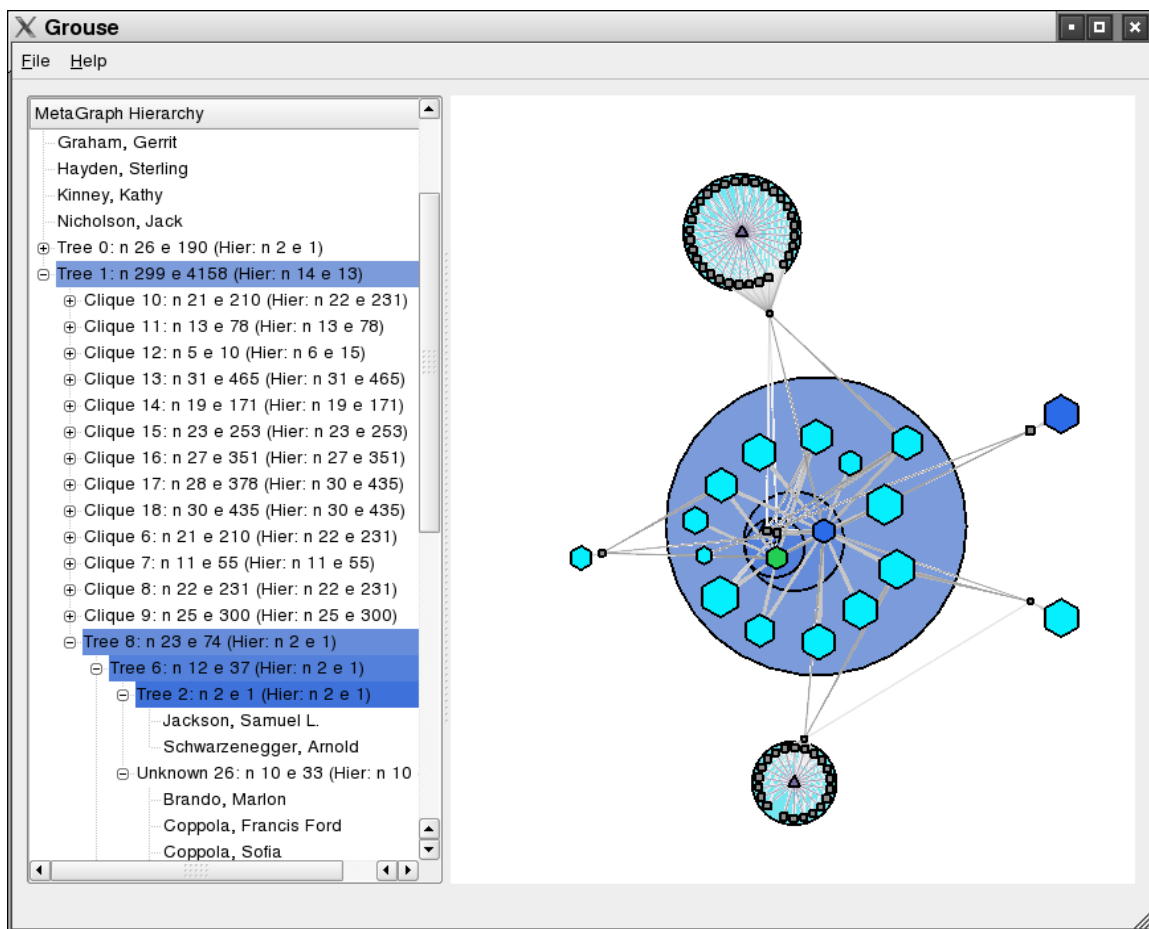


Figura 2.6: Hierarquia de meta-nodos apresentada por Archambault (2006)



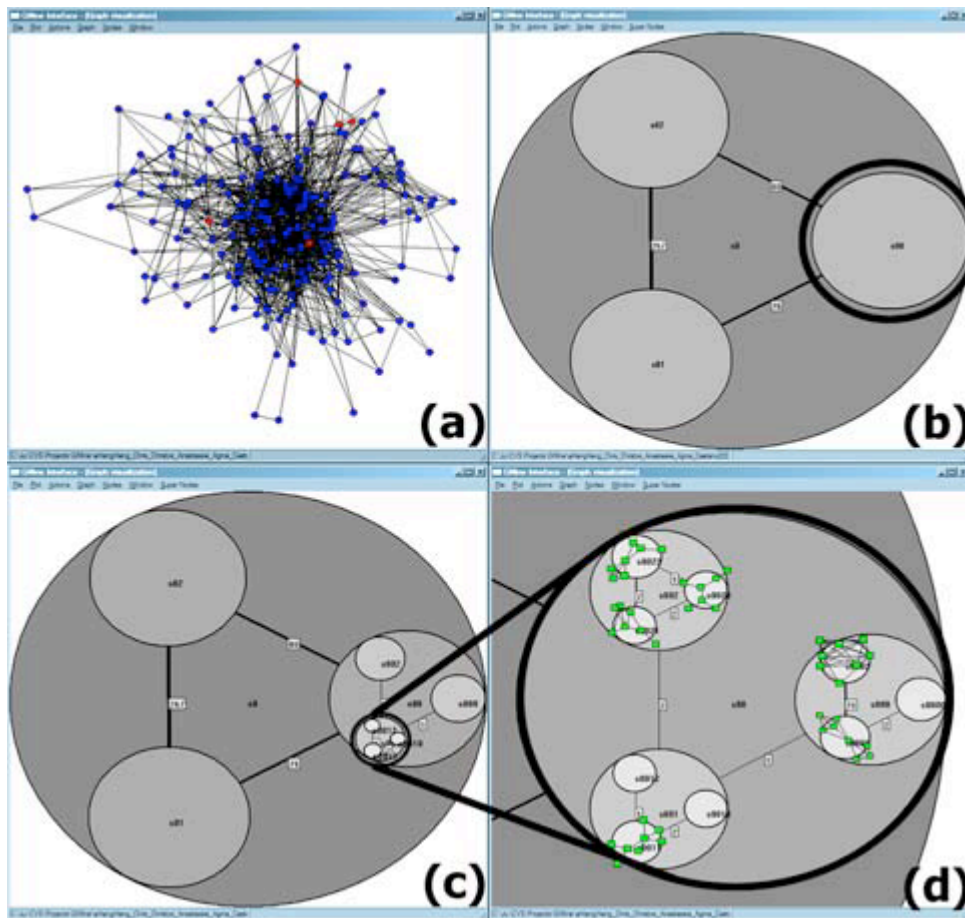


Figura 2.7: Quatro níveis da hierarquia de meta-nodos e nodos apresentada por Rodrigues (2006)

### 3 ESTENDENDO O MAGNETVIZ COM LAYOUT RADIAL E MÚLTIPLAS VISÕES

A ferramenta MagnetViz foi estendida com duas técnicas exibidas em janelas distintas da janela da visualização *default*. Para isto foi necessário implementar o conceito de múltiplas visões, embora não sincronizadas. Quando o usuário seleciona um nodo em uma visão, este mesmo nodo não aparece selecionado nas outras visões. Optou-se por não coordenar as visões porque elas diferem suficientemente entre si a ponto de exibirem de forma mais acessível grafos de topologias diferentes. Dessa maneira, escolheu-se permitir que o usuário visualize grafos diferentes, ou seja, um grafo para cada uma das visões, se assim desejar, adaptando-se à visão que melhor represente cada um.

As próximas seções detalham a extensão da ferramenta MagnetViz desenvolvida neste trabalho.

#### 3.1 Múltiplas visões

A interface básica do MagnetViz foi modificada com a introdução de duas visões adicionais àquela original do *layout* baseado em forças. Da mesma maneira que a original, esta implementação é feita na linguagem C++ com o auxílio do *framework* Qt 4 versão 4.7.0.

A interface da ferramenta apresenta três janelas (Figura 3.1), cada uma com sua visualização. Na subseção *Properties* é exibida a contagem de nodos e arestas do grafo. Ao selecionar um nodo, são exibidos seus atributos, tais como seu rótulo, seu grau e sua quantidade de vizinhos. Ao selecionar uma aresta, são exibidos os nodos que ela liga e seu valor, se houver. No menu *Options* é possível inserir ímãs (na visualização *default* do MagnetViz), abrir arquivos de grafos, editar preferências de exibição e exportar a visualização para um arquivo de imagem.

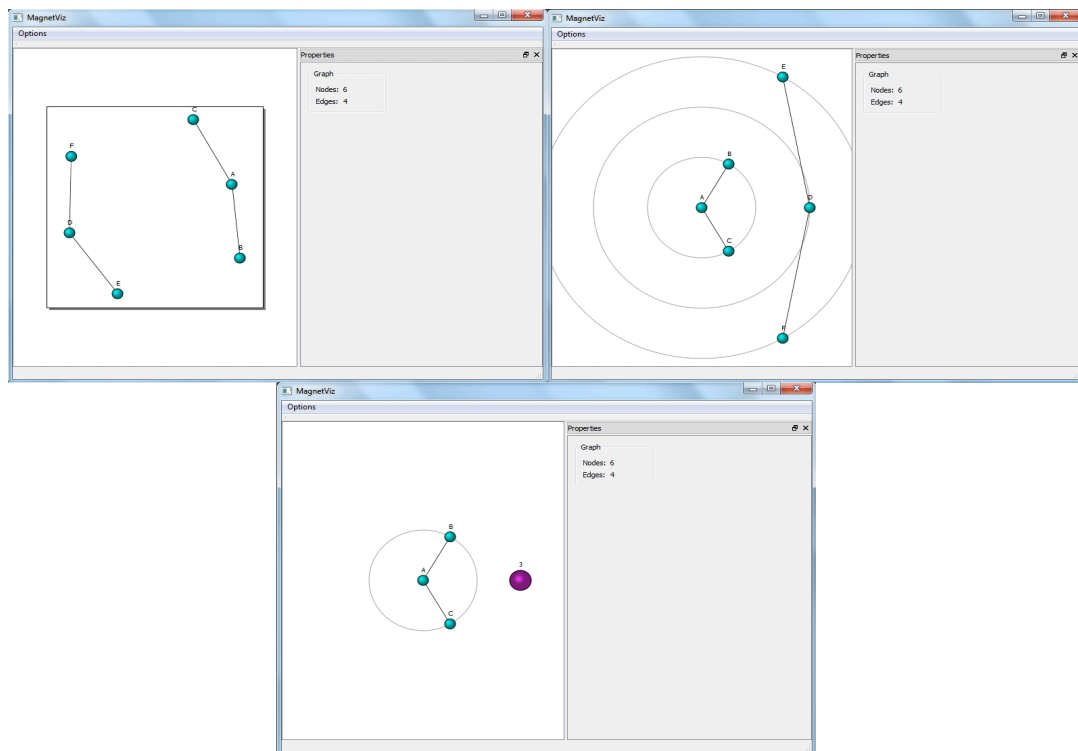


Figura 3.1: Interface com as três janelas exibindo a visualização padrão (no alto, à esquerda), visualização radial (no alto, à direita) e visualização com meta-nodos (inferior).



Na primeira visão (Figura 3.1, no alto, à esquerda), o grafo é exibido com *layout* baseado em forças. As outras duas visões apresentam o mesmo grafo com *layout* radial e *layout* radial com meta-nodos.

A seção a seguir apresenta os *layouts* providos pelas duas visões da versão estendida.

### 3.2 *Layout Radial*

O *layout* radial descrito na seção 2.2 é adotado na segunda visão do grafo que já está exibido na janela principal, com o *layout* padrão do MagnetViz. Segue uma versão simplificada do algoritmo para determinar as posições:

```

1. função determina_posição (nodo, ângulo) {
2.   se (nodo == foco) {
3.     nodo.setor ←  $2\pi$ ;
4.     nodo.posicao ← (0,0);
5.   } senão {
6.     nodo.setor ← nodo.pai.setor * nodo.subárvore.num_folhas /
       nodo.pai.subárvore.num_folhas;
7.     nodo.posicao ← (nível * 100, ângulo);
8.   }
9.   para cada (nodo.filho) {
10.    determina_posição (nodo.filho, nodo.setor.num_filhos);
11.  }
12.}
```

Algoritmo 1: Algoritmo para determinar as posições dos nodos no *layout* radial

Como mencionado na seção 2.2, o *layout* radial descrito em (YEE, 2001) assume que o grafo é conectado. Neste *layout* radial, componentes não conectados ao nodo em foco são exibidos em novas árvores cujas raízes estão distribuídas no nível seguinte ao último da árvore principal, com os setores iniciais distribuídos igualmente entre elas (Figura 3.2). O primeiro nodo computado de cada uma é automaticamente considerado sua raiz. Ao selecionar um nodo, ele se torna o novo foco, deslocando-se para o centro, com o restante do grafo se rearranjando em torno dele (Figura 3.3).

A desvantagem principal desta solução aparece quando o componente do nodo em foco possui muitos níveis: o componente principal ocupa uma grande quantidade de círculos, “empurrando” os restantes para níveis muito externos, sendo necessária uma grande diminuição no *zoom* para que eles sejam exibidos. Tal situação complica sua análise, uma vez que se torna difícil ler os rótulos dos nodos, selecionar arestas ou mesmo clicar em um nodo para que seu componente se mova para o centro da visualização.

Para reduzir a desorientação que pode ser causada durante o rearranjo, é usada animação para executar uma transição suave, além de algumas restrições para manter o novo *layout* similar ao atual, tornando a transição mais fácil de acompanhar. As coordenadas polares inicial e final dos nodos são interpoladas, fazendo com que sua movimentação seja sempre circular e evitando que eles se aglutinem no centro, para depois se separarem durante a transição, como ocorreria com frequência em uma animação linear. Além disso, cada nodo se movimenta no sentido da menor transição, ou seja, percorrer a menor porção do círculo (YEE, 2001) (Algoritmo 2). Na Figura 3.3,

por exemplo, caso o nodo n2 se movimentasse no sentido horário seu caminho a percorrer seria muito maior do que no anti-horário.

```
// cálculo do passo de animação, ou seja, o quanto o raio e o ângulo do nodo serão alterados
// em cada iteração
1.   para cada (nodo em Grafo) {
2.       passo_raio [nodo] = (novo_raio - raio_atual) / passo;
3.       se ((novo_ângulo > 0) e (ângulo_atual < 0) e (módulo (novo_ângulo)
< módulo (ângulo_atual))) {
4.           passo_ângulo [nodo] = (novo_ângulo - ângulo_atual - 2π) /
passo;
5.       } senão se ((novo_ângulo < 0) e (ângulo_atual > 0) e (módulo
(novo_ângulo) > módulo (ângulo_atual))) {
6.           passo_ângulo [nodo] = (novo_ângulo - ângulo_atual + 2π) /
passo;
7.       } senão {
8.           passo_ângulo [nodo] = (novo_ângulo - ângulo_atual) / passo;
9.       }
10.  }
```

Algoritmo 2: Algoritmo para determinar o sentido da movimentação dos nodos no *layout* radial

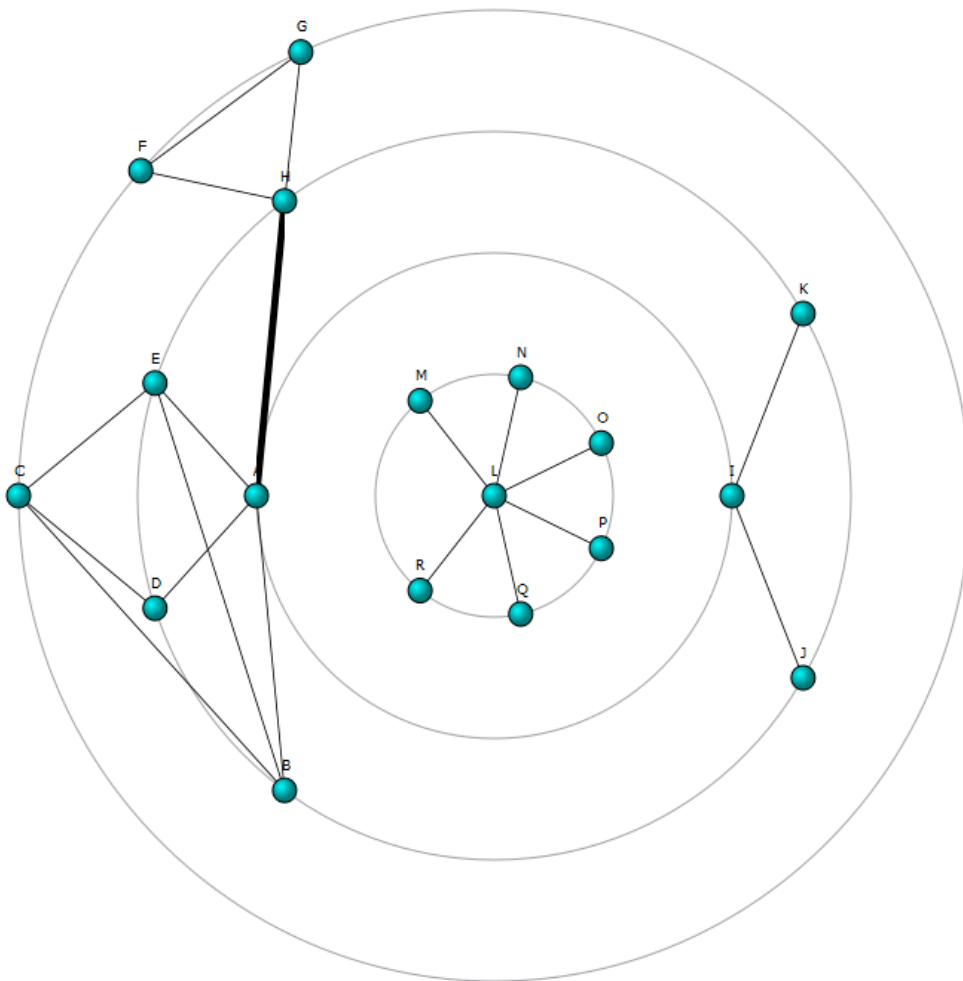


Figura 3.2: Grafo com componentes não conectados, exibidos com o MagnetViz radial

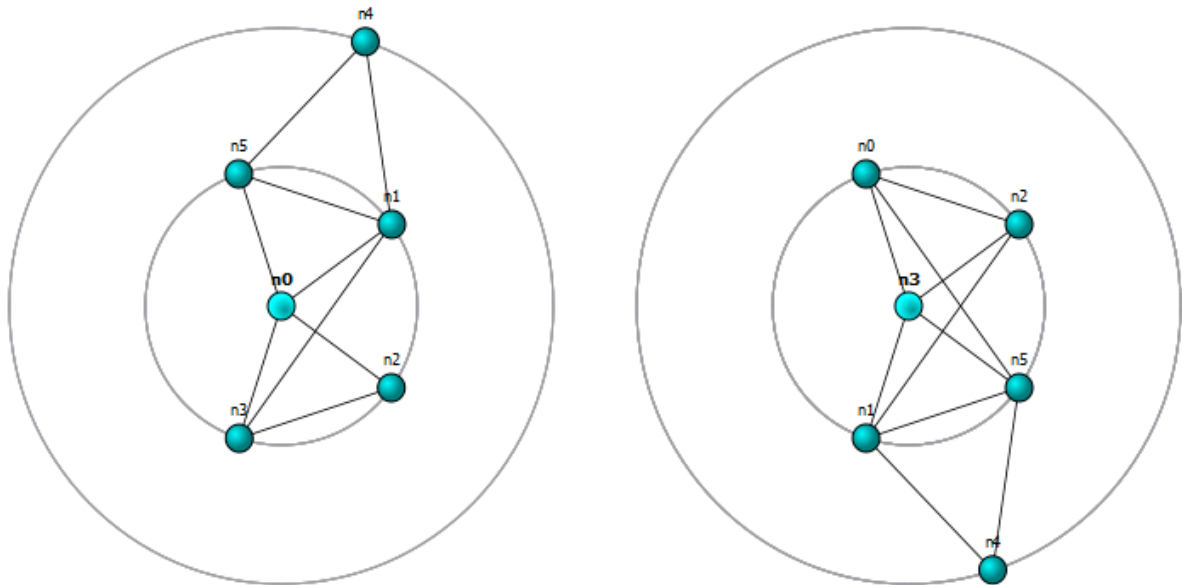


Figura 3.3: Mudança de foco do nodo n0 (esquerda) para o nodo n3 (direita)

### 3.3 *Layout com Meta-nodos*

O *layout* radial se mostrou suficientemente claro e intuitivo ao dispor o nodo selecionado como foco no centro e seus vizinhos ao redor dele. Entretanto, os componentes desconexos a ele nem sempre são dispostos de maneira facilmente distinguível – especialmente nos casos em que há muitos deles ou uma grande quantidade de nodos irmãos, resultando em nodos demais dispostos num mesmo nível, dificultando uma visualização prática.

Para contornar esse problema – e confiando na noção intuitiva de que o usuário na maioria das situações estaria interessado em analisar a disposição de um componente por vez – chega-se ao terceiro *layout*, que se trata de uma versão do *layout* radial, com a adição de meta-nodos para representar os componentes conexos.

Para o *layout* radial integrado à ferramenta MagnetViz, foi utilizada uma abordagem de exploração similar à proposta por Schaffer (SCHAFFER, 1998). Cada componente do grafo possui um meta-nodo, cujo tamanho é o dobro de um nodo normal. Junto a cada meta-nodo é exibido um número que representa a quantidade de nodos que ele contém. Inicialmente são exibidos apenas os meta-nodos dispostos em um círculo (Figura 3.4). Ao clicar em um deles, ele é expandido para o centro do grafo, onde o componente é exibido na forma radial, inclusive podendo-se escolher o nodo em foco (Figura 3.5). Clicando-se em outro meta-nodo, o componente em exibição é recolhido para seu meta-nodo enquanto o novo entra em seu lugar, e assim por diante (Figura 3.6). Inicialmente, o nodo de maior grau em cada componente é considerado seu foco. Caso o grafo possua apenas um componente, ele estará sempre no centro, sem a exibição de nenhum meta-nodo.

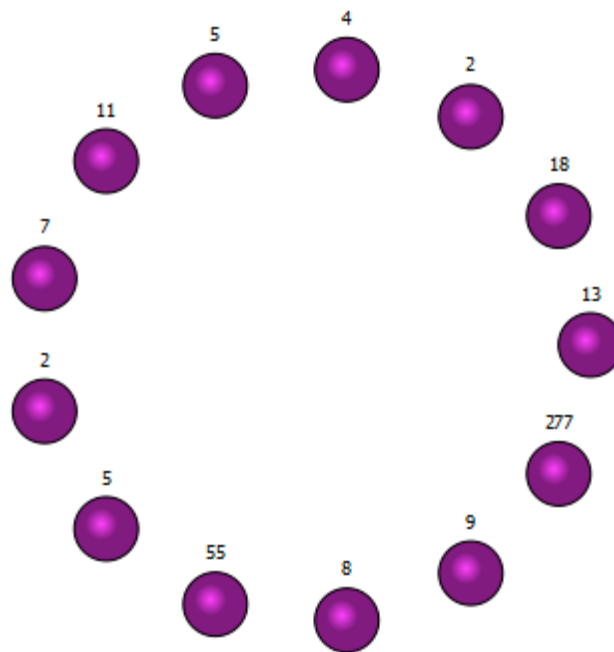


Figura 3.4: Estado inicial do *layout* radial com meta-nodos; cada meta-nodo corresponde a um componente não conectado do grafo

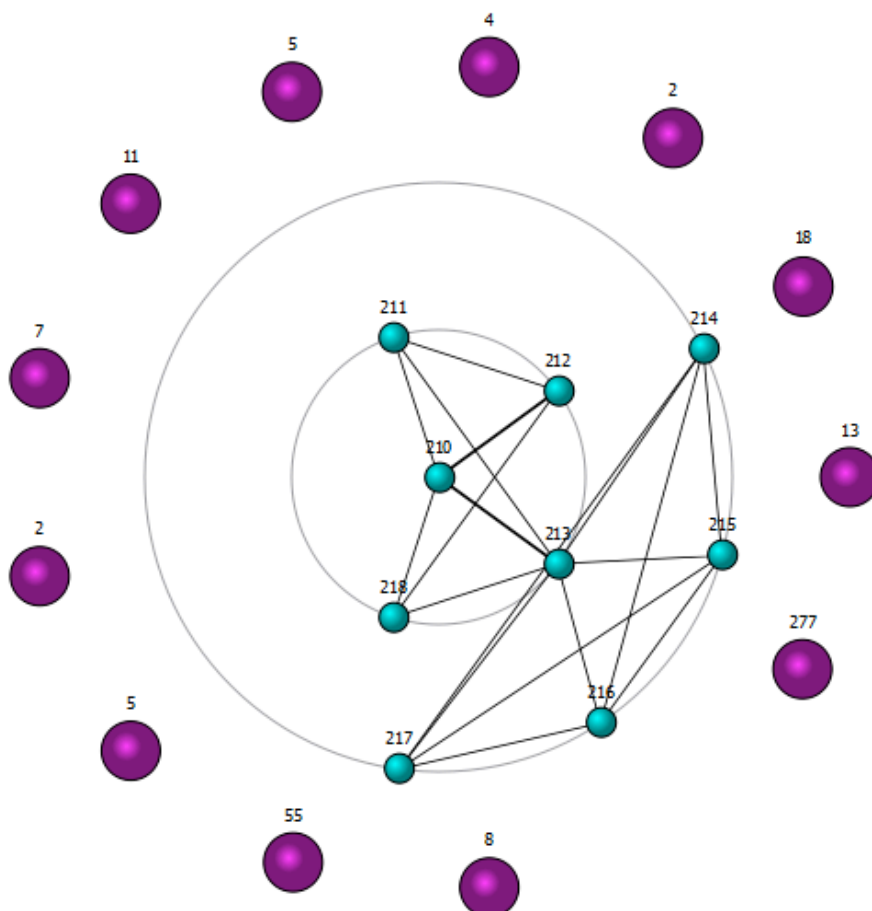


Figura 3.5: Componente correspondente ao meta-nodo expandido

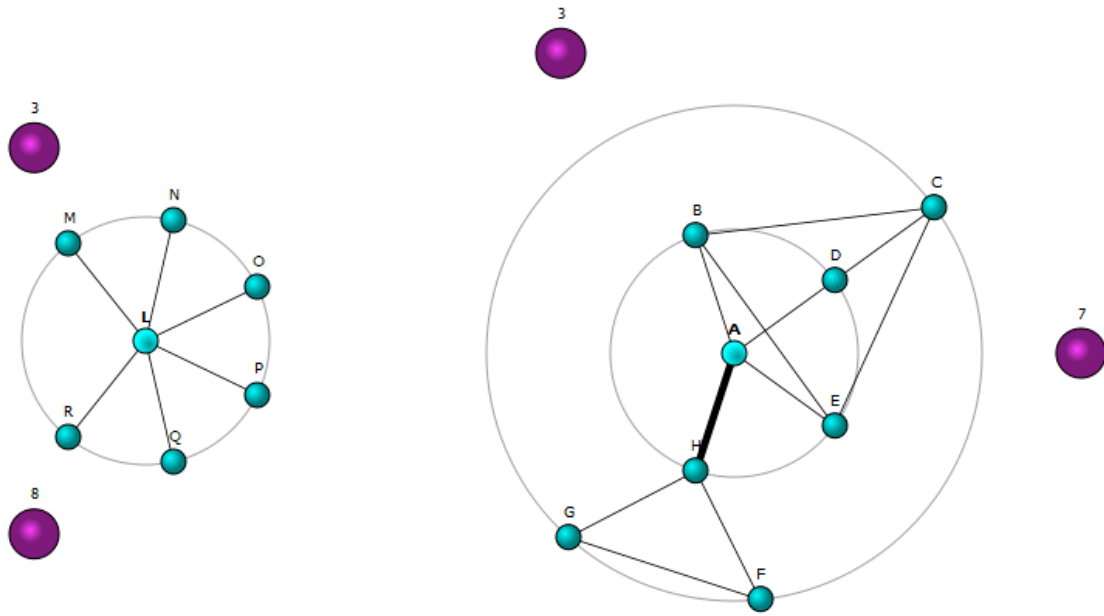


Figura 3.6: Mudança de componente em exibição radial

## 4 AVALIAÇÃO PRELIMINAR

A avaliação da ferramenta MagnetViz estendida foi feita com um estudo com usuários. Os testes foram elaborados para provar a hipótese de que as visões acrescentadas estendem apropriadamente a ferramenta, proporcionando melhor visualização de grafos ao fornecer múltiplas visões e a consequente escolha por parte do usuário de qual ou quais utilizar para a exploração deles, e foram executados usando em uma rede de co-autorias do Instituto de Informática da UFRGS em 2007.

### 4.1 Sujeitos

Por se tratar de uma avaliação preliminar, optou-se por utilizar um grupo pequeno, mas que já possuísse experiência com visualização de grafos. Cinco membros do grupo de Computação Gráfica da UFRGS participaram como sujeitos. Eles têm idades entre 20 e 34 anos e todos tinham alguma experiência prévia com ferramentas de visualização de grafos.

### 4.2 Procedimento

Os testes consistiram em mostrar aos sujeitos a ferramenta MagnetViz estendida, explicar brevemente seu funcionamento e, então, mostrar o grafo de co-autorias de 2007 (Figura 4.1) em ambas as novas visões do MagnetViz. Foi pedido aos sujeitos que inspecionassem visualmente e interativamente cada visão e dessem seu nível de concordância a 31 afirmações positivas em uma escala Likert de cinco pontos (Anexo – Questionário de Avaliação). Não foi apresentado um roteiro para os testes, ficando a critério dos sujeitos por quanto tempo explorar cada visualização ou, mesmo, por quanto tempo utilizar a ferramenta antes de responderem ao questionário.

Do total de questões, 13 eram relativas à visão radial e 18, à visão radial com meta-nodos. As afirmações eram relativas a questões tais como identificar elementos da topologia do grafo (a saber, identificar *clusters*, nodos de corte, nodos folha e caminhos), a clareza geral dos *layouts*, a clareza em comparação um com o outro e o quanto eles julgavam que os *layouts* tinham sucesso em representar as informações desejadas.

### 4.3 Resultados

Para a avaliação dos resultados, as afirmações passaram por duas divisões distintas. Na primeira, as afirmações foram simplesmente divididas para cada *layout*, que é então avaliado como um todo. Na segunda, as afirmações foram divididas em três blocos (Topologia, Clareza e Interação), avaliando-se ambos os *layouts* simultaneamente.

As Figuras 4.2-4.4 contêm gráficos da distribuição das respostas dos sujeitos, moda e amplitude interquartil, respectivamente, com relação ao layout radial.

Como pode ser visto, os sujeitos em maior parte concordaram com as afirmações (23 responderam “Concorda Totalmente” e 24 “Concorda em Parte”). Houve 13 respostas “Indeciso”, mas muito poucos discordaram (5 respostas “Discorda em Parte” e nenhuma “Discorda Totalmente”). Isso é abalizado pelos gráficos da moda e do IQR, que mostram que a moda foi 5

(“Concorda Totalmente”) em cinco afirmações, 4 (“Concorda em Parte”) em cinco afirmações e 3 (“Indeciso”) em três afirmações, nunca menos. A variabilidade foi moderada, com o IQR igual a 2 em dois casos, 1 em seis casos e 0 nos cinco restantes.

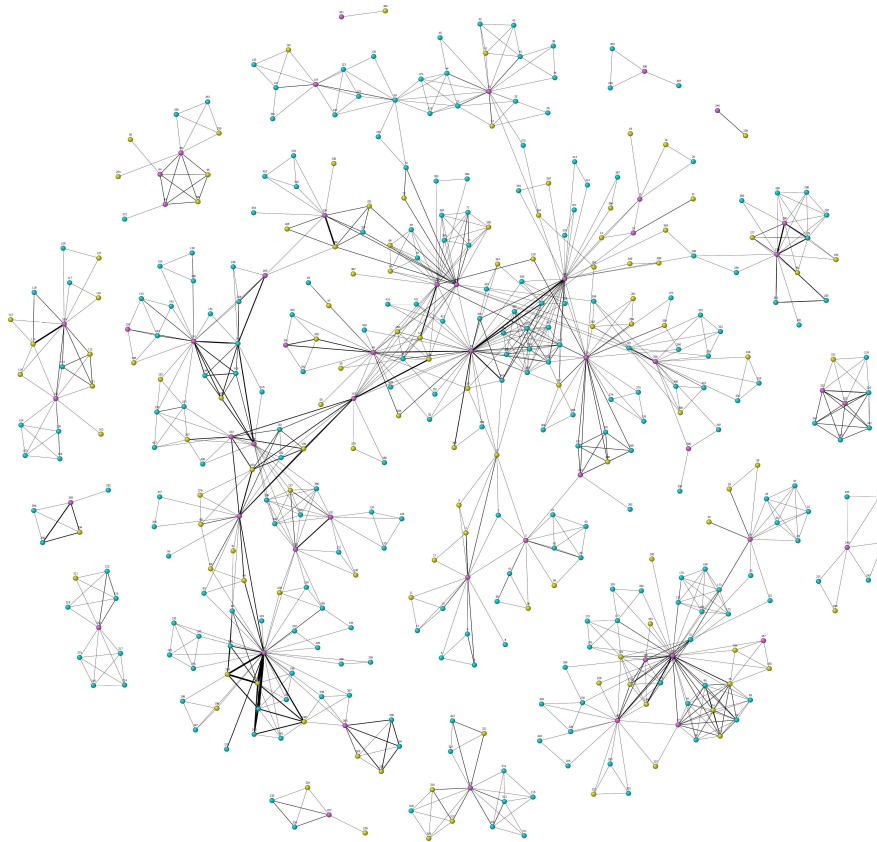


Figura 4.1: Gráfico de co-autorias da UFRGS de 2007 representado no MagnetViz

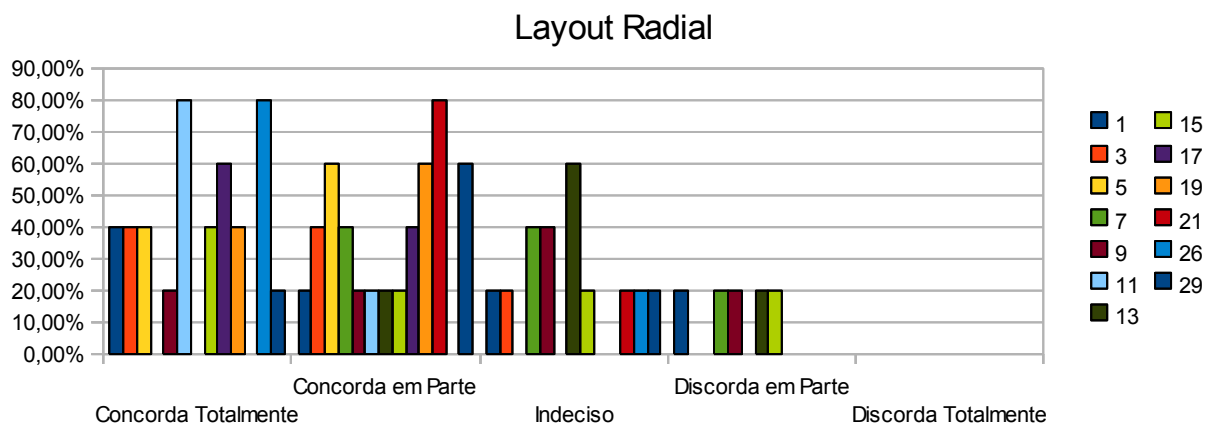


Figura 4.2: Distribuição das respostas relativas ao *layout* radial

As Figuras 4.5-4.7 contêm gráficos da distribuição das respostas dos sujeitos, moda e amplitude interquartil, respectivamente, com relação ao *layout* radial com meta-nodos.

O *layout* radial com meta-nodos também exibiu bons resultados. Em comparação com a primeira distribuição, mais sujeitos responderam “Concorda Totalmente” (50 respostas) em vez de “Concorda em Parte” (25 respostas), além de menos deles terem marcado “Indeciso” (10 respostas) ou discordado (4 “Discorda em Parte” e 1 “Discorda Totalmente”). A moda foi 5 (“Concorda

Totalmente”) em 10 afirmações, 4 (“Concorda em Parte”) em 6 afirmações e 3 (“Indeciso”) e 2 (“Discorda em Parte”) em apenas uma afirmação cada. A variabilidade foi menor, com IQR igual a 1 em onze casos e 0 nos sete restantes.

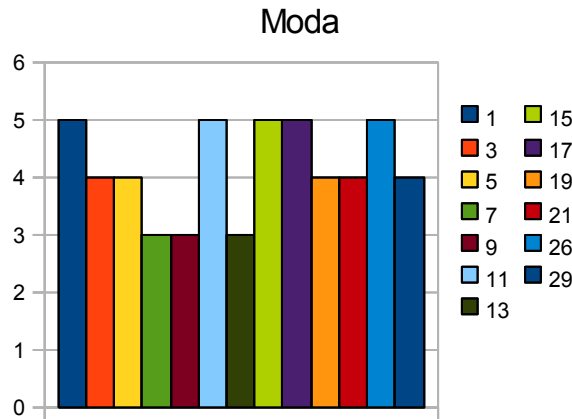


Figura 4.3: Moda das respostas relativas ao *layout* radial

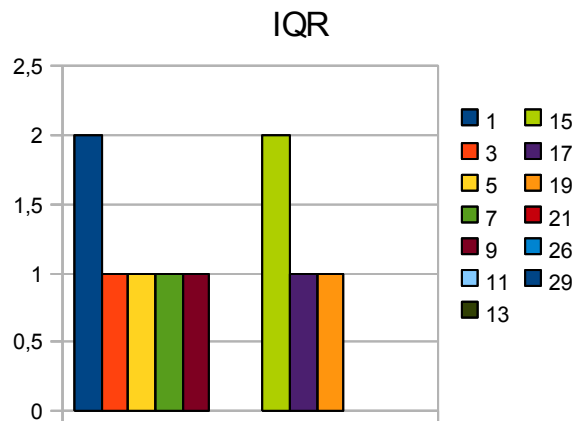


Figura 4.4: IQR das respostas relativas ao *layout* radial

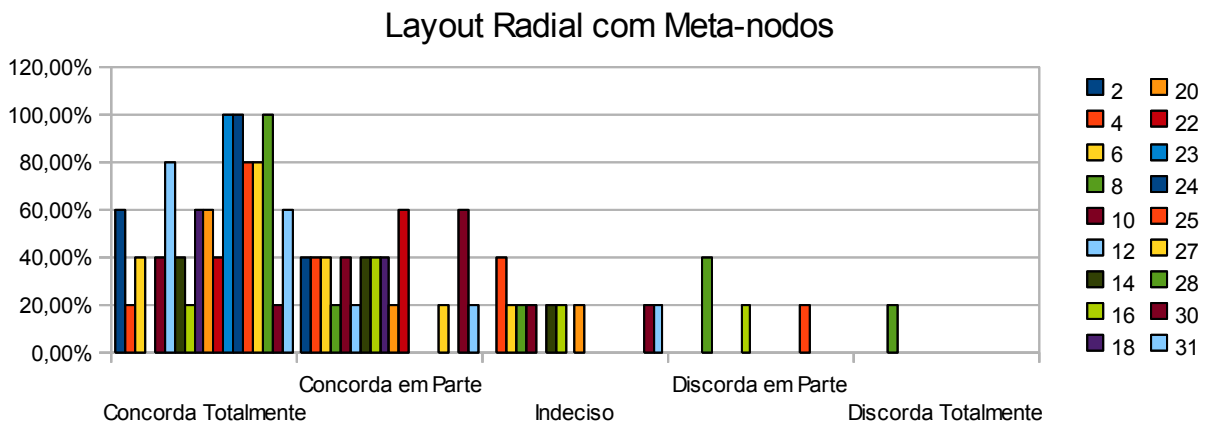


Figura 4.5: Distribuição das respostas relativas ao *layout* radial com meta-nodos

Na segunda análise dos resultados, as afirmações foram divididas de acordo com seu teor, independentemente de a qual *layout* se referiam. As afirmações 1 a 10 se referem a questões de topologia do grafo, em geral a facilidade de identificação de elementos dela; afirmações 11 a 18 se referem à clareza dos *layouts*; e as afirmações 19 a 31 se referem à interação com os mesmos.



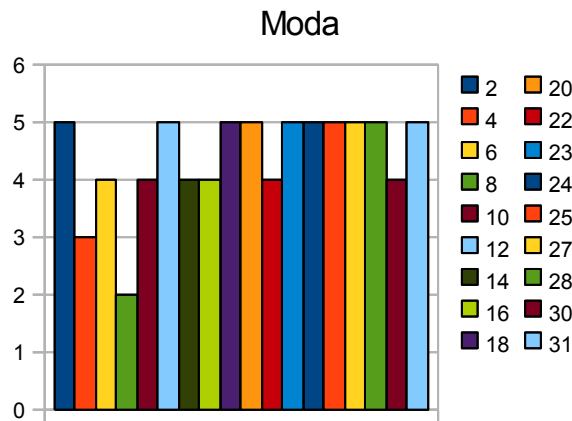


Figura 4.6: Moda das respostas relativas ao *layout* radial com meta-nodos

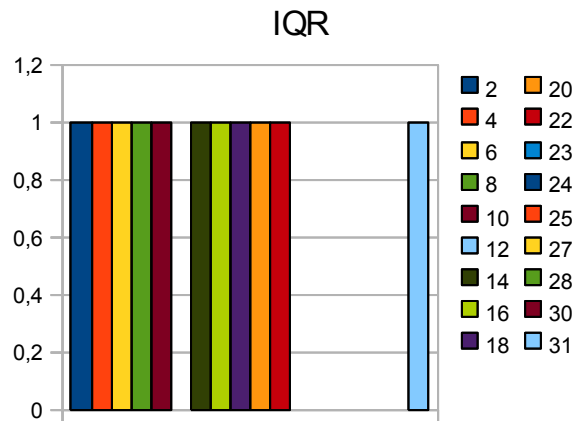


Figura 4.7: IQR das respostas relativas ao *layout* radial com meta-nodos

As figuras 4.8-4.10 contêm gráficos da distribuição das respostas, respectivamente, com relação a cada um dos blocos (Topologia, Clareza e Interação).

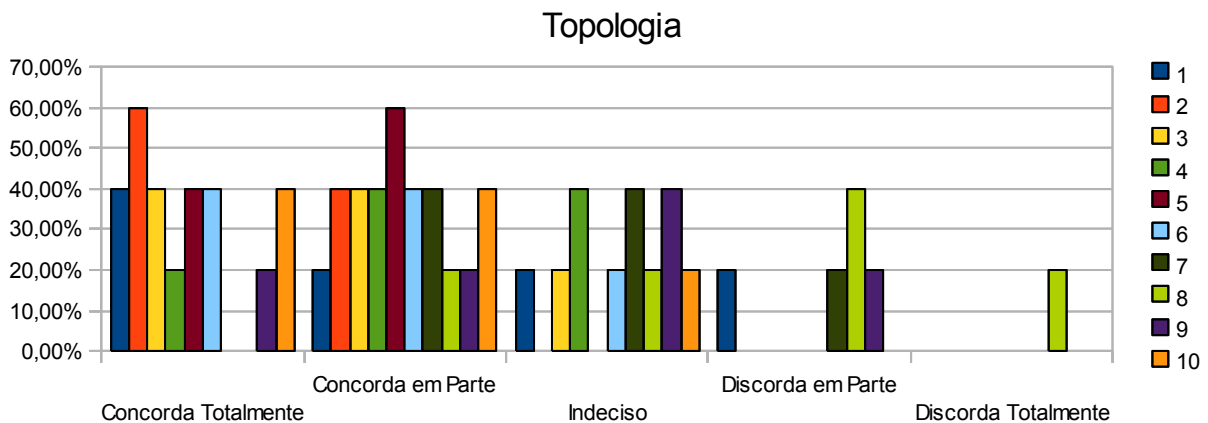


Figura 4.8: Distribuição das respostas relativas a questões de topologia do grafo

Nas questões relativas a Topologia, os sujeitos em maior parte concordaram com as afirmações (15 responderam “Concorda Totalmente” e 18 “Concorda em Parte”). Houve 11 respostas “Indeciso” e pouca discordância (5 respostas “Discorda em Parte” e apenas 1 “Discorda Totalmente”).

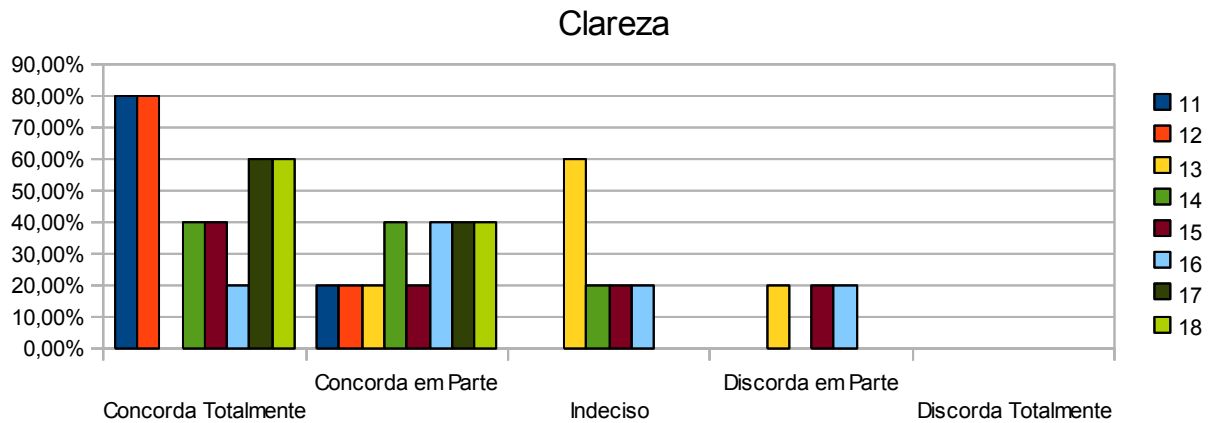


Figura 4.9: Distribuição das respostas relativas à clareza dos *layouts*

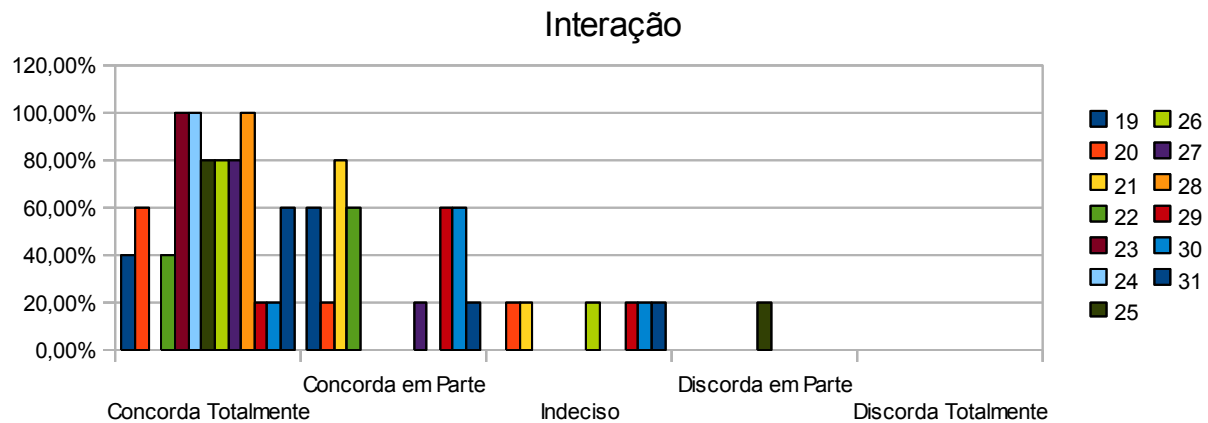


Figura 4.10: Distribuição das respostas relativas à interação com os *layouts*

Na afirmações relativas a Clareza, a concordância também foi alta (19 “Concorda Totalmente” e 12 “Concorda em Parte”), com diminuição em “Indeciso” (6 respostas) e na discordância (3 “Discorda em Parte” e nenhum “Discorda Totalmente”).

Por fim, nas afirmações relacionadas a Interação, a porcentagem de concordância foi a maior (39 respostas “Concorda Totalmente” e 19 respostas “Concorda em Parte”), com poucas respostas “Indeciso” (6) e baixa discordância (1 “Discorda em Parte” e nenhum “Discorda Totalmente”).

Analisando-se as respostas, percebe-se que os sujeitos em geral acharam que ambos os *layouts* são claros e representam adequadamente a informação, sendo fácil de perceber as relações entre os nodos, escolher um nodo foco, acompanhar o reposicionamento do grafo durante a mudança de foco e reconhecer o grafo após a mudança de foco. Houve maior indecisão sobre se o *layout* radial é mais claro do que o radial com meta-nodos, embora em linha geral o radial com meta-nodos tenha sido considerado mais claro.

Todos os sujeitos compreenderam os conceitos básicos de meta-nodos e qual a relação entre eles, e em geral acharam fácil trocar de um componente não conectado para outro e mais fácil identificar questões relativas à topologia do grafo (tais como nodos de corte). Houve alguma indecisão sobre se o uso de números para representar a quantidade de nodos em um componente é adequado.

Os resultados comprovam a hipótese de que os *layouts* e a interação com os mesmos são simples e facilmente compreensíveis, representando um incremento à ferramenta original.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma extensão de MagnetViz, uma técnica baseada em física para manipulação interativa de visualização de grafos, descrevendo os conceitos e o protótipo. Embora tenha sido constatado que a ferramenta MagnetViz provê várias facilidades de interação para a exploração de grafos, especialmente com grande potencial no contexto de redes sociais, ainda há espaço para novos desenvolvimentos.

O presente trabalho veio suprir uma lacuna no sentido de permitir uma melhor visualização de um grafo de acordo com sua topologia através da inclusão de visões alternativas. A extensão se deu através da inclusão de duas novas visões baseadas nos conceitos de *layout* radial e meta-nodos. A primeira nova visão consiste no *layout* radial propriamente dito, com um nodo no centro e os restantes dispostos em círculo ao redor dele, e a segunda adiciona a este conceito meta-nodos, que são um agrupamento de nodos do grafo, para representar os componentes não conectados.

O processo de avaliação consistiu em pedir a um grupo de usuários que utilizassem a ferramenta para inspecionar o grafo da rede de co-autorias da UFRGS de 2007 e responder a uma série de afirmações sobre os *layouts* e a interação com os mesmos.

Levando em conta a avaliação feita pelos usuários, está indicado que as visualizações acrescentadas são em geral claras e simples de interagir, representando um incremento à ferramenta original. Os conceitos básicos e a interação com os *layouts* foram amplamente compreendidos, e em linha geral o *layout* com meta-nodos foi considerado mais claro que o radial. Como maior desvantagem deve ser citada a escalabilidade da ferramenta, cujo desempenho cai rapidamente com o uso de grafos extremamente grandes.

Esta extensão não torna a ferramenta MagnetViz adequada para representar todos os domínios de visualização de grafos, mas representa um primeiro passo importante na direção de aumentar o poder da ferramenta ao iniciar a inclusão de visões alternativas que poderão ser futuramente coordenadas e fusionadas. Apesar deste trabalho estar terminado, o desenvolvimento da extensão da ferramenta MagnetViz continuará. Ainda há melhorias e novas características que podem ser acrescentadas.

### 5.1 Trabalhos futuros

Entre os itens que podem receber aprimoramentos estão o desempenho e a escalabilidade da ferramenta, as animações de transição dos *layouts* e a técnica de *zoom* para grafos muito grandes.

Entre as ideias de incrementos que foram discutidos e podem ser implementados como trabalhos futuros estão:

- sincronização completa das visualizações
- escolha de com quais visões exibir um grafo a ser aberto
- fusão das visualizações (substituindo o agrupamento em meta-nodos por outro tipo de *layout* de grafo, por exemplo)
- expansão das funcionalidades dos meta-nodos (como permitir que mais de um seja expandido ao mesmo tempo)
- acrescentar outras alternativas de visualização

## REFERÊNCIAS

- ABELLO, J.; VAN HAM, F.; KRISHNAN, N. **Ask-graphview: A large scale graph visualization system**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 12, no. 5, pp. 669-676, Sept.-Oct. 2006.
- ARCHAMBAULT, D.; MUNZNER, T.; AUBER, D. **Grouse: Feature-based, steerable graph hierarchy exploration**. Eurographics/IEEE-VGTC Symposium on Visualization, pp. 67-74, 2007. Disponível em: <http://www.labri.fr/publications/mabiovis/2007/AMA07a>. Acesso em: jun. 2011.
- BATTISTA, G. D. et. al. **Graph Drawing**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- EADES, P.; LIN, X.; TAMASSIA, R. **An algorithm for drawing a hierarchical graph**. Int. J. Comput. Geometry Appl., 1996.
- FRUCHTERMAN, T. M. J.; REINGOLD, E. M. **Graph drawing by force-directed placement**. Softw. Pract. Exper., vol. 21, no. 11, pp. 1129-1164, 1991.
- GRAPHML. *Website* oficial do formato GraphML, disponível em: [<http://graphml.graphdrawing.org/>]. Acesso em: nov. 2010.
- HERMAN, I. et. al. **Graph visualization and navigation in information visualization: A survey**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 6, pp. 24-43, 2000.
- RECUERO, R. C. **Redes sociais na Internet: Considerações iniciais**. IV Encontro dos Núcleos de Pesquisa da XXVII INTERCOM, 2004.
- RODRIGUES, J. F. et. al. **Gmine: a system for scalable, interactive graph visualization and mining**. VLDB'2006: Proceedings of the 32<sup>nd</sup> international conference on Very large data bases. VLDB Endowment, pp. 1195-1198, 2006. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1164242>. Acesso em: jun. 2011.
- SCHAFFER, D. et. al. **Navigating hierarchically clustered networks through fisheye and full-zoom methods**. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, vol. 3, pp. 162-188, 1998.
- SPRITZER, A. S.; FREITAS, C. M. D. S. **A physics-based approach for interactive manipulation of graph visualizations**. AVI '08: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces. New York, NY, USA: ACM, pp. 271-278, 2008.
- SPRITZER, A. S.; FREITAS, C. M. D. S. **Design and Evaluation of MagnetViz – a Graph Visualization Tool**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2011.
- WILLS, G. J. **NicheWorks – interactive visualization of very large graphs**. Proceedings of Graph Drawing '97, 1997.
- YEE, K.-P. et. al. **Animated exploration of dynamic graphs with radial layout**. Information Visualization, 2001. INFOVIS 2001. IEEE Symposium on, pp. 43-50, 2001.

## ANEXO – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

A lista abaixo mostra as afirmações contidas no questionário de avaliação que foi dado aos usuários após eles terem experimentado o protótipo da extensão da ferramenta MagnetViz. As afirmações são mostradas na mesma ordem em que estavam no questionário original.

1. É fácil de reconhecer *clusters* (grupos de nodos fortemente conectados) (radial).
2. É fácil de reconhecer *clusters* (grupos de nodos fortemente conectados) (meta-nodos).
3. É fácil de identificar nodos de corte (nodos que, se removidos, desconectam dois subgrafos) (radial).
4. É fácil de identificar nodos de corte (nodos que, se removidos, desconectam dois subgrafos) (meta-nodos).
5. É fácil de identificar folhas (nodos com só um nodo adjacente) (radial).
6. É fácil de identificar folhas (nodos com só um nodo adjacente) (meta-nodos).
7. É fácil de identificar pontes (arestas que, se removidas, desconectam dois subgrafos) (radial).
8. É fácil de identificar pontes (arestas que, se removidas, desconectam dois subgrafos) (meta-nodos).
9. É fácil perceber o caminho que liga dois nodos (radial).
10. É fácil perceber o caminho que liga dois nodos (meta-nodos).
11. Em geral, o *layout* radial é claro.
12. Em geral, o *layout* com meta-nodos é claro.
13. O *layout* radial é mais claro que os outros.
14. O *layout* com meta-nodos é mais claro que os outros.
15. O *layout* radial é tão claro quanto os outros.
16. O *layout* com meta-nodos é tão claro quanto os outros.
17. O *layout* representa adequadamente a informação que ele se propõe a evidenciar (ver descrição acima) (radial).
18. O *layout* representa adequadamente a informação que ele se propõe a evidenciar (ver descrição acima) (meta-nodos).
19. É fácil acompanhar o reposicionamento do grafo durante a mudança de foco (radial).
20. É fácil acompanhar o reposicionamento do grafo durante a mudança de foco (meta-nodos).
21. As relações entre os nodos são fáceis de ver (radial).
22. As relações entre os nodos são fáceis de ver (meta-nodos).
23. Eu entendo o que é um meta-nodo.
24. É fácil perceber que os meta-nodos não têm relação entre si.
25. O uso de números para representar a quantidade de nodos de um meta-nodo é adequado.
26. É fácil escolher um nodo foco (radial).
27. É fácil escolher um nodo foco (meta-nodos).
28. É fácil trocar de um meta-nodo para outro.
29. É fácil reconhecer o grafo após uma mudança de nodo foco (radial).
30. É fácil reconhecer o grafo após uma mudança de nodo foco (meta-nodos).
31. É fácil reconhecer o grafo após uma mudança de meta-nodo.