

# Relatório Técnico

## Estudo de Ferramentas de Mineração, Visualização e Análise de Redes Sociais

Andréa Magalhães Magdaleno  
([andrea@cos.ufrj.br](mailto:andrea@cos.ufrj.br))

Cláudia Maria Lima Werner  
([werner@cos.ufrj.br](mailto:werner@cos.ufrj.br))

Renata Mendes de Araujo  
([renata.araujo@uniriotec.br](mailto:renata.araujo@uniriotec.br))



Rio de Janeiro, Junho de 2010

# Estudo de Ferramentas de Mineração, Visualização e Análise de Redes Sociais

Andréa Magalhães Magdaleno<sup>1</sup>

Cláudia Maria Lima Werner<sup>1</sup>

Renata Mendes de Araujo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC) – COPPE/UFRJ  
Caixa Postal 68.511 – 21945-970 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Informática (PPGI) – Núcleo de Pesquisa e  
Prática em Tecnologia (NP2Tec) – Universidade Federal do Rio de  
Janeiro (UNIRIO) – 22290-240 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{andrea, werner}@cos.ufrj.br, renata.araujo@uniriotec.br

## RESUMO

A colaboração é um fator importante para o sucesso no desenvolvimento de software, pois ela contribui para o aumento da produtividade e o compartilhamento de conhecimento. Neste trabalho, defende-se que a colaboração, existente entre as pessoas dos projetos de desenvolvimento de software, pode ser explicitada e percebida utilizando-se como instrumento as redes sociais. Diante deste cenário, este trabalho tem por objetivo estudar as principais ferramentas existentes de visualização e análise de redes sociais. A partir deste estudo, foram identificados os principais requisitos desejáveis a este tipo de ferramenta. As ferramentas analisadas foram classificadas de acordo com os requisitos. Como nenhuma delas atende a todos os requisitos, acredita-se que ainda exista espaço para a proposição de ferramentas que tragam novas contribuições e apoiem de forma mais adequada às necessidades de explicitação e análise da colaboração.

# SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. COLABORAÇÃO</b> .....	<b>2</b>
2.1 Comunicação .....	4
2.2 Coordenação.....	4
2.3 Memória de grupo .....	5
2.4 Percepção.....	5
<b>3. REDES SOCIAIS</b> .....	<b>6</b>
<b>4. PROPRIEDADES TOPOLÓGICAS</b> .....	<b>8</b>
<b>5. MODELOS DE EVOLUÇÃO DE REDES</b> .....	<b>10</b>
5.1 Redes randômicas .....	10
5.2 Redes livres de escala .....	11
5.3 Redes de mundo pequeno.....	13
<b>6. METODOLOGIA PARA ESTUDO DE REDES SOCIAIS</b> .....	<b>14</b>
<b>7. VISUALIZAÇÃO DE REDES SOCIAIS</b> .....	<b>15</b>
<b>8. ANÁLISE DE REDES SOCIAIS</b> .....	<b>19</b>
8.1 Propriedades de análise de redes sociais .....	19
8.2 Características de colaboração.....	22
8.3 Análises de redes sociais no desenvolvimento de software.....	24
<b>9. FERRAMENTAS DE REDES SOCIAIS</b> .....	<b>28</b>
9.1 Ferramentas de mineração de redes sociais.....	29
9.2 Ferramentas de visualização de redes sociais.....	31
9.3 Ferramentas de análise de redes sociais.....	33
<b>10. REQUISITOS PARA FERRAMENTAS DE REDES SOCIAIS</b> .....	<b>36</b>
<b>11. CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2.1 – Esquema geral dos aspectos de apoio à colaboração (ARAUJO, 2000) .....	4
Figura 3.1 – Exemplos de redes (BARABASI E BONABEAU, 2003, WWF, 2003).....	7
Figura 3.2 – Exemplo de rede de colaboração científica (NEWMAN, 2003) –.....	8
Figura 4.1 – Exemplo de rede para estudo das propriedades topológicas .....	9
Figura 5.1 – Processo de nascimento de uma rede livre de escala (BARABASI E BONABEAU, 2003).....	12
Figura 7.1 – Uso de rótulos temporais (SANTOS E SOUZA, 2008).....	15
Figura 7.2 – Visualização temporal com ou sem histórico (SANTOS E SOUZA, 2008).....	16
Figura 7.3 – Visualização <i>flip books</i> (SANTOS E SOUZA, 2008) .....	16
Figura 7.4 – Visualização <i>movies</i> na ferramenta Ariadne (SOUZA ET AL., 2007) .....	17
Figura 7.5 – Visualização integrada de desenvolvedores e repositório de software (OGAWA E MA, 2008) .....	17
Figura 7.6 – Visualização de múltiplas redes sociais na ferramenta Sargas (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008).....	19
Figura 8.1 – Centralidade de grau .....	20
Figura 8.2 – Centralidade de proximidade.....	21
Figura 8.3 – Centralidade de intermediação .....	21
Figura 8.4 – Exemplo de densidade da rede (WWF, 2003).....	22
Figura 8.5 – Rede de dependências técnicas no código (TRAINER ET AL., 2005).....	25
Figura 8.6 – Rede de dependências sócio-técnicas (TRAINER ET AL., 2005) .....	25
Figura 8.7 – Rede de dependências sociais (TRAINER ET AL., 2005) .....	26
Figura 8.8 – Estrutura da Comunidade de Desenvolvedores (SOUZA ET AL., 2005).....	26
Figura 8.9 – Mudança da periferia para o núcleo (SOUZA ET AL., 2005) .....	27
Figura 9.1 – Visualização de redes sociais na ferramenta OSSNetwork (BALIEIRO ET AL., 2007).....	30
Figura 9.2 – Tela do MiSoN (AALST ET AL., 2005).....	31
Figura 9.3 – Interface do Ariadne (SOUZA ET AL., 2007) .....	32
Figura 9.4 – Ferramenta Augur (SOUZA ET AL., 2005) .....	33
Figura 9.5 – Interface do SVNNAT (SCHWIND E WEGMANN, 2008).....	34
Figura 9.6 – Interface do UCINET e os logs de análise .....	35
Figura 9.7 – Visualização de rede social no Pajek.....	35
Figura 10.1 – Meta-modelo de redes sociais (BALIEIRO ET AL., 2007) .....	36

## 1. Introdução

Nas últimas décadas assistimos à globalização dos mercados. O atual cenário mundial oferece novas oportunidades de negócios às empresas, mas também apresenta grandes desafios. Neste ambiente competitivo, as organizações precisam de flexibilidade e agilidade para responder às demandas dos clientes, oferecendo rapidamente produtos e serviços de qualidade e personalizados.

Neste contexto, o trabalho em grupo se tornou uma importante estratégia de negócios e vem sendo demandado como instrumento para vencer os desafios do novo mundo globalizado (SARMENTO, 2002, SCHOLTES ET AL., 2003, TELLERIA ET AL., 2002). A complexidade crescente destes desafios passa a requerer habilidades multidisciplinares. Assim, as organizações vêm recorrendo à colaboração para fins de produtividade e compartilhamento de conhecimento (MAGDALENO, 2006).

Durante o tempo no qual as pessoas estão trabalhando em conjunto, elas estão organizadas em grupos. Os grupos tendem a superar o desempenho quantitativo e qualitativo de indivíduos agindo sozinhos. Os grupos podem alcançar uma compreensão que nenhum dos seus membros possuía previamente e que não poderia ter sido obtida caso seus membros tivessem trabalhado de forma isolada, pois representa mais do que a soma individual das partes (ALEIXO, 2003, DEMARCO E LISTER, 1999, FUKS ET AL., 2003b, MINICUCCI, 2001, NUNAMAKER ET AL., 2001, SARMENTO, 2002). Assim, a colaboração pode ser definida como o *trabalho em conjunto com uma ou mais pessoas para a realização de objetivos comuns* (Adaptado de FERREIRA, 2009, MINICUCCI, 2001).

Em particular, o desenvolvimento de software é um processo complexo que envolve a colaboração de diversas pessoas durante um período de tempo para atingir um objetivo comum (CUGOLA E GHEZZI, 1998). Portanto, o desenvolvimento de software é um típico exemplo de trabalho colaborativo (DEMARCO E LISTER, 1999). Tal fato é reforçado pelas atuais pesquisas sobre desenvolvimento distribuído de software (CATALDO E HERBSLEB, 2008, HERBSLEB ET AL., 2005), onde a preocupação com a colaboração, em particular a coordenação e a comunicação, aparece como um fator recorrente.

Para compreender a **colaboração** existente entre as **pessoas** dos projetos de desenvolvimento de software, a análise de **redes sociais** se apresenta como um caminho promissor. Uma rede social consiste em um conjunto finito de atores e as relações definidas entre eles (WASSERMAN E FAUST, 1994). Existem diversos trabalhos (GAO ET AL., 2003, GOTO ET AL., 2008, JIN XU ET AL., 2005, LOPEZ-FERNANDEZ ET AL., 2004, MADEY ET AL., 2002) que apontam para o potencial das redes sociais em explicitar como a colaboração acontece dentro de um grupo.

Araujo e Borges (2007) defendem que ao explicitar a colaboração, aumenta-se a sua visibilidade, de forma que os membros da organização atinjam maior compreensão e se motivem. Desta forma, o entendimento das redes sociais envolvidas nos projetos de desenvolvimento pode ajudar a perceber o nível de colaboração do projeto.

Para apoiar esta tarefa, existem diversas ferramentas de mineração, visualização e análise de redes sociais. Algumas delas foram estudadas neste trabalho. A partir deste estudo, foram identificados os principais requisitos desejáveis a este tipo de ferramenta. Como nenhuma das ferramentas analisadas atende a todos os requisitos, acredita-se que ainda exista espaço para a proposição de ferramentas que tragam novas contribuições e apoiem de forma mais adequada às necessidades de explicitação e análise da colaboração.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os aspectos de apoio à colaboração. A Seção 3 define o conceito de redes sociais. Em seguida, a Seção 4 resume algumas propriedades topológicas importantes para o entendimento da estrutura da rede. Para complementar este entendimento, é necessário também conhecer os modelos de formação das redes e, portanto, este é o tema da Seção 5. A Seção 6 resume os passos de uma metodologia para trabalhar com redes sociais. Por sua vez, as Seções 7 e 8 se dedicam, respectivamente, as fases de visualização e análise da metodologia de redes sociais. Na Seção 9 são categorizadas e analisadas as ferramentas de mineração, visualização e análise de redes sociais estudadas. A partir daí, na Seção 10, são levantados os requisitos para estas ferramentas de visualização. Por fim, na Seção 11, são apresentadas as conclusões deste trabalho e as oportunidades de trabalhos futuros.

## **2. Colaboração**

As razões pelas quais um determinado grupo de pessoas se reúne para realizar uma

determinada tarefa podem ser as mais variadas possíveis. Mas, a grosso modo, grupos se formam para a construção de um produto que pode ser tão concreto como um texto, um software ou o projeto de um artefato; quão abstrato como uma decisão ou a formação de um conhecimento comum – um aprendizado – sobre um determinado assunto (ARAUJO, 2000).

Durante o tempo no qual as pessoas estão trabalhando em conjunto, elas estão organizadas em grupos. Os grupos tendem a superar o desempenho quantitativo e qualitativo de indivíduos agindo sozinhos. Os grupos podem alcançar uma compreensão que nenhum dos seus membros possuía previamente e que não poderia ter sido obtida caso seus membros tivessem trabalhado de forma isolada,

pois representa mais do que a soma individual das partes (ALEIXO, 2003, DEMARCO E LISTER, 1999, FUKS ET AL., 2003b, MINICUCCI, 2001, NUNAMAKER ET AL., 2001, SARMENTO, 2002). Assim, a colaboração pode ser definida como o *trabalho em conjunto com uma ou mais pessoas para a realização de objetivos comuns* (Adaptado de FERREIRA, 2009, MINICUCCI, 2001).

As principais vantagens da colaboração podem ser resumidas da seguinte forma (ALEIXO, 2003, DEMARCO E LISTER, 1999, HARDINGHAM, 2000): redução no tempo necessário para a execução de tarefas; melhoria da capacidade de resolver problemas complexos; aumento da capacidade criativa para gerar alternativas; discussão das vantagens e desvantagens de cada alternativa para selecionar as viáveis e tomar decisões; melhoria na comunicação; aprendizagem; e satisfação pessoal.

Apesar dos seus potenciais benefícios, é importante determinar quando a colaboração é realmente necessária em um projeto e com que intensidade. A colaboração só deve ser adotada quando tem potencial para produzir melhores resultados do que os indivíduos trabalhando isoladamente (HANSEN, 2009). Caso contrário, a colaboração também poderá enfrentar alguns desafios (SARMENTO, 2002): lentidão na execução das tarefas de forma colaborativa; falta de coordenação do trabalho; custo elevado da tomada de decisão; e resistência no compartilhamento de conhecimento.

A colaboração pode ser entendida sob quatro aspectos de apoio (comunicação, coordenação, memória e percepção) (MAGDALENO, 2006) que são resumidos pelo esquema apresentado na Figura 2.1. Estes aspectos não podem ser considerados isoladamente, pois se encontram intimamente dependentes e relacionados entre si. Para colaborar, os indivíduos têm que trocar informações (*comunicação*), organizar-se (*coordenação*) e operar em conjunto em um espaço de trabalho coletivo (*memória*). Através da *percepção*, o indivíduo se informa sobre o que está acontecendo e adquire as informações necessárias (ARAUJO, 2000, DIAS, 1998, FUKS ET AL., 2003b). Os aspectos de apoio à colaboração são detalhados nas próximas seções.

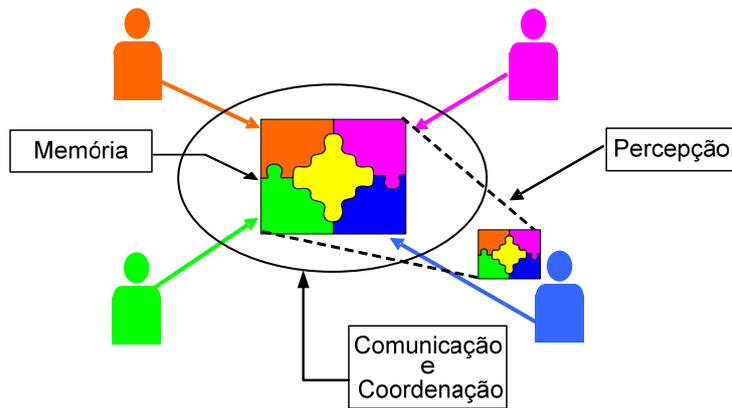


Figura 2.1 – Esquema geral dos aspectos de apoio à colaboração (ARAUJO, 2000)

## 2.1 Comunicação

O primeiro obstáculo à colaboração é vencer a distância entre os membros do grupo, ou seja, estabelecer a comunicação entre as partes envolvidas para que elas possam trabalhar em grupo (ARAUJO, 2000). A comunicação é um fator essencial para o bom desempenho dos grupos e para a satisfação dos membros que os integram. As pessoas precisam se comunicar para organizar o trabalho, designar tarefas, tomar decisões e resolver problemas. Por isso, os membros de um grupo precisam interagir regularmente.

Dentro de um grupo, a comunicação pode ser realizada em tempo real (síncrona) ou pode ser realizada em momentos diferentes (assíncrona). Na forma síncrona, os interlocutores estão presentes simultaneamente e disponíveis e a mensagem enviada é recebida imediatamente. Na comunicação assíncrona, o tempo é mais flexível: a mensagem enviada pode ser recebida em um momento posterior indeterminado (ELLIS ET AL., 1991, FUKS ET AL., 2003a).

A comunicação assíncrona normalmente é utilizada quando se deseja valorizar a reflexão dos participantes, pois estes terão mais tempo antes de agir. Já na comunicação síncrona, valoriza-se a velocidade da interação, visto que o tempo de resposta entre a ação de um participante e a reação de seus companheiros é curto (FUKS ET AL., 2003a).

## 2.2 Coordenação

O trabalho em grupo demanda um esforço adicional para a coordenação de seus membros, ou seja, é necessário um trabalho de articulação para que colaboração possa ser obtida a partir da soma dos trabalhos individuais. A coordenação organiza o grupo para evitar que esforços de comunicação sejam perdidos e para que as tarefas sejam realizadas na ordem correta, no tempo exato e cumprindo as restrições e objetivos, a fim de evitar que os participantes se envolvam em tarefas conflitantes ou repetitivas (FUKS ET AL., 2003b, GEROSA ET AL., 2003).

A coordenação envolve a pré-articulação das tarefas, o acompanhamento e a pós-articulação. A pré-articulação são as ações necessárias para preparar a colaboração: identificação dos objetivos, mapeamento destes objetivos em tarefas, seleção dos participantes e a distribuição das tarefas entre eles. O acompanhamento significa controlar a execução das atividades durante o processo, para garantir a produtividade e o sucesso dos objetivos do grupo. A pós-articulação envolve a avaliação das tarefas realizadas e a documentação da colaboração realizada (ARAUJO, 2000, DIAS, 1998, FUKS ET AL., 2003b).

Por último, a coordenação visa manter a "vida do grupo", através de estímulos às contribuições de cada participante, agendamento de eventos e estabelecimento de um ritmo aos trabalhos e aos encontros. Para isso, deve-se estar atento à interrupção brusca da participação de um determinado membro, à falta de referências ou contribuições ao trabalho de um membro do grupo e à argumentação muito longa entre dois ou mais participantes sobre um mesmo tópico (SANTORO, 2001).

### **2.3 Memória de grupo**

Comunicação e coordenação, apesar de vitais, não são suficientes para a colaboração. Os grupos de trabalho também precisam organizar e compartilhar diferentes tipos de informações relacionadas às atividades sendo realizadas (ELLIS et al, 1991). A memória de grupo é o armazenamento dos dados relativos ao desenvolvimento da atividade colaborativa.

Em geral, a gestão de conhecimento nas organizações se concentra na preservação do histórico e organização dos artefatos (conhecimento formal). Entretanto, os participantes compartilham não só artefatos durante as interações, como também ideias e pensamentos sobre o trabalho sendo produzido, mas este conhecimento informal é difícil de ser capturado (NONAKA E TAKEUCHI, 1995).

O conhecimento informal sobre o processo de criação dos produtos, compreendendo o registro das ideias, fatos, questões, pontos de vista, conversas, discussões e decisões que aconteceram no decorrer do trabalho - deve estar intimamente relacionado aos artefatos produzidos. Ele permite recuperar o histórico da discussão e o contexto em que as decisões foram tomadas (ARAUJO, 2000, DIAS, 1998, FUKS ET AL., 2003b).

### **2.4 Percepção**

Um último recurso necessário para o trabalho em grupo é a percepção. A percepção é o entendimento das atividades dos outros para fornecer contexto a sua própria atividade (DOURISH E BELLOTTI, 1992). Através da percepção, os indivíduos podem tomar ciência do objetivo comum, do papel de cada um dentro do grupo, do que fazer, como proceder, qual o resultado das suas ações, até onde atuar, quem

está por perto, ou seja, podem adquirir as informações necessárias para o seu trabalho (GUTWIN E GREENBERG, 1999).

O fenômeno de criação em grupo se dá progressivamente através da geração de novas ideias baseadas nas contribuições já elaboradas pelo grupo. A percepção das contribuições já trazidas ao grupo ajuda a compreender como os resultados gerados pelas atividades alheias podem ser conjugados aos seus, para que os objetivos esperados sejam alcançados mais rapidamente. Desta forma, cada membro do grupo pode oferecer suas contribuições com maior segurança quanto à necessidade e relevância para o produto comum (ARAUJO, 2000, DOURISH E BELLOTTI, 1992).

A percepção também é essencial para a coordenação do grupo (DOURISH E BELLOTTI, 1992). Cada membro deve conhecer o progresso do trabalho dos companheiros: o que foi feito, como foi feito, o que falta para o término, quais são os resultados preliminares, etc. Tendo percepção das atividades dos companheiros, as pessoas terão informações para auxiliar na sincronização do trabalho, de forma que seus esforços individuais agreguem valor ao trabalho do grupo (GEROSA ET AL., 2003). Quando os membros não têm conhecimento sobre o que está sendo desenvolvido pelos outros, o trabalho resultante pode não apresentar coesão e não representar as ideias do grupo como um todo (SANTORO, 2001).

### **3.Redes Sociais**

O reducionismo, conhecido pelo seu famoso lema "dividir para conquistar", guiou a pesquisa científica durante séculos. Esta estratégia é comumente utilizada para resolver um problema grande e complexo, dividindo-o em problemas menores, de maior facilidade de resolução. A premissa adotada é que é mais fácil compreender o todo depois que se entender cada uma das partes. Assim, cada solução parcial encontrada é combinada, formando a solução integral para o problema original.

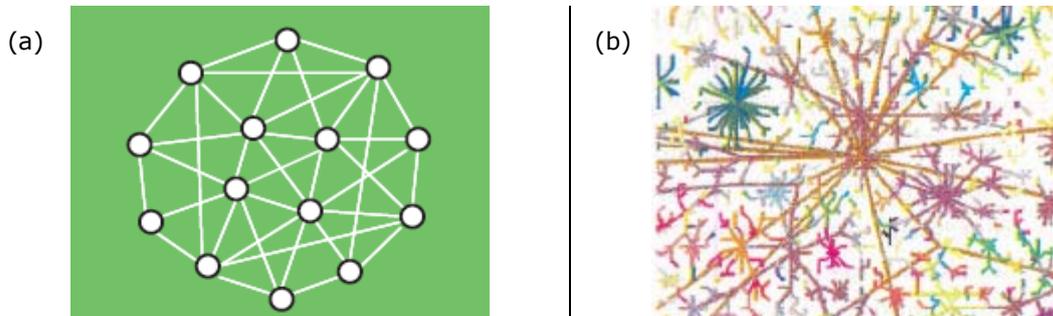
Porém, depois de décadas de pesquisas fragmentadas, os cientistas começaram a perceber que a integração das partes não é tão trivial quanto se imaginava e que o reducionismo mascarava a complexidade real do problema (BARABASI, 2003). Atualmente, a comunidade científica está mais próxima do reconhecimento de que nada acontece de forma isolada.

Assim, os cientistas se interessaram em mapear a interconectividade. Por exemplo, mapas detalhados da Internet ajudaram a perceber a vulnerabilidade da rede aos ataques dos *hackers*. Os mapas das empresas conectadas por relações comerciais traçaram o caminho do poder e do dinheiro em Silicon Valley. Os mapas de interações entre as espécies do ecossistema mostraram o impacto destrutivo do ser humano no meio ambiente. Até mesmo os mapas dos genes trabalhando em conjunto dentro de uma célula serviram para ajudar no entendimento sobre o

funcionamento do câncer. Então, finalmente, podemos compreender a importância das redes, que mostram como os fenômenos e eventos estão conectados.

De forma simplificada, uma **rede** é “um conjunto de pontos interligados” (WWF, 2003). Formalizando esta definição, pode-se dizer que uma rede é um “conjunto de vértices ou nós com conexões entre eles, denominadas arestas” (NEWMAN, 2003). Para ilustrar estas definições, dois exemplos de redes, com representações distintas, são apresentados na Figura 3.1.

Em um diagrama de rede, como os exemplos apresentados na Figura 3.1, há necessariamente pontos e linhas. Os pontos representam as unidades que compõem a rede: pessoas, organizações, equipamentos, locais e etc. e também são denominados de nós ou vértices. As linhas representam as relações entre esses elementos e podem ser canais de comunicação, estradas, dutos, fios e etc. Estas linhas recebem o nome de relacionamentos, arestas, ligações ou conexões (WWF, 2003).



**Figura 3.1** – Exemplos de redes (BARABASI E BONABEAU, 2003, WWF, 2003)

No dia-a-dia, as redes estão em todo lugar (WWF, 2003): cadeias de lojas, bancos, lanchonetes e supermercados; malha ferroviária e rodoviária; sistema de distribuição de energia elétrica; sistema de fornecimento de água; serviços de telecomunicações; sistema de segurança pública; serviços de saúde; e redes de computadores como a *World Wide Web* e a Internet.

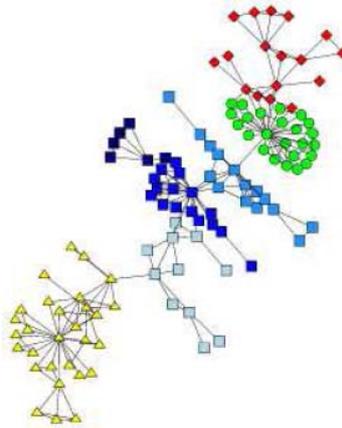
Em particular, as **redes complexas** descrevem uma grande variedade de sistemas na natureza e na sociedade (ALBERT E BARABASI, 2002). Como esta área de pesquisa é recente, ainda não existe uma definição precisa para o conceito de redes complexas, mas, de forma geral, pode-se dizer que as redes complexas têm propriedades topológicas não triviais ou diferentes do que seria esperado. As redes sociais são um tipo de rede complexa.

Uma **rede social** consiste de um “conjunto finito de atores e as relações definidas entre eles” (WASSERMAN E FAUST, 1994). Em uma rede social, os nós representam os atores e as arestas correspondem aos possíveis relacionamentos entre eles. A semântica do relacionamento depende da análise que se deseja conduzir nesta rede.

Alguns exemplos de redes sociais, com semânticas distintas, são (ALBERT E

BARABASI, 2002, BARABASI E BONABEAU, 2003): rede de relações de amizade; casamentos entre famílias; comunidades de negócio; rede de contatos sexuais, usada para estudar a propagação de doenças sexualmente transmissíveis entre indivíduos; rede de colaboração entre atores que contracenaram juntos em filmes; rede de colaboração científica representada através da co-autoria em artigos acadêmicos (Figura 3.2); e a rede de comunicação (ligações telefônicas, e-mail ou *instant messaging*), com arestas direcionadas indicando o autor e o receptor da mensagem.

Analisando todos estes exemplos apresentados, é possível perceber que, embora a forma seja um fator decisivo, o desenho da rede não é suficiente para explicá-la ou caracterizá-la em relação as suas propriedades e dinâmicas (WWF, 2003). Assim, é necessário entender também as propriedades topológicas, originadas da teoria dos grafos, que governam estas redes.



**Figura 3.2** – Exemplo de rede de colaboração científica (NEWMAN, 2003) –  
Nesta rede, os cientistas são os nós e dois nós estão conectados se estes cientistas escreveram um artigo em conjunto

#### 4. Propriedades Topológicas

As redes sociais são baseadas na construção teórica da sociologia (DEGENNE E FORSE, 1999) e na fundamentação matemática da teoria de grafos (SZWARCFITER, 1986). Grafos ou redes têm propriedades topológicas que explicam a sua estrutura. Nesta seção serão apresentadas algumas propriedades topológicas que foram selecionadas devido a sua relevância para este trabalho. O entendimento destas propriedades topológicas, e das leis e fenômenos que as caracterizam, é fundamental para a tarefa de análise das redes sociais.

Formalmente, uma rede é representada através de um grafo  $G$  composto por dois conjuntos: um conjunto ( $V$ ) de objetos (vértices) e um conjunto ( $E$ ) de pares relacionados (arestas). Assim, dado o grafo  $G$  apresentado na Figura 4.1, temos que  $V = \{a, b, c, d, e, f\}$ ; e  $E = \{(a,c), (b,c), (b,d), (b,f), (c,d), (d,e), (e,f)\}$ . A partir daí, podem ser observadas as seguintes propriedades:

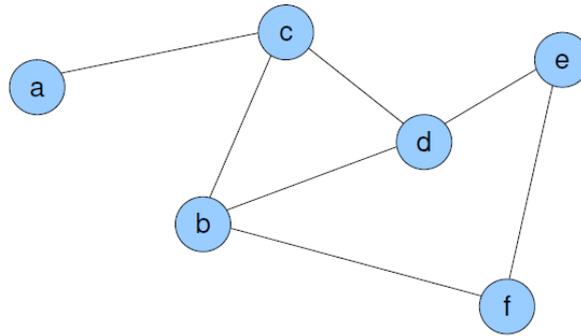


Figura 4.1 – Exemplo de rede para estudo das propriedades topológicas

- **Vértices adjacentes ou vizinhos:** dois vértices são adjacentes ou vizinhos se existe uma aresta entre eles. Assim, considerando o exemplo da Figura 4.1, é possível afirmar que o vértice *a* é vizinho de *c*, pois existe uma aresta ligando-os. Porém, o vértice *d* não é vizinho do vértice *f*, pois eles não estão diretamente relacionados.
- **Grau:** o grau de um vértice ( $g(v)$ ) corresponde ao número total de arestas que este vértice possui. Nem todos os vértices de uma rede têm o mesmo número de arestas. Por exemplo, na Figura 4.1, alguns vértices têm um grau pequeno, enquanto outros têm um grau mais alto. Assim,  $g(a) = 1$ , pois o vértice *a* tem apenas 1 aresta com *c* e  $g(b) = 3$ , pois o vértice *b* tem arestas com outros três vértices (*c*, *d*, *f*).
- **Caminho:** um caminho é uma sequência de vértices de um ponto ao outro do grafo. Pode existir mais de um caminho ligando dois vértices. Então, para percorrer o grafo da Figura 4.1 de *a* até *f* é possível escolher um caminho passando por *a-c-d-e-f* ou passando por *a-c-b-f*.
- **Comprimento de caminho:** o comprimento de um caminho é calculado pelo número de arestas percorridas ao longo do caminho. Assim, no exemplo citado acima, vale ressaltar que os dois caminhos indicados têm comprimentos distintos. No primeiro caminho são percorridas 4 arestas e no segundo caminho são percorridas apenas 3 arestas para se chegar ao vértice destino. Logo, o comprimento do segundo caminho é menor.
- **Distância:** a distância corresponde ao comprimento do *menor caminho* entre dois vértices. Logo, o cálculo da distância deve levar em consideração todos os caminhos existentes para que possa ser verificado qual deles é o menor. Ainda usando o mesmo exemplo anterior, a distância entre *a* e *f* é igual a 3.
- **Subgrafo:** um subgrafo é parte de outro grafo maior. Então, na Figura 4.1, pode-se considerar que os vértices {*b*, *c*, *d*} formam um subgrafo.
- **Grafo conexo:** um grafo é dito conexo quando existe um caminho entre qualquer par de vértices, ou seja, quando não existe nenhum vértice isolado na

rede. Neste caso, o exemplo da Figura 4.1 pode ser considerado um grafo conexo, pois é possível alcançar qualquer um dos seus vértices.

- **Grafo completo:** um grafo é completo quando existem arestas entre todos os seus vértices, atingindo assim o número máximo de arestas possíveis. Desta forma, o grafo utilizado como exemplo na Figura 4.1 não é completo, pois faltam arestas entre alguns vértices, tais como (a, b) e (d, f).
- **Dígrafo:** um dígrafo é um grafo direcionado, ou seja, um grafo onde as arestas possuem uma direção de um vértice para o outro. Assim, o grafo apresentado na Figura 4.1 não é um dígrafo.
- **Clique:** uma clique é um subgrafo completo maximal, ou seja, deve ser parte de um grafo maior, ter o maior número de arestas possíveis entre os seus vértices e não pode estar contido dentro de nenhuma outra clique. Assim, na Figura 4.1 existe uma única clique composta por (b, c, d).

Apesar da importância do entendimento destas propriedades topológicas, elas sozinhas não ajudam a responder a seguinte questão: como as redes são formadas? A resposta a esta indagação vem através da compreensão dos modelos de redes, apresentados na próxima seção.

## 5. Modelos de Evolução de Redes

Esta seção apresenta os três principais modelos que podem ajudar a compreender a formação das redes.

### 5.1 Redes randômicas

Por mais de 40 anos, a ciência tratou todas as redes como sendo completamente randômicas, seguindo o trabalho revolucionário, de 1959, de dois matemáticos húngaros: Paul Erdős e Alfréd Rényi (ERDOS E RENYI, 1959). Segundo eles, em uma rede randômica, cada par de vértices tem a mesma probabilidade de conexão e essa conexão ocorre de forma independente das demais. Como as arestas são colocadas randomicamente, então todos os nós têm a mesma chance de receber uma aresta.

De acordo com este modelo, os nós seguem uma distribuição de Poisson. Logo, é muito raro encontrar um nó que tenha uma diferença significativa no número de relacionamentos em relação à média. Assim, uma das premissas da teoria das redes randômicas, é a de que a maioria dos nós possui aproximadamente o mesmo número de arestas.

Entretanto, Erdős e Rényi ignoraram a diversidade das redes e criaram o modelo de redes randômicas focando exclusivamente os grafos regulares, que não contêm ambiguidade na sua estrutura, ou seja, não consideram as redes

complexas. Porém, quando se leva em consideração as redes complexas, os grafos regulares são uma exceção e não a regra (BARABASI, 2003).

Além disso, os dois matemáticos húngaros também assumiram que a rede tinha um número fixo de nós, ou seja, que a rede era estática e que o número de nós permanecia inalterado ao longo do tempo. Porém, esta hipótese não é verdadeira, pois as redes são dinâmicas e sofrem constantes mudanças.

## 5.2 Redes livres de escala

Então, em 1998, quando se inicia um projeto, nos Estados Unidos, coordenado pelo físico Albert-László Barabási, para mapear a rede web, esperava-se encontrar uma rede randômica, visto que as pessoas fazem as conexões entre as suas páginas seguindo apenas o seu interesse pessoal e dada a diversidade de páginas disponíveis (ALBERT ET AL., 1999).

No entanto, o mapeamento da web, por um programa robô, revelou um padrão de conexões diferente de uma rede randômica. O mapa a que os pesquisadores chegaram indicou a existência de muita variabilidade nas distâncias entre os documentos. De fato, existiam poucas páginas altamente conectadas que mantinham a web interligada: mais de 80% das páginas tinham menos de 4 relacionamentos, enquanto uma minoria, menos de 0,01% dos nós, tinha mais de 1.000 relacionamentos (ALBERT ET AL., 1999). A análise dos resultados mostrou que a distribuição seguia uma lei de potência e não uma distribuição de Poisson. Assim, observou-se que a web não é uma rede randômica e que os seus relacionamentos não seguiam o padrão randômico e democrático esperado (BARABASI, 2003).

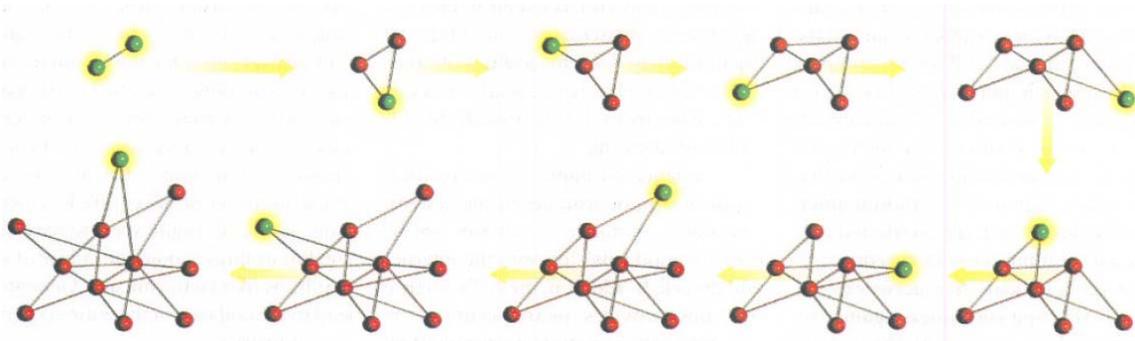
Nos anos subsequentes, descobriu-se que uma variedade de redes complexas, como a web e a Internet, compartilham uma importante propriedade: a maioria dos nós tem poucos relacionamentos, enquanto alguns nós têm uma grande quantidade de conexões. Assim, concluiu-se que, diversas redes complexas não se encaixavam no modelo de redes randômicas.

A partir daí, surgiu o modelo de **redes livres de escala** (BARABASI, 2003, BARABASI E BONABEAU, 2003), onde a distribuição dos graus dos nós segue uma lei de potência, visto que a maioria dos nós tem poucas conexões e alguns poucos nós, denominados de *hubs*, possuem uma anômala grande quantidade de relacionamentos. Estas redes também se comportam segundo alguns padrões. Por exemplo, as redes livres de escala são muito resistentes a falhas acidentais no sistema, mas extremamente vulneráveis a ataques direcionados aos seus *hubs* (BARABASI, 2003).

Um *hub* (BARABASI, 2003) é um nó com uma grande quantidade de relacionamentos. Os nós de uma rede variam em termos de sua visibilidade e poder

de atração. Aos nós mais visíveis e capazes de atrair conexões de outros nós, dá-se o nome de *hubs*. A visibilidade de um nó se dá pelo número de ligações que possui. A identificação de *hubs* é um dos motivadores para a atividade de análise de redes sociais, pois os *hubs* são capazes de proliferar mais rapidamente idéias, conceitos, informações, tendências, doenças e etc. Os *hubs* são especiais. Eles dominam a estrutura das redes nas quais estão presentes, criando caminhos mais curtos entre dois nós, e estão presentes em uma diversidade de redes complexas.

Dando um passo adiante e incorporando o crescimento no modelo das redes, observou-se que a evolução das redes livres de escala é governada pelas leis de **conexão preferencial** (BARABASI E BONABEAU, 2003). Para modelar o crescimento da rede, cada rede inicia com um determinado conjunto de nós. A partir daí, os outros nós vão sendo adicionados, um por um, progressivamente e a rede vai se expandindo (Figura 5.1). Então, quando estes novos nós aparecem eles decidem com quem se conectar e preferem os nós que já têm mais conexões, ou seja, a probabilidade de escolha de um determinado nó é proporcional ao número de relações que o nó já tem.



**Figura 5.1** – Processo de nascimento de uma rede livre de escala (BARABASI E BONABEAU, 2003)

Desta forma, um *hub* mais popular passa a ter cada vez mais relacionamentos ao longo do tempo. Quanto mais conectado é um nó, maior probabilidade ele tem, pela extensão de sua rede, de fazer novas conexões. Este fenômeno, também denominado de "*rich gets richer*" (BARABASI, 2003), favorece os nós mais antigos da rede que têm mais tempo para adquirir novos relacionamentos e, portanto, mais chances de virem a se tornar *hubs*. Por outro lado, se um nó é o último a entrar na rede, nenhum outro nó ainda teve a oportunidade de se ligar a ele. Logo, este fenômeno privilegia a senioridade.

Entretanto, como nada é permanente na rede, os *hubs* mudam. Um nó simples, pela dinâmica da conectividade, pode transformar-se em *hub*, enquanto outros *hubs* morrem. No embalo dessa impermanência, a estrutura das conexões da rede se reconfigura (WWF, 2003). Um exemplo dessas mudanças é o surgimento do Google, em 1997, que rapidamente ocupou uma posição de *hub*, anteriormente pertencente ao Alta Vista, que dominava o mercado. Neste ambiente

competitivo, além da senioridade na rede, cada nó também tem o seu *fitness*, que é a medida quantitativa da sua habilidade de se manter na frente da competição pelos relacionamentos na rede. Os nós sempre competem pelas conexões, pois elas representam a sobrevivência em um mundo interconectado.

Desta forma, a velocidade com que um determinado nó adquire relacionamentos não é uma questão de senioridade apenas. Na verdade, a conexão preferencial é resultado do produto do *fitness* do nó com o número de relacionamentos que ele possui. Assim, essa atratividade final é que os nós vão realmente utilizar para decidir como vão estabelecer as suas relações. O Google é a maior prova deste fenômeno: mesmo entrando na rede depois dos outros concorrentes, a sua nova tecnologia de busca aumentou a sua atratividade e permitiu que ele conquistasse conexões mais rapidamente do que os seus adversários.

### 5.3 Redes de mundo pequeno

No modelo de **redes de mundo pequeno**, a distância média entre os vértices é muito pequena, mesmo para redes com milhões de vértices. A maior manifestação popular deste fenômeno é o conceito dos "seis graus de separação", descoberto pelo psicologista social Stanley Milgram, da Universidade de Harvard nos Estados Unidos, em 1967.

Durante um experimento realizado para descobrir a distância entre os residentes dos Estados Unidos, Milgram pediu aos participantes que encaminhassem 160 cartas de Nebraska até um corretor de valores em Boston, utilizando os contatos com pessoas conhecidas. Cada pessoa deveria entregar a carta a um amigo que ele considerasse capaz de fazê-la chegar, diretamente ou por meio de outro intermediário, às mãos do corretor de Boston. Apesar da maioria das cartas nunca terem sido entregues ao destinatário, Milgram descobriu que as 42 cartas que chegaram passaram nas mãos de, em média, 5,5 intermediários (ALBERT E BARABASI, 2002, NEWMAN, 2003).

Vale ressaltar, porém, que o método de Milgram superestimou a distância entre duas pessoas nos Estados Unidos. Os seis graus de separação são realmente um limite superior, pois existe ainda um grande número de caminhos com comprimentos menores (BARABASI, 2003). Por exemplo, poderiam existir caminhos mais curtos para alcançar os destinatários das cartas que os participantes do experimento desconheciam.

Além disso, na sociedade moderna, as pessoas se conectam mais facilmente e têm a capacidade de se comunicar rapidamente através de grandes distâncias. Assim, o número de relações sociais que um indivíduo mantém aumentou, o que

pode ter diminuído o número de graus de separação nos dias atuais (BARABASI, 2003).

A pesquisa de Barabási e seus colegas (BARABASI, 2003) mostrou que a web também é uma rede de mundo pequeno. Apesar da enorme quantidade de documentos disponíveis, as páginas estão, em média, apenas 19 cliques distantes umas das outras.

Através deste e de outros trabalhos, observou-se que o modelo das redes de mundo pequeno pode ser observado nas redes complexas em geral. Vale ressaltar também que o modelo de redes livres de escala e o modelo de redes de mundo pequeno não são mutuamente exclusivos.

## **6. Metodologia para Estudo de Redes Sociais**

Adaptando a abordagem proposta em (CROSS ET AL., 2004), é possível estabelecer quatro passos para a metodologia para análise de redes sociais: definição da rede que se deseja analisar, coleta dos dados necessários, visualização gráfica da rede social e análise quantitativa da rede social.

O primeiro passo é definir o objetivo da análise e estabelecer a semântica dos nós e arestas da rede que se deseja analisar. A análise da rede social será potencialmente mais benéfica em redes que tenham uma necessidade ou potencial de colaboração.

O próximo passo é a coleta de dados para a construção da rede social. Esta coleta pode ser feita através de questionários (papel, e-mail ou Internet) ou facilitada pela mineração de dados (AALST ET AL., 2005) que busca os dados dos repositórios para que eles possam ser manipulados para visualização ou análise. Por exemplo, nos projetos de desenvolvimento de software livre, é comum o uso de *parsing* nas páginas dos projetos e nas suas listas de e-mail e fóruns de discussão.

Em seguida, no passo de visualização de redes sociais, é adotada a representação visual das informações, através de diferentes formas, para diminuir a sobrecarga cognitiva do usuário e facilitar a compreensão e exploração dos dados através de imagens (VIEGAS E DONATH, 2004).

Por fim, a análise de redes sociais é uma forma de compreender a interação e a organização social de um grupo. No desenvolvimento de software, pretende-se utilizar a análise de redes sociais para entender a colaboração entre os membros da equipe de desenvolvimento.

Devido à sua complexidade e importância, os dois últimos passos da metodologia serão aprofundados nas próximas seções.

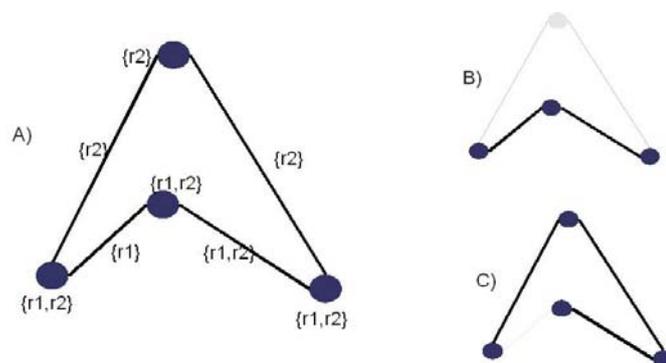
## 7. Visualização de Redes Sociais

A visualização transfere do sistema cognitivo para o sistema perceptivo a carga despendida por uma determinada tarefa, aproveitando assim a habilidade do ser humano no reconhecimento de padrões e estruturas em informações visuais. Portanto, o emprego desta técnica torna mais fácil e natural a tarefa de compreensão da informação apresentada.

A visualização de redes sociais permite a observação de fatos e a extração de conhecimento a partir de grafos (FREITAS ET AL., 2008). Geralmente, as redes sociais são representadas por matrizes ou grafos (WASSERMAN E FAUST, 1994). As matrizes são adotadas para o cálculo de métricas e análise das redes sociais, enquanto os grafos são utilizados para facilitar a visualização e apresentação das redes.

Os mecanismos de visualização se diferenciam pelos recursos que oferecem e pelas perspectivas que exploram. Uma perspectiva possível é a temporal. O interesse na visualização temporal de redes sociais gira em torno do entendimento da dinamicidade da rede, ou seja, como as redes se desenvolvem ou mudam no decorrer do tempo, desta forma permitindo a análise longitudinal de redes sociais.

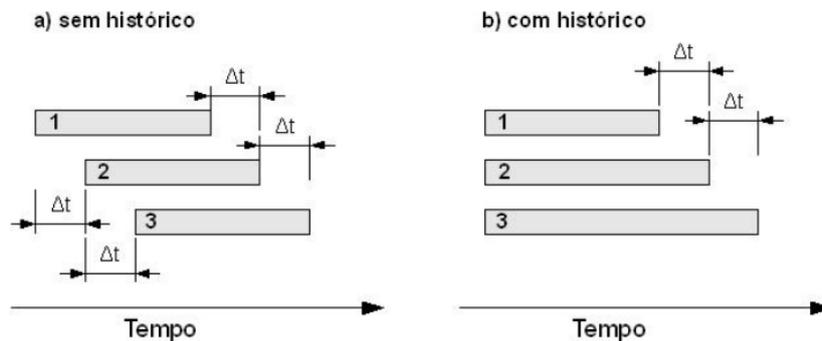
Para isso, os atores e os relacionamentos recebem um ou mais rótulos temporais ( $r_1$  ou  $r_2$  na Figura 7.1a). Um rótulo temporal representa um intervalo de tempo em que os elementos participaram de uma rede social. Assim, os rótulos temporais podem ser usados na visualização da rede social de um determinado intervalo de tempo desejado. Por exemplo, na Figura 7.1b, optou-se por visualizar apenas a rede do instante  $r_1$ , enquanto na Figura 7.1c o que está sendo observado é a rede no instante  $r_2$ . O número de intervalos de tempo usados na análise da rede social e a duração destes intervalos podem ser configurados, pois depende da análise que se deseja realizar (SANTOS E SOUZA, 2008).



**Figura 7.1** – Uso de rótulos temporais (SANTOS E SOUZA, 2008)

Na visualização temporal, os dados podem ser apresentados com histórico ou sem histórico. Na visualização sem histórico (Figura 7.2a) é utilizado um intervalo de tempo com duração constante e um incremento de tempo nos instantes inicial e final para deslocar o intervalo de visualização. Já na visualização

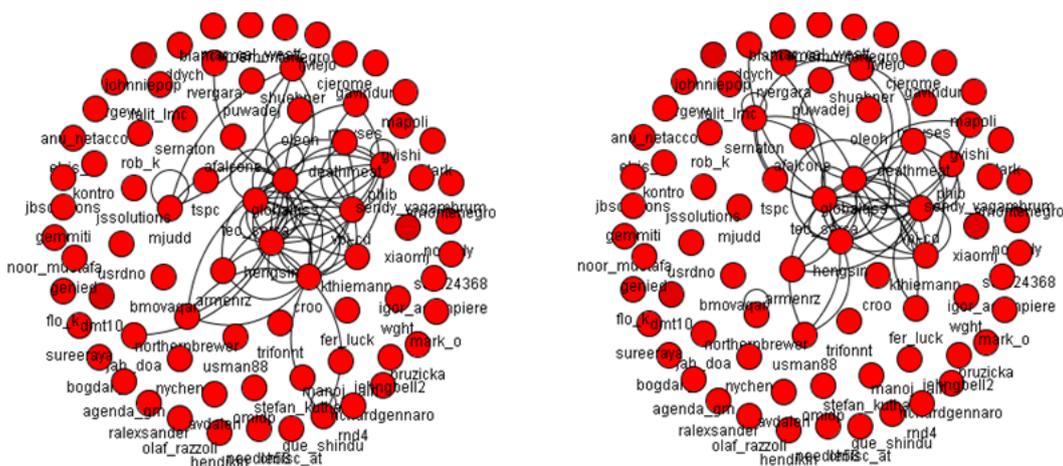
com histórico (Figura 7.2b), o intervalo de tempo não tem duração constante, pois é feito um incremento de tempo no instante final, aumentando assim o período total de tempo exibido.



**Figura 7.2** – Visualização temporal com ou sem histórico (SANTOS E SOUZA, 2008)

Além disso, a visualização temporal da rede pode usar dois tipos diferentes de layouts (SANTOS E SOUZA, 2008). A visualização por *flip books* utiliza um layout único, onde os nós permanecem em posições constantes e somente as relações mudam de um instante para outro. Este tipo de layout mantém a orientação do usuário, mas para isso deve exibir todos os nós em todos os momentos, mesmo que naquele momento alguns nós ainda não façam parte da rede (Figura 7.3).

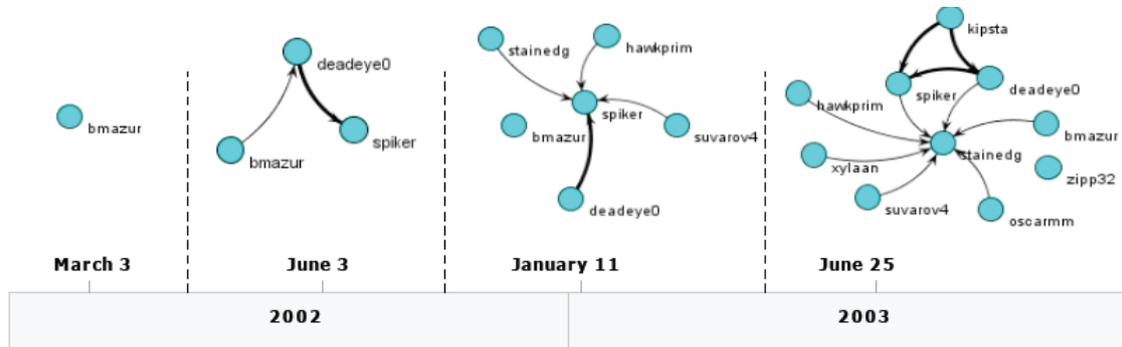
Já na visualização *movies*, os nós movem-se de acordo com as relações que surgem com outros nós, ou seja, existe um rearranjo do layout do grafo. Isso faz com que o usuário perca a orientação visual, mas em compensação permite observar como a estrutura da rede muda no decorrer do tempo (Figura 7.4). Neste caso, também é possível utilizar uma legenda de cores para identificar a antiguidade dos atores e relacionamentos na rede.



**Figura 7.3** – Visualização *flip books* (SANTOS E SOUZA, 2008)

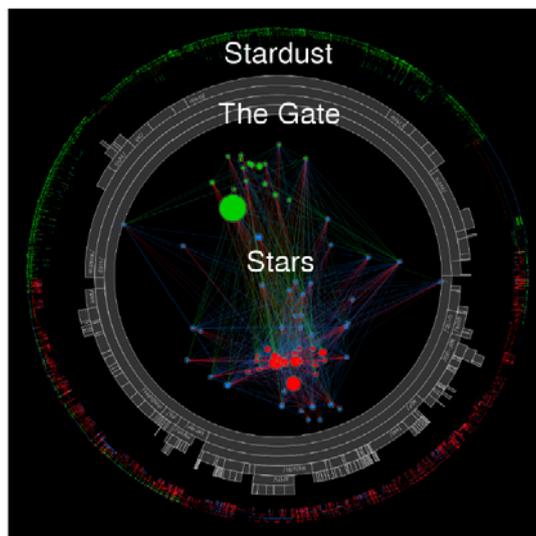
Resumindo, a visualização temporal de redes sociais combina dois parâmetros: a exibição dos atores e o layout aplicado (SANTOS E SOUZA, 2008). Em relação à exibição de atores, existem duas possibilidades: exibir todos os atores

da rede social (independente se o ator participou ou não do intervalo de análise) (Figura 7.3); ou exibir somente aqueles que participam da rede social no momento indicado. Já quanto ao layout aplicado, é possível: aplicar um layout único, ou seja, apresentar os atores da rede com um layout fixo para todos os períodos de análise (Figura 7.3); ou reposicionar os atores para cada período (Figura 7.4).



**Figura 7.4** – Visualização *movies* na ferramenta Ariadne (SOUZA ET AL., 2007)

Outra perspectiva de visualização é a combinação de diferentes informações em uma visualização integrada. Por exemplo, Ogawa e Ma (2008) buscam entender as interações entre os desenvolvedores e os repositórios de software, através de uma visualização em formato de um anel galáctico (Figura 7.5). Nesta visualização, os desenvolvedores são representados através de uma rede social no centro da figura. Os anéis correspondem à estrutura de diretórios existente no repositório de código. Os desenvolvedores são localizados mais próximos do diretório onde o seu trabalho se concentra. Por fim, a camada mais externa e colorida corresponde às informações detalhadas sobre os arquivos que podem ser acessadas.



**Figura 7.5** – Visualização integrada de desenvolvedores e repositório de software (OGAWA E MA, 2008)

A maioria das análises de redes sociais é baseada em uma única rede. Entretanto, a análise combinada de múltiplas redes sociais poderia ajudar a obter um entendimento mais amplo e descobrir como essas diferentes redes se

influenciam ou estão relacionadas entre si (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008).

Tendo este objetivo em mente, outra perspectiva de visualização diz respeito a visualização de múltiplas redes sociais. Adotando a técnica StarPlot, é gerada uma estrela para cada ator de forma que cada face da estrela apresente o valor de uma métrica, sobre uma rede social específica. Assim, cada círculo de 360 graus é dividido em  $n$  partes, onde  $n$  é o número de redes sociais que se deseja analisar. Na Figura 7.6, o círculo foi dividido em quatro faces, distantes 90 graus, pois estavam sendo analisadas quatro redes sociais (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008) diferentes de um projeto de software livre: a rede da lista de discussão (na face branca), a rede da ferramenta de controle de erros (na face vermelha), a rede do código fonte (na face amarela) e a rede da lista de desenvolvedores (na face rosa).

O valor da média de cada rede social é representado através de um círculo pontilhado (Figura 7.6). O tamanho da face representa o nível de atuação de cada ator em uma determinada rede. As faces que ultrapassam o círculo correspondem a redes onde aquele ator tem uma atuação acima da média, enquanto as faces menores representam as redes sociais onde o ator possui uma centralidade menor (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008).

De acordo com os exemplos apresentados, é possível perceber que a visualização da rede é uma informação importante, pois oferece percepção sobre o que está acontecendo com as interações ou colaboração do grupo. Entretanto, sozinha, a visualização não permite a total compreensão da colaboração existente entre os atores da rede e precisa ser complementada pela análise das redes sociais, explorada na próxima seção.

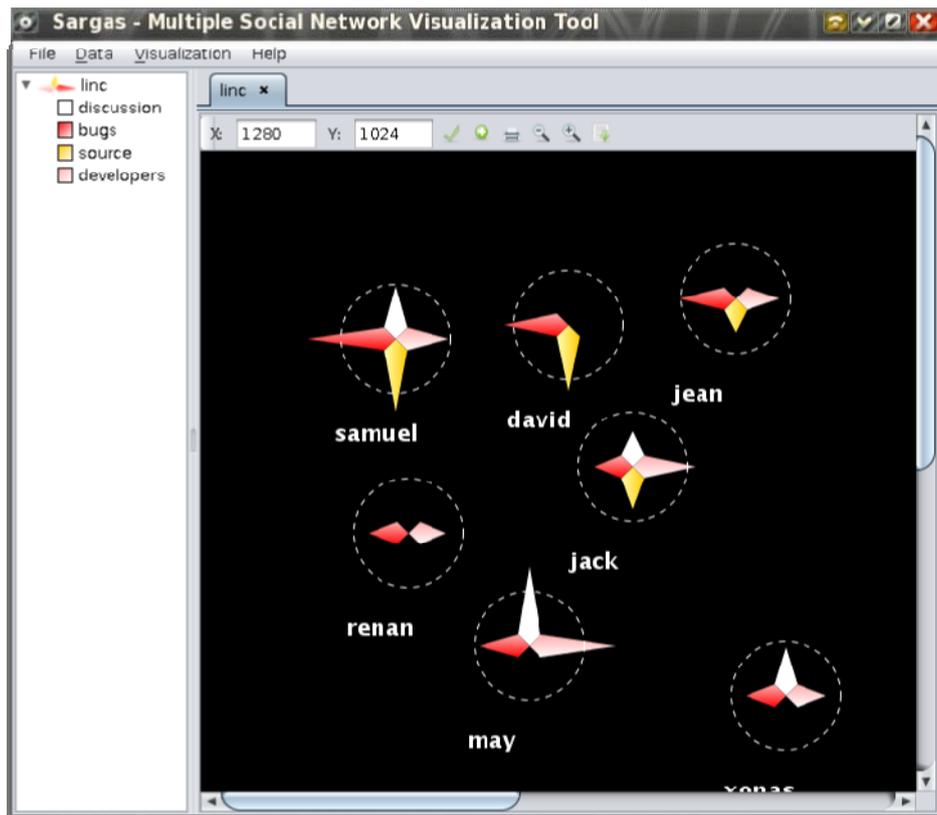


Figura 7.6 – Visualização de múltiplas redes sociais na ferramenta Sargas (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008)

## 8. Análise de Redes Sociais

A análise de redes sociais é uma abordagem metodológica, originada das ciências sociais, que utiliza os conceitos da teoria de grafos para descrever, entender e explicar as estruturas sociais (BRANDES E WAGNER, 2003). A análise de redes sociais busca entender os relacionamentos entre pessoas, grupos e organizações. A unidade na análise de redes sociais não é o indivíduo, mas sim o grupo de indivíduos e os relacionamentos entre eles (WASSERMAN E FAUST, 1994).

### 8.1 Propriedades de análise de redes sociais

As redes sociais podem ser analisadas através das suas propriedades (SANTOS ET AL., 2010, 2009). Neste trabalho, foram selecionadas para serem estudadas as propriedades com maior potencial para explicitar a colaboração, visto que este é o objetivo desta pesquisa. Outras propriedades de análise são descritas em Santos (2010).

Um dos principais usos da análise de redes sociais é medir a importância de um vértice dentro da rede. Um nó da rede é considerado proeminente se os seus relacionamentos o tornam particularmente visível aos outros nós da rede. Então, existem duas classes de proeminência do ator: centralidade e prestígio (WASSERMAN E FAUST, 1994). Na centralidade, a direção das relações nas quais o ator está envolvido não importa, ou seja, são levados em consideração todos os

relacionamentos do ator. Por sua vez, o conceito de prestígio do ator é mais restritivo, pois só reconhece as relações onde o ator é o receptor. Assim, o conceito de prestígio do ator não pode ser observado em um grafo não direcionado.

• **Centralidade do ator:** um ator central é aquele que está intensivamente envolvido em relacionamentos com outros atores, seja como transmissor ou como receptor. Este envolvimento o torna mais visível aos outros. Existem três tipos de propriedades de centralidade do ator (WASSERMAN E FAUST, 1994) que nos interessam particularmente neste trabalho:

- **Centralidade de grau** (*degree centrality*): a centralidade de grau do nó está relacionada ao número de relações que este nó mantém na rede. O nó mais central ou *hub* (BARABASI, 2003) é aquele que possui o maior grau. Como ele está em contato direto com muitos outros nós, ele acaba ocupando um lugar central na rede. Em contrapartida, nós com grau pequeno ocupam uma posição periférica na rede. Usando o grafo apresentado na Figura 8.1 como exemplo, o nó mais central é o nó *c* que possui a maior centralidade de grau, que é igual a 3, pois possui 3 arestas. Os outros nós não atingem centralidade de grau igual a 3. Os nós *a* e *b* possuem centralidade de grau igual a 2 e o nó *d* possui a menor centralidade de grau desta rede que é igual a 1.

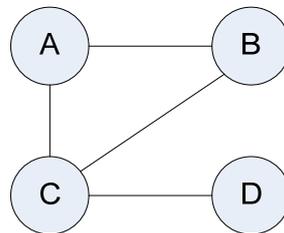


Figura 8.1 – Centralidade de grau

- **Centralidade de proximidade** (*closeness centrality*): esta propriedade é inversamente relacionada com a distância. Ela representa o quão próximo um nó se encontra em relação aos demais nós da rede. A centralidade de proximidade é calculada pelo inverso da soma das distâncias de um nó para os outros destinos possíveis. A ideia é que um nó é central se ele pode interagir rapidamente com os demais. Este nó central pode ser altamente produtivo no compartilhamento de informações com o grupo, já que ele acelera o caminho de comunicação entre os nós. Assim, quanto mais diminui a distância de um vértice para o restante da rede, mais aumenta a sua centralidade de proximidade (e vice-versa). Considerando como exemplo, a rede em formato de estrela, apresentada na Figura 8.2, o nó *b*, localizado no centro, é adjacente a todos os outros. Logo, ele tem

uma centralidade de proximidade máxima, já que partindo de  $b$  todos os outros nós podem ser alcançados em apenas 1 passo.

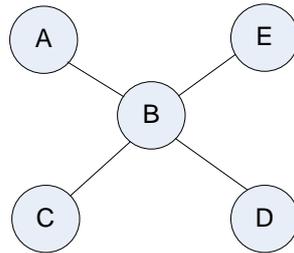


Figura 8.2 – Centralidade de proximidade

- o **Centralidade de intermediação** (*betweenness centrality*): as interações entre dois nós não adjacentes dependem dos nós que se localizam no caminho entre eles. Estes outros nós potencialmente têm controle sobre as interações entre os dois nós não adjacentes. Assim, a centralidade de intermediação é medida pelo número de vezes que o nó aparece no caminho de outros nós. Para ter uma alta centralidade de intermediação, um nó deve estar no caminho entre diversos outros nós. Por exemplo, no grafo apresentado na Figura 8.3, existem três caminhos entre os vértices  $a$  e  $b$ . O vértice  $c$  participa de dois destes três caminhos e, portanto, tem uma alta centralidade de intermediação.

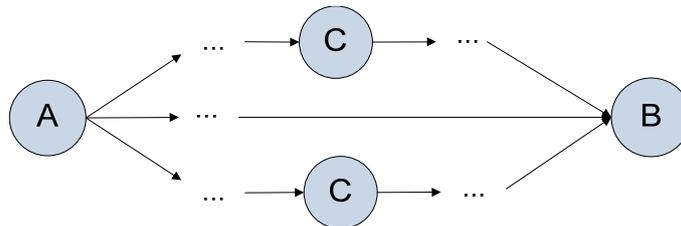


Figura 8.3 – Centralidade de intermediação

Apesar de essas propriedades focarem nos nós, elas também podem ser combinadas entre os nós para obter a medida da rede como um todo ou de determinados subgrupos. Desta forma, podem ser úteis para comparar diferentes redes sociais, desde que sejam normalizadas. Por outro lado, algumas outras propriedades, como a densidade da rede, exploram diretamente as propriedades da rede como um todo.

- **Densidade da rede:** a densidade da rede está relacionada à quantidade de arestas que mantém interligado um conjunto de vértices. Quanto mais arestas existir numa rede, mais densa ela será (WWF, 2003).

Por exemplo, na Figura 8.4, a mesma rede, composta por 14 vértices, é apresentada com número de arestas e, conseqüentemente, densidades diferentes. No diagrama (a), os vértices estão interligados por apenas 14 arestas, o que resulta em uma densidade baixa de 0,15. No diagrama (b), 37 arestas relacionam os vértices, representando uma densidade de 0,4. Por fim, no diagrama (c), os

mesmos 14 vértices ligam-se por meio de 91 arestas, onde a densidade resultante é máxima e igual a 1.

Os diagramas da Figura 8.4 nos permitem observar que a densidade da rede não está relacionada ao número de vértices que a constituem, visto que neste exemplo a quantidade de vértices foi constante, mas sim à quantidade de arestas que esses vértices estabelecem entre si. O limite máximo de conectividade é alcançado quando todos os vértices estabelecem ligações com os demais (WWF, 2003), como aconteceu no diagrama (c), ou seja, quando o grafo é completo.

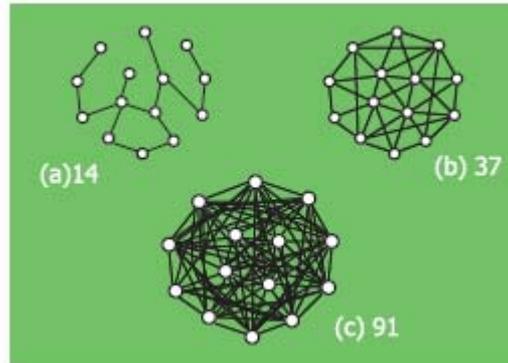


Figura 8.4 – Exemplo de densidade da rede (WWF, 2003)

## 8.2 Características de colaboração

A partir da interpretação e composição das propriedades de análise de redes sociais apresentadas na seção anterior, Santos et al. (2010, 2009) sugerem um conjunto de características de colaboração, organizadas tendo como inspiração os níveis do modelo de maturidade em colaboração CollabMM (MAGDALENO ET AL., 2009, 2008), e focadas no aspecto da coordenação.

A Tabela 8.1 resume as características de colaboração em redes sociais de desenvolvimento de software. Essas características devem ser analisadas em conjunto para que seja possível a percepção da colaboração em meio ao trabalho de desenvolvedores de software.

Tabela 8.1 – Características de colaboração em redes sociais de desenvolvimento de software (SANTOS ET AL., 2010)

	<b>Coordenação Absoluta Nível Planejado</b>	<b>Coordenação Múltipla Nível Perceptivo</b>	<b>Coordenação Distribuída Nível Reflexivo</b>
<b>Densidade da rede</b>	Baixa (0,01% a 30,00%)	Baixo-média a médio-alta (30,01% a 70,00%)	Alta (70,01% a 100,00%)
<b>Centralidade de grau da rede</b>	Alta (70,01% a 100,00)	Médio-alta a baixo-média (30,01% a 70,00%)	Baixa (0,00% a 30,00%)

	<b>Coordenação Absoluta Nível Planejado</b>	<b>Coordenação Múltipla Nível Perceptivo</b>	<b>Coordenação Distribuída Nível Reflexivo</b>
<b>Centralidade de intermediação da rede</b>	Alta a médio-alta (50,01% a 100,00%)	Baixo a baixo-média (0,00% a 50,00%)	Baixa (0,00% a 30,00%)
<b>Incidência de nós centrais</b>	Poucos nós com alta centralidade em relação à centralidade de grau da rede	Maioria dos nós da rede com alta centralidade em relação à centralidade de grau da rede	Maioria dos nós da rede com alta centralidade em relação à centralidade de grau da rede
<b>Incidência de nós intermediários</b>	Poucos nós com alta intermediação em relação à centralidade de intermediação da rede	Poucos nós com alta intermediação em relação à centralidade de intermediação da rede	Maioria dos nós da rede com alta intermediação em relação à centralidade de intermediação da rede

A característica de coordenação absoluta está relacionada ao nível planejado do CollabMM. As redes que possuem esta característica apresentam têm um único nó tão forte que pode dominar toda a rede. Como se trata de uma rede centralizada, os líderes atuam como pontes entre os demais nós da rede. Entretanto, densidade da rede é baixa, pois a quantidade de interações ainda é reduzida (SANTOS ET AL., 2010).

Redes caracterizadas com coordenação múltipla apresentam os primeiros sinais de descentralização e, portanto, existem alguns nós centrais e intermediários estabelecendo ligações entre pequenos subgrupos dentro da mesma rede (SANTOS ET AL., 2010).

Nas redes de coordenação distribuída ocorre a ausência de nós centrais e intermediários na rede, pois os relacionamentos entre os nós tendem a ser distribuídos igualmente na rede. A densidade da rede é considerada alta, podendo atingir a chamada densidade máxima da rede que representa o grau máximo de colaboração (SANTOS ET AL., 2010).

Estudos exploratórios iniciais em projetos de desenvolvimento de software livre foram realizados com o objetivo principal de verificar a existência destas características de colaboração. Os resultados destes estudos, apresentados em Santos et al. (2010, 2009), apontam para a importância destas características como instrumento para oferecer percepção da colaboração.

Em especial, o trabalho de Santos et al. (2010) mostrou que é possível combinar as propriedades de análise de redes sociais para identificar características de colaboração e compreender o nível de colaboração presente na execução de um projeto de desenvolvimento de software. Através destas características de

colaboração, e com a ajuda de ferramentas de visualização e análise de redes sociais, a equipe de desenvolvimento é capaz de perceber, refletir e interferir no trabalho que está sendo realizado.

### **8.3 Análises de redes sociais no desenvolvimento de software**

As análises de redes sociais já foram exploradas em contextos sociais, como a defesa do meio ambiente (WWF, 2003) e organizacionais (CROSS ET AL., 2004). Como o desenvolvimento de software é um clássico exemplo de rede social colaborativa, nesta seção, estamos interessados em verificar quais análises de redes sociais já foram feitas neste contexto.

Uma primeira análise de redes sociais estuda como as refatorações no código provocam mudanças na coordenação e sobrecarga dos principais engenheiros do projeto de desenvolvimento de software livre (GOTO ET AL., 2008). No estudo de caso, os autores compararam os períodos antes e durante duas refatorações apenas. Os resultados iniciais realmente apresentam indícios de que em refatorações que impactam de forma mais significativa múltiplos módulos do projeto, a média do número de mensagens enviadas por cada colaborador, principalmente os desenvolvedores do núcleo principal, é maior durante as refatorações (GOTO ET AL., 2008). Contudo, é preciso observar que foi analisada apenas uma das listas de discussão de um único projeto de software livre (o Jackrabbit), o que dificulta a generalização dos resultados. Assim, ainda são necessários outros trabalhos de pesquisa para caracterizar apropriadamente esta co-relação entre a refatoração do código e a coordenação do projeto.

Outra análise baseada em redes sociais visa descobrir as dependências sociais entre os desenvolvedores a partir da dependência técnica entre os componentes do software. Assim, seria possível estabelecer uma rede de impacto para identificar os desenvolvedores que precisam se comunicar e colaborar para coordenar o trabalho. O conhecimento desta rede poderia ajudar os próprios desenvolvedores a aumentar a sua percepção e organizar mais facilmente o trabalho de acordo com as dependências (SOUZA ET AL., 2007, TRAINER ET AL., 2005).

Assim, é proposta uma abordagem composta por três etapas (TRAINER ET AL., 2005), que conta com o auxílio da ferramenta Ariadne, para a construção dos diagramas sugeridos através de análise do código e conexão ao repositório de gerência de configuração (SOUZA ET AL., 2007):

- **Explicitar a rede de dependência técnica entre os componentes de software** (Figura 8.5): extrair a estrutura da rede das dependências entre as classes ou pacotes. A rede técnica derivada é puramente baseada no nível do código do software.

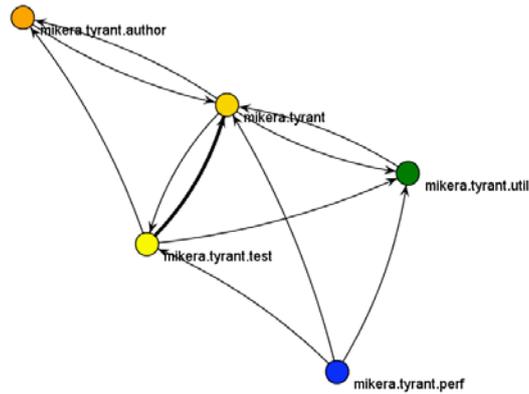


Figura 8.5 – Rede de dependências técnicas no código (TRAINER ET AL., 2005)

- **Identificar a rede de dependência sócio-técnica:** a partir da rede técnica dos componentes do software e da identificação do desenvolvedor responsável por um componente, é desenvolvida a rede sócio-técnica (Figura 8.6), onde os nós maiores representam os componentes e uma aresta direcionada entre os componentes A e B indica uma relação de dependência. Os autores são representados pelos nós menores e a aresta entre um autor e um componente indica a informação de autoria.

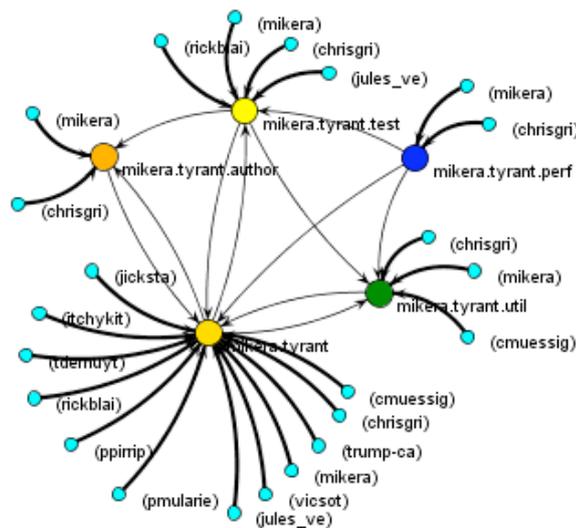
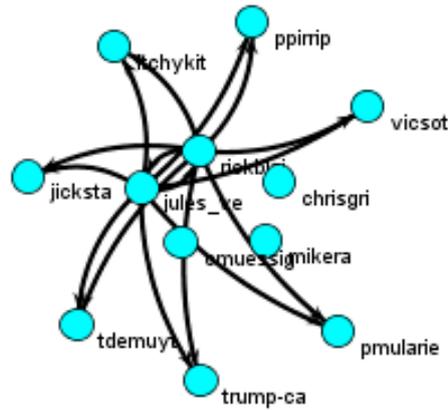


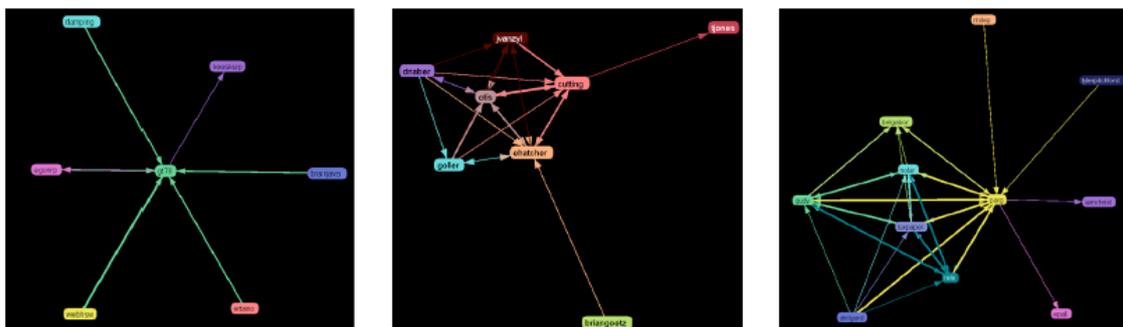
Figura 8.6 – Rede de dependências sócio-técnicas (TRAINER ET AL., 2005)

- **Extrair a rede de dependência social:** combinando a rede sócio-técnica com a informação de autoria, é possível extrair indiretamente uma rede social (Figura 8.7) com as dependências sociais entre os desenvolvedores.



**Figura 8.7** – Rede de dependências sociais (TRAINER ET AL., 2005)

Outra linha de análise visa à observação das mudanças na estrutura da comunidade de desenvolvedores de software livre (SOUZA ET AL., 2005). Assim, na Figura 8.8a, utilizando a ferramenta Augur, é possível notar que o projeto inicialmente era fortemente centralizado em torno de um único desenvolvedor que provavelmente seria o arquiteto principal do projeto. Ao longo do tempo, a estrutura da rede vai se alterando e, aos poucos, outros desenvolvedores começam a compartilhar com ele a coordenação do projeto (Figura 8.8b) até que o projeto evolui para um modelo final de desenvolvedores divididos entre o núcleo e a periferia (Figura 8.8c).



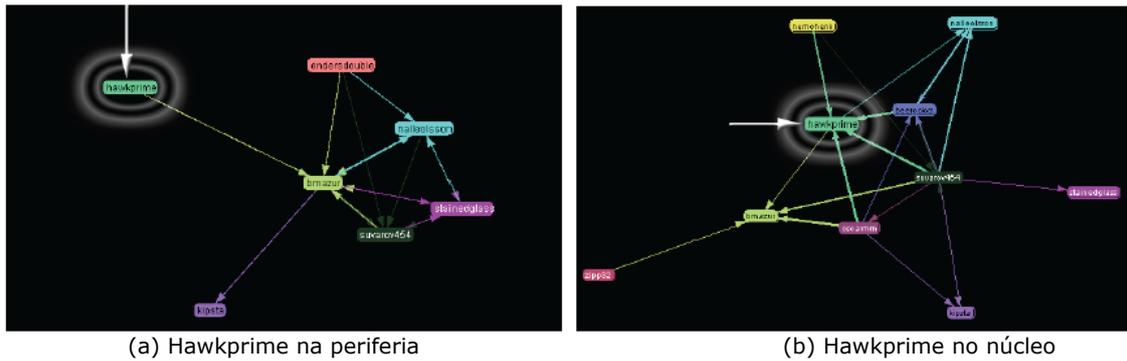
(a) Coordenação centralizada

(b) Coordenação compartilhada

(c) Núcleo e periferia

**Figura 8.8** – Estrutura da Comunidade de Desenvolvedores (SOUZA ET AL., 2005)

Outra visão que pode ser explorada é a modificação na forma de participação dos membros do projeto ao longo do tempo (SOUZA ET AL., 2005). Por exemplo, na Figura 8.9a é possível observar que o desenvolvedor Hawkprime primeiramente estava localizado na periferia do projeto, tendo conexão na rede apenas com um único desenvolvedor. Entretanto, progressivamente ele assume um papel mais central no projeto e passa a ser um dos membros do núcleo do projeto já tendo seis conexões com outros desenvolvedores (Figura 8.9b). O efeito contrário, ou seja, o afastamento de um membro do núcleo para a periferia também pode ser observado.



**Figura 8.9** – Mudança da periferia para o núcleo (SOUZA ET AL., 2005)

Para analisar os efeitos da participação dos diferentes tipos de membros da comunidade de software livre, os autores Jin Xu et al. (2005) verificaram que: a rede de líderes de projeto é altamente desconectada, talvez porque líderes de projeto ficam muito ocupados para conseguir se engajar em outros projetos. Já no conjunto formado por líderes e desenvolvedores principais a média do menor caminho é 10. Por fim, quando os co-desenvolvedores e os usuários ativos são agregados à rede, a média do menor caminho diminuiu para 3. Assim, observa-se que com a participação dos co-desenvolvedores e usuários ativos a distância diminuiu significativamente e bastam 3 passos para se atingir qualquer membro dentro da comunidade.

Através desta análise, os autores também verificaram que a comunidade de software livre é uma rede livre de escalas, pois os projetos mais populares atraem mais desenvolvedores e usuários (JIN XU ET AL., 2005, KRISHNAMURTHY, 2002). Ao final, o fenômeno do mundo pequeno também foi observado. Assim, as idéias e discussões se espalham rapidamente na comunidade de software livre. Essa curta distância para a comunicação é um diferencial importante. Os co-desenvolvedores e os usuários ativos possuem um papel fundamental na conexão da comunidade de software livre, pois a sua existência acelera a comunicação e o fluxo de informações.

Diversos autores (GAO ET AL., 2003, LOPEZ-FERNANDEZ ET AL., 2004, MADEY ET AL., 2002) se preocuparam em analisar a topologia das redes sociais nos projetos de desenvolvimento de software livre. Todos estes trabalhos têm em comum o fato de terem reconhecido a propriedade do mundo pequeno. Os resultados dessas análises também mostraram que a rede dos desenvolvedores de software livre não é uma rede randômica, mas sim uma rede livre de escalas com conexão preferencial entre os nós. Tal fato se explica pela inclinação dos desenvolvedores de software livre em se engajar em projetos de sucesso (KRISHNAMURTHY, 2002). Como os desenvolvedores são livres para escolher os projetos dos quais querem participar, é razoável que alguns projetos exerçam mais poder de atração do que outros.

## 9. Ferramentas de Redes Sociais

Existem diversas ferramentas propostas para lidar com as redes sociais. Neste trabalho foram estudadas no total dez destas ferramentas, sendo oito acadêmicas, uma ferramenta *shareware*<sup>1</sup> e uma ferramenta livre. Algumas características básicas destas ferramentas são resumidas pela Tabela 9.1, a saber:

- **Categoria:** Indica se a ferramenta é acadêmica, *shareware* ou livre;
- **Tipo:** As ferramentas analisadas foram classificadas em três tipos: as *ferramentas de mineração de dados* são responsáveis pelo acesso aos repositórios de dados para extrair de forma automatizada as informações necessárias para as outras ferramentas; as *ferramentas de visualização de redes sociais* são aquelas que oferecem funcionalidades gráficas para a compreensão visual das redes; por último, as *ferramentas de análise de redes sociais* são aquelas capazes de manipular os dados das redes sociais, através de matrizes ou grafos, para realizar os cálculos e operações necessários;
- **Fonte:** Indica quais são as fontes de onde as ferramentas extraem as informações;
- **Método:** Indica qual é o método de mineração, visualização ou análise de dados adotado;
- **Integração:** Indica as possibilidades de integração com outras ferramentas.

Tabela 9.1 – Tabela comparativa de ferramentas

Ferramenta	Categoria	Tipo	Fonte	Método	Integração
<b>Ariadne</b>	Acadêmico	Mineração e visualização	Código fonte e GCS	<i>Call-graph</i>	UCINET
<b>Augur</b>	Acadêmico	Mineração e visualização	Código fonte e GCS	<i>Call-graph</i>	Não informado
<b>MiSoN</b>	Acadêmico	Mineração	Sistemas de informações	Baseado em métricas	UCINET
<b>OSSNetwork</b>	Acadêmico	Mineração e visualização	E-mail, Listas de discussão, Chat, GCS, <i>bug-tracking</i> e código fonte	<i>Parser html</i>	Pajek e UCINET
<b>Pajek</b>	Livre	Análise e visualização	Redes Sociais	Diversos	UCINET
<b>RaisAware</b>	Acadêmico	Mineração e visualização	GCS	<i>Call-graph</i> e <i>co-changes</i>	Não informado
<b>Sargas</b>	Acadêmico	Visualização	Mesmas do OSSNetwork	Z-score	UCINET, Ariadne e OSSNetwork
<b>SVNNAT</b>	Acadêmico	Mineração, visualização e análise	GCS	Matriz de co-relação	Pajek

<sup>1</sup> Uma ferramenta *shareware* permite a redistribuição do software, mas não a modificação do código fonte. Além disso, limita o uso de acordo com uma condição específica como, por exemplo, um período de tempo limite.

Ferramenta	Categoria	Tipo	Fonte	Método	Integração
UCINET	Shareware	Análise	Redes sociais	Diversos	Pajek
Visone	Acadêmico	Visualização e análise	Arquivos de dados	Diversos	Arquivos de dados

As ferramentas estudadas foram agrupadas de acordo com o seu tipo e os detalhes de algumas delas são apresentados nas próximas seções. Conforme pode ser observado na Tabela 9.1, algumas ferramentas se enquadram em mais de um tipo e, portanto, podem ser mencionadas em mais de uma das próximas seções.

### 9.1 Ferramentas de mineração de redes sociais

As ferramentas de redes sociais com recursos de mineração de dados que foram estudadas são: Ariadne<sup>2</sup> (SOUZA ET AL., 2005, TRAINER ET AL., 2005), Augur (SOUZA ET AL., 2005), MiSoN (*Mining Social Networks*) (AALST ET AL., 2005), OSSNetwork (BALIEIRO ET AL., 2007), RaisAware (COSTA ET AL., 2008) e SVNNAT (*Subversion Network Analysis Tool*) (SCHWIND E WEGMANN, 2008).

A maioria destas ferramentas, com exceção do OSSNetwork, trabalha apenas com algumas fontes de informações específicas, tais como código-fonte ou repositório de gerência de configuração (Tabela 9.1). Então, algumas características do OSSNetwork serão detalhadas.

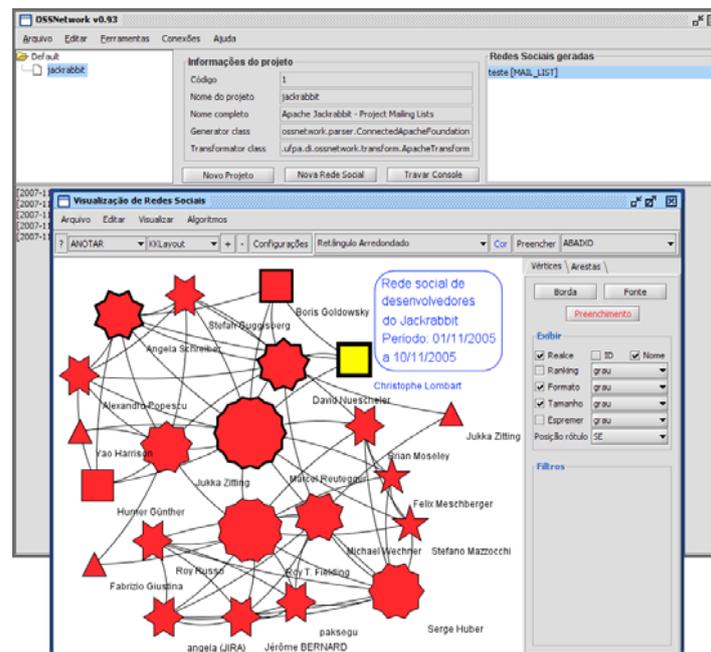
O OSSNetwork (BALIEIRO ET AL., 2007) é uma ferramenta acadêmica criada por pesquisadores da UFPA (Universidade Federal do Pará). Esta ferramenta, que foi gentilmente disponibilizada pelos autores, para usos acadêmicos, possui mecanismos de mineração de dados para diversos tipos de fontes de informações dos projetos de software livre, como e-mail, lista de discussão, chat, repositório de gerência de configuração, sistema de controle de defeitos e código fonte. Uma vez que estes dados estão armazenados no banco de dados MySQL do ambiente, ficam disponíveis para consultas e análises.

A partir das informações coletadas, o OSSNetwork gera as redes sociais (Figura 9.1) tanto na forma de matrizes quanto de grafos, utilizando o *framework* JUNG. Além disso, também permite a exportação da rede, em formatos XML, CSV e DL para a utilização em outras ferramentas, como o UCINET. Esta ferramenta possui ainda funcionalidades de visualização temporal para redes sociais, conforme visto na seção 7.

Entretanto, por utilizar *parsers* para mineração dos htmls das páginas dos projetos, a arquitetura da ferramenta se torna mais frágil e sujeita a falhas diante de mudanças nos metadados dos repositórios dos projetos. Por isso, até o presente

<sup>2</sup> Site da ferramenta Ariadne: <http://awareness.ics.uci.edu/~ariadne/>

momento, a aplicação da ferramenta é restrita a alguns sites, tais como Apache, SourceForge, Jira, RubyForge, IRCBrowse e CodePlex.



**Figura 9.1** – Visualização de redes sociais na ferramenta OSSNetwork (BALIEIRO ET AL., 2007)

Ainda como limitação do ambiente, o OSSNetwork não permite a atualização da base de dados automaticamente, pois as informações dos repositórios dos projetos de software livre mudam constantemente e torna-se difícil manter um *tracker* das modificações nos dados. Desta forma, os dados coletados pelo OSSNetwork representam um *snapshot* das interações das comunidades de software livre.

Vale ressaltar também que o MiSoN (Figura 9.2), parte do *framework* ProM de mineração de dados, se destaca por ser a única ferramenta do conjunto que não é voltada para o domínio de desenvolvimento de software e, portanto, não usa as mesmas fontes de informações. A ferramenta trabalha com a leitura do log dos sistemas de informações (WFM, ERP, CRM, SCM) da empresa. O MiSoN aplica métricas próprias, como a transferência de uma tarefa de um indivíduo para outro, e conceitos de processos para construir os relacionamentos entre os indivíduos e descobrir as redes sociais. O resultado é apresentado utilizando tanto a representação em matriz quanto em grafos.

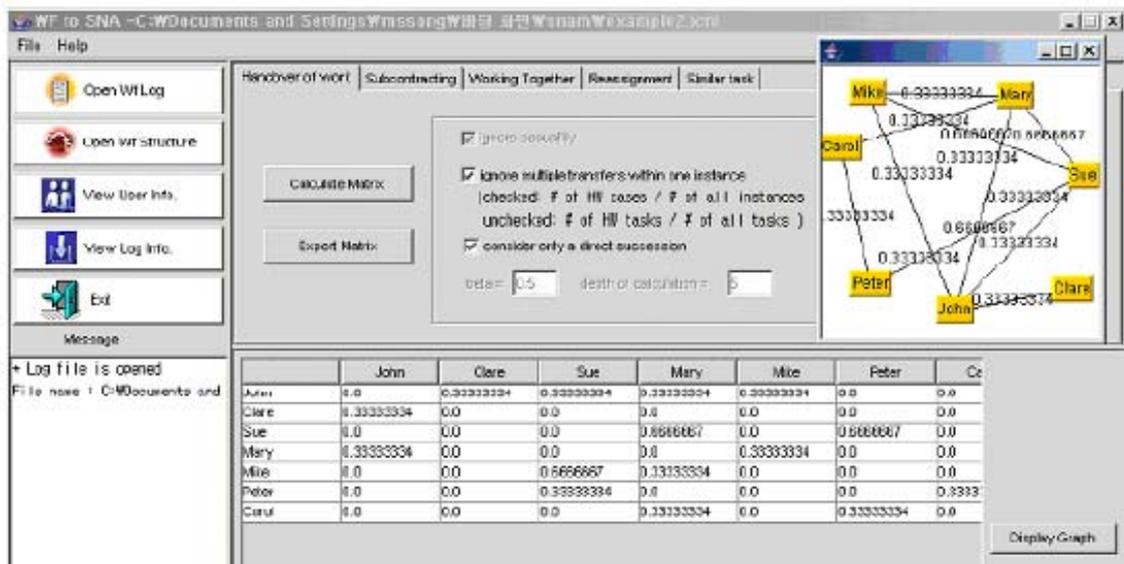


Figura 9.2 – Tela do MISoN (AALST ET AL., 2005)

## 9.2 Ferramentas de visualização de redes sociais

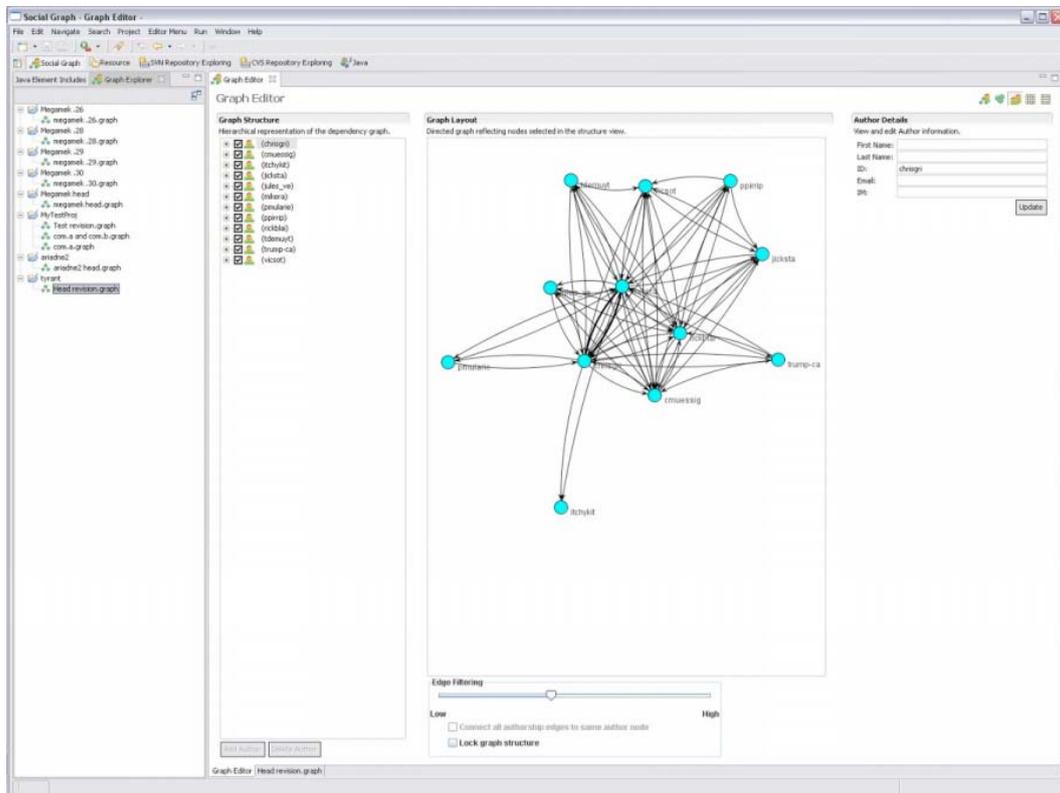
As seguintes ferramentas de visualização de redes sociais foram estudadas: Ariadne (SOUZA ET AL., 2005, TRAINER ET AL., 2005), Augur (SOUZA ET AL., 2005), OSSNetwork (BALIEIRO ET AL., 2007), Pajek<sup>3</sup> (NOOY ET AL., 2005), RaisAware (COSTA ET AL., 2008), Sargas (SOUSA JUNIOR ET AL., 2008, SOUSA JUNIOR E DE SOUZA, 2008), SVNNAT (Subversion Network Analysis Tool) (SCHWIND E WEGMANN, 2008) e Visone (BRANDES E WAGNER, 2003).

Considerando as perspectivas de visualização abordadas na seção 7, estas ferramentas representam um universo diversificado. A ferramenta Sargas, também desenvolvida em Java com o *framework* JUNG pela UFPA, aproveita a mineração de dados realizada pelo OSSNetwork e oferece mecanismos de visualização de múltiplas redes sociais (Figura 7.6). A ideia é combinar várias redes sociais para descobrir como essas diferentes redes se influenciam ou estão relacionadas umas com as outras para entender os projetos de software livre de uma maneira mais ampla. Entretanto, como a visualização da ferramenta mostra as estrelas de cada ator separadamente, perde-se a visão global da participação de todos os atores em cada uma das redes, ou seja, não existe o grafo da cada uma das redes. Por fim, caso as redes analisadas tenham muitos atores, a visualização adotada pela ferramenta, provavelmente, terá problemas de escalabilidade e sobrecarga de informação. Estas limitações não puderam ser comprovadas, pois a ferramenta não está disponível para uso ainda.

O OSSNetwork (Figura 9.1) e o Ariadne (Figura 7.4) possuem mecanismos de visualização temporal para redes sociais. Além disso, o Ariadne elabora os grafos das redes de dependência (Figura 9.3) e oferece três opções de visualização: a

<sup>3</sup> Site da ferramenta Pajek: <http://pajek.imfm.si/doku.php>

rede de dependência técnica (Figura 8.5), sócio-técnica (Figura 8.6) e social (Figura 8.7). Contudo, apesar de estar disponível para *download*, o protótipo da ferramenta ainda não está funcional.



**Figura 9.3** – Interface do Ariadne (SOUZA ET AL., 2007)

Uma ferramenta de visualização que se destacou entre as ferramentas estudadas, pelos recursos avançados de visualização oferecidos, foi o Augur. Entretanto, segundo os próprios autores, a ferramenta não se encontra disponível para uso e foi descontinuada.

O Augur tem como objetivo prover informações da estrutura de artefatos de um projeto, de suas atividades e da rede social dos desenvolvedores envolvidos. A ferramenta utiliza uma abordagem que associa a cada linha de código um conjunto de informações de interesse, como a que atividade, método ou classe esta se refere e quem criou a linha (SOUZA ET AL., 2005). A partir daí, a ferramenta apresenta em uma única tela, porém em painéis distintos, diferentes características do projeto em andamento (Figura 9.4).

Seguindo uma linha de pesquisa que parece embrionária para a criação da ferramenta anterior, Ariadne, o Augur também analisa a dependência técnica no código e monta a rede social, a partir da informação de autoria, explicitando os relacionamentos entre os membros da equipe de desenvolvimento. No exemplo de rede social apresentada no centro inferior da Figura 9.4, cada nó representa um indivíduo e os relacionamentos entre eles indicam quais desenvolvedores contribuíram para a mesma parte do código.

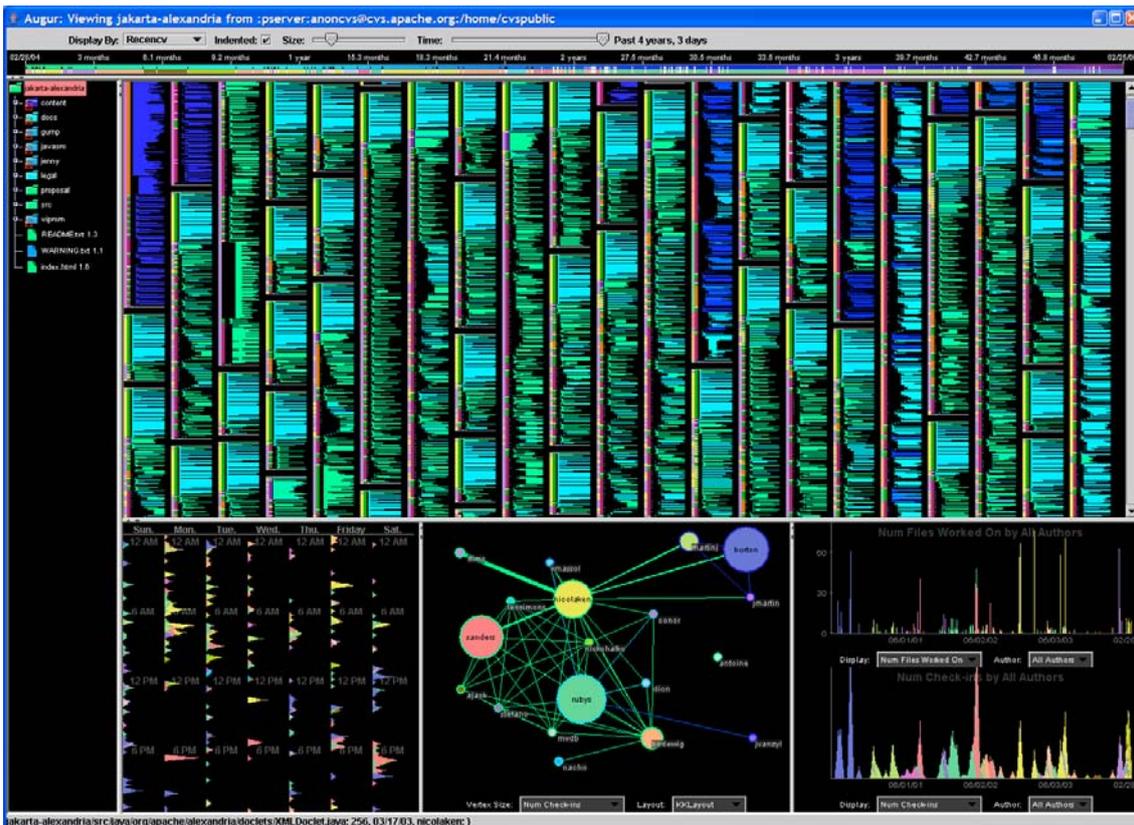


Figura 9.4 – Ferramenta Augur (SOUZA ET AL., 2005)

O tamanho dos círculos indica o tamanho da contribuição do desenvolvedor em número de linhas de código, enquanto a espessura da linha indica quantas linhas eles contribuíram para arquivos em comum. Finalmente, a cor da linha mostra o quão recente é uma determinada atividade. Estes recursos de percepção são importantes para explicitar a colaboração e não são comumente observados nas outras ferramentas.

### 9.3 Ferramentas de análise de redes sociais

A relação de ferramentas de análise de redes sociais investigadas inclui: Pajek (NOOY ET AL., 2005), SVNNAT (*Subversion Network Analysis Tool*) (SCHWIND E WEGMANN, 2008), UCINET<sup>4</sup> e Visone (BRANDES E WAGNER, 2003).

O SVNNAT foi projetado para investigar a rede de colaboração entre os atores do desenvolvimento de software. O objetivo da ferramenta é analisar a estrutura e explorar as propriedades da rede para melhorar o processo de desenvolvimento. Esta ferramenta se diferencia das demais por determinar o impacto das relações sociais combinadas com parâmetros de produtividade e qualidade de software.

A abordagem, baseada na rede sócio-técnica, calcula um índice que expressa o grau de colaboração entre os desenvolvedores do projeto e extrai uma matriz de co-relação para mostrar a colaboração entre os desenvolvedores. A

matriz é transformada em um grafo de rede onde os nós representam os desenvolvedores de software e os pesos nas arestas indicam o grau de colaboração entre eles (Figura 9.5). Esta ferramenta encontra-se disponível para uso<sup>5</sup> e alguns testes já foram realizados e apresentados em (SANTOS ET AL., 2010).

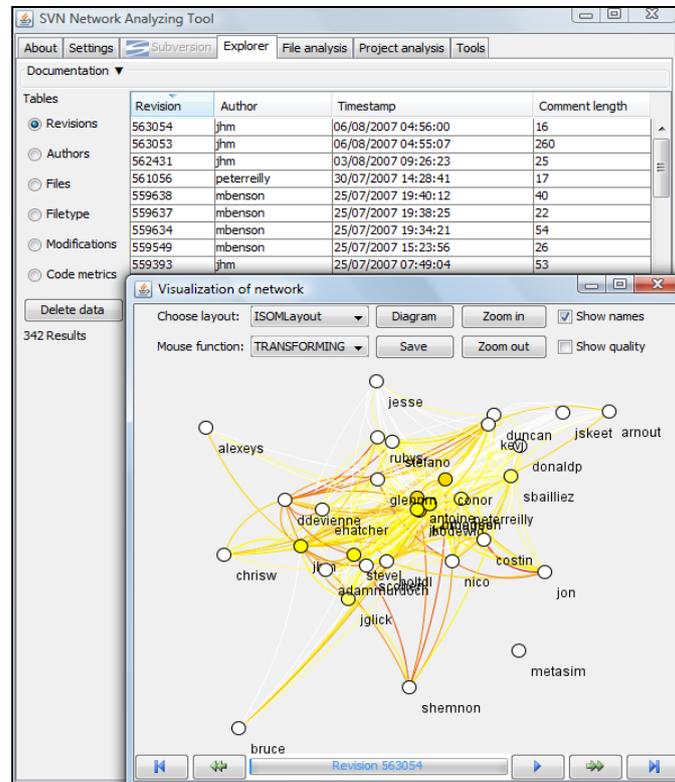


Figura 9.5 – Interface do SVNNAT (SCHWIND E WEGMANN, 2008)

O UCINET (Figura 9.6) é uma ferramenta *shareware* orientada para a análise das propriedades topológicas das redes sociais, pois disponibiliza diversos algoritmos já prontos, para realizar os cálculos necessários, tais como as propriedades de centralidade, utilizando matrizes. Como limitação da ferramenta podemos citar que ela trabalha com conjuntos de dados processados em arquivos proprietários.

Em relação às opções de ferramentas de software livre desenvolvidas para apoiar a análise de redes sociais, foi identificada a ferramenta Pajek (do esloveno “aranha”) que também trabalha orientada a grafo. O Pajek (Figura 9.7) foi iniciado em 1996 e desenvolvido em Delphi por Andrej Mrvar e Vladimir Batagelj. Ela consegue processar redes com milhões de vértices, disponibilizando diversos algoritmos de análise da rede e também algumas opções básicas de visualização. O Pajek e o UCINET possuem integração de dados entre si, mas a entrada de dados do Pajek é limitada.

<sup>4</sup> Site da ferramenta UCINET: <http://www.analytictech.com/ucinet/ucinet.htm>

<sup>5</sup> Link para download da ferramenta SVNNAT: [http://logatron.wiwi.uni-frankfurt.de/fileadmin/user\\_upload/svnnat.msi](http://logatron.wiwi.uni-frankfurt.de/fileadmin/user_upload/svnnat.msi)

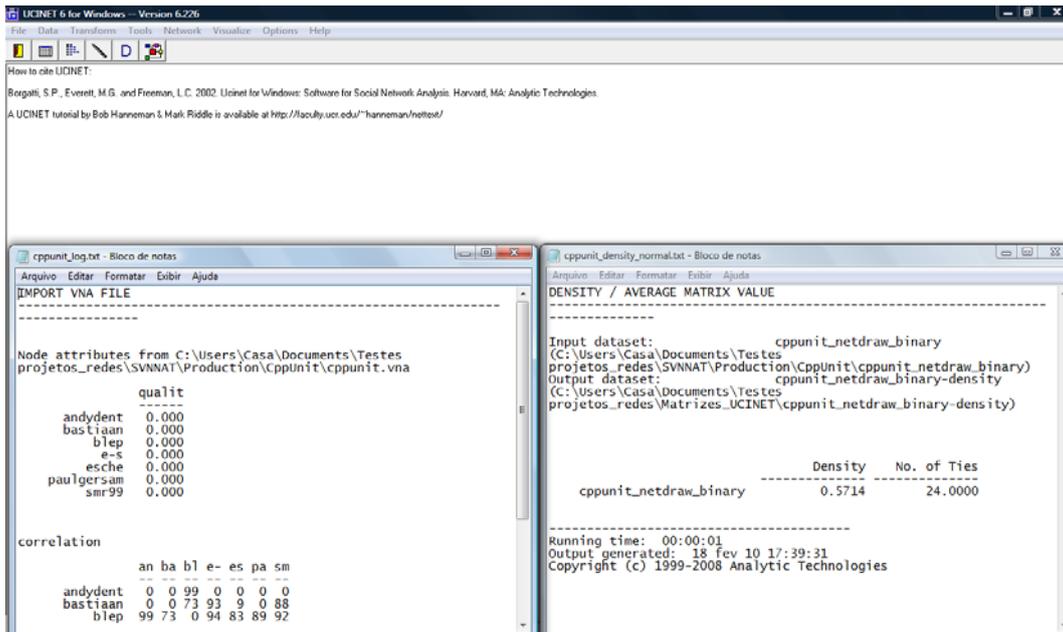


Figura 9.6 – Interface do UCINET e os logs de análise

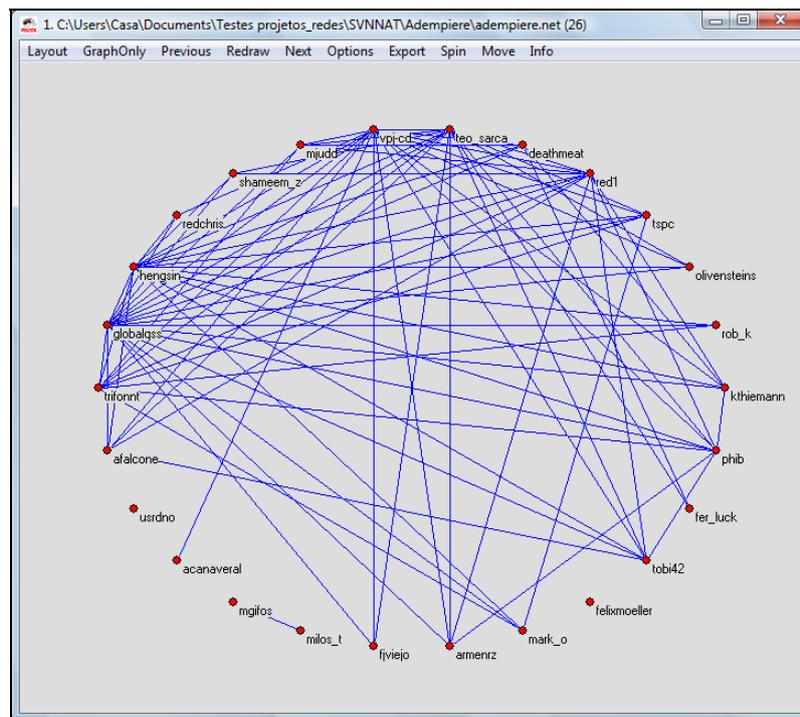


Figura 9.7 – Visualização de rede social no Pajek

Resumindo, o estudo destas ferramentas de redes sociais permitiu observar que as ferramentas de análise identificadas já oferecem um conjunto extenso de algoritmos genéricos que podem ser prontamente utilizados para os cálculos das propriedades de análise das redes sociais. Porém, não se dedicam a análises especificamente voltadas à colaboração. Por sua vez, a maioria das ferramentas de visualização não está de fato disponível ou possui limitações significativas.

## 10. Requisitos para Ferramentas de Redes Sociais

A partir da análise das contribuições e limitações das ferramentas apresentadas na seção anterior, da observação das propostas existentes para análise das redes sociais no desenvolvimento de software, apresentadas na seção 8.3, e dos objetivos do presente trabalho de pesquisa, chegamos à lista de requisitos que uma ferramenta de redes sociais deve atender. Os requisitos foram separados em três categorias: mineração (REQM), visualização (REQV) e análise (REQA):

- **REQM1** - O sistema deve possuir um meta-modelo para a mineração e armazenamento das informações das redes sociais.

Neste sentido, pode-se considerar o uso do meta-modelo de redes sociais proposto por Balieiro et al. (2007) e apresentado na Figura 10.1, mas a definição das informações deve considerar a semântica das análises que se deseja realizar com as redes sociais.

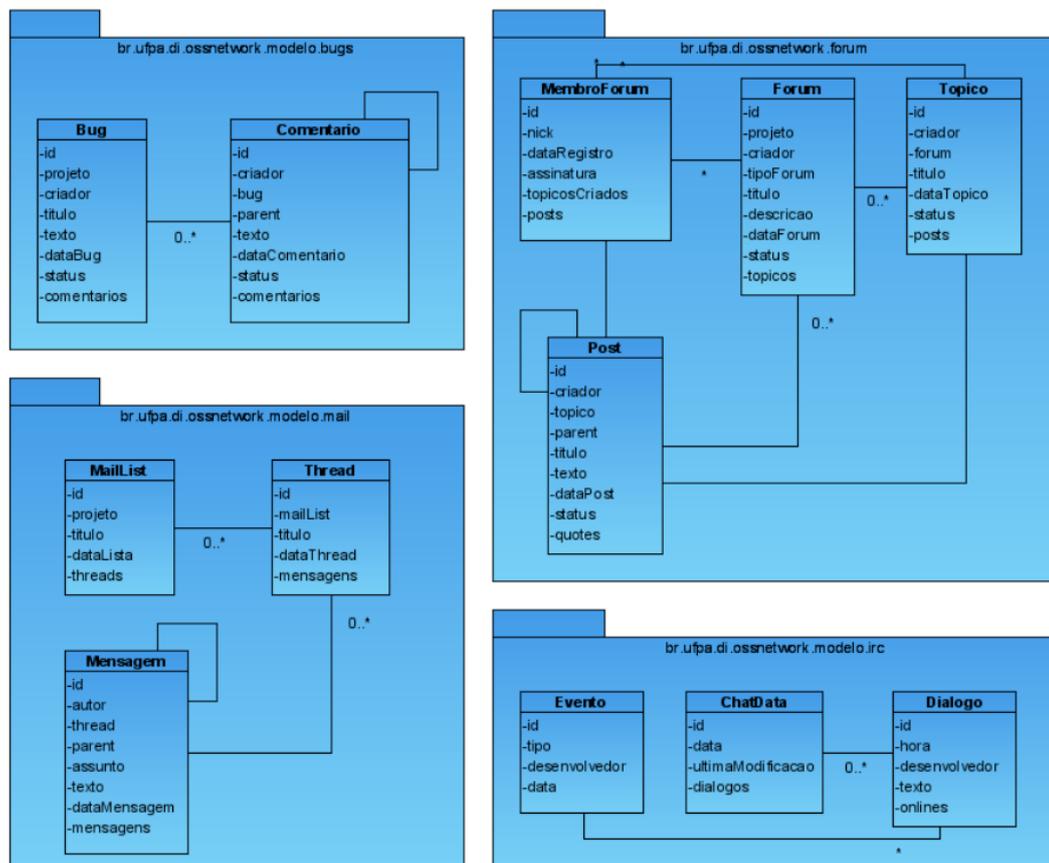


Figura 10.1 – Meta-modelo de redes sociais (BALIEIRO ET AL., 2007)

- **REQM2** - O sistema deve atualizar os dados das redes sociais de forma constante.

Desta forma, evita-se uma das limitações identificada no OSSNetwork e discutida na seção 9, pois os dados não se limitarão a representar apenas alguns *snapshots* das interações.

- **REQM3** - O sistema deve ser capaz de minerar dados de diferentes fontes de informações de projetos de desenvolvimento de software: repositório de gerência de configuração, código fonte, fórum de discussão e lista de e-mail.

Considerando as diferentes fontes de informações tratadas pelas ferramentas estudadas, foram selecionadas neste requisito as fontes de informações mais interessantes para o presente trabalho. Estas fontes de informações elencadas compõem um conjunto inicial, mas ao longo desta pesquisa, outras fontes de informações importantes podem ser identificadas e agregadas.

- **REQV4** - O sistema deve oferecer a visualização da rede técnica, através de um grafo, onde os nós são os componentes de software e as arestas representam as dependências existentes entre eles (conforme o exemplo da ferramenta Ariadne apresentado na Figura 8.5).
- **REQV5** - O sistema deve oferecer a visualização da rede sócio-técnica, através de um grafo, onde os nós maiores são os componentes de software e as arestas são as dependências existentes entre eles. Os desenvolvedores são representados pelos nós menores e a aresta entre desenvolvedor e um componente indica a criação ou atualização do componente (conforme o exemplo da ferramenta Ariadne apresentado na Figura 8.6).
- **REQV6** - O sistema deve oferecer a visualização da rede técnica e sócio-técnica com diferentes granularidades: por classe ou por pacote.
- **REQV7** - O sistema deve oferecer a visualização da rede social, através de um grafo, com as relações de dependência entre os atores (conforme o exemplo da ferramenta Ariadne apresentado na Figura 8.7).
- **REQV8** - O sistema deve destacar, na visualização da rede sócio-técnica, o tamanho da contribuição (em número de linhas de código) de acordo com o tamanho do nó (conforme o exemplo da ferramenta Augur apresentado na Figura 9.4).
- **REQV9** - O sistema deve destacar, na visualização da rede sócio-técnica, a informação de temporalidade, mudando a cor da linha de acordo com o quão recente é uma determinada contribuição (conforme o exemplo da ferramenta Augur apresentado na Figura 9.4).

- **REQV10** - O sistema deve oferecer a visualização da evolução da rede ao longo do tempo (de acordo com os mecanismos apresentados na seção 7).
- **REQA11** - O sistema deve calcular as propriedades de centralidade de grau, centralidade de intermediação e centralidade proximidade de cada nó e da rede como um todo (de acordo com o detalhamento das propriedades de análise de redes sociais apresentado na seção 6).
- **REQA12** - O sistema deve informar a propriedade de densidade da rede (de acordo com o detalhamento das propriedades de análise de redes sociais apresentado na seção 6).
- **REQA13** - O sistema deve identificar o modelo (randômica, livre de escala e mundo pequeno) de formação da rede analisada (de acordo com o detalhamento dos modelos de redes apresentado na seção 5).
- **REQA14** - O sistema deve permitir a integração com outras ferramentas de análise, como o UCINET e o Pajek, para que possam ser utilizados os seus recursos mais avançados para análise das redes sociais.
- **REQA15** - O sistema deve identificar a característica de colaboração aplicável a uma determinada rede social (de acordo com as características de colaboração propostas por Santos et al. (2010) e apresentadas na seção 8.2).

A Tabela 10.1 classifica as ferramentas de redes sociais analisadas de acordo com os requisitos apresentados. Os campos preenchidos com  indicam que o requisito em questão é totalmente coberto pela ferramenta. Os campos preenchidos com  indicam que o requisito não é atendido pela ferramenta. Os campos preenchidos com  indicam que não foi possível inferir se o requisito é atendido pela ferramenta através da documentação disponível.

O fato de um requisito não ser atendido por uma determinada ferramenta não significa que essa ferramenta é pior que as demais, pois para o seu objetivo esse requisito pode ser irrelevante. Esses requisitos, apesar de não formarem um conjunto completo nem necessariamente suficiente, servem como um guia para a elaboração de uma ferramenta que se proponha a ser abrangente e que, se possível, traga novas contribuições em relação às ferramentas atualmente disponíveis na literatura, que é o caso da proposta deste trabalho.

Tabela 10.1 – Tabela ferramentas x requisitos

Requisito	Ariadne	Augur	MiSoN	OssNetwork	Pajek	RaisAware	Sargas	SVNNAT	UCINET	Visone
REQM1	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×
REQM2	?	?	?	×	×	×	×	×	×	×
REQM3	×	×	×	✓	×	×	✓	×	×	×
REQV4	✓	×	×	×	×	✓	×	×	×	×
REQV5	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×	×
REQV6	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×
REQV7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
REQV8	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
REQV9	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
REQV10	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×	×
REQA11	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓
REQA12	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
REQA13	×	×	×	×	✓	×	×	×	✓	×
REQA14	✓	?	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	×
REQA15	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Após a análise da Tabela 10.1 podemos concluir que nenhuma das ferramentas de redes sociais analisadas na seção anterior atende a todos os requisitos. Assim, ainda existe espaço para proposta de outras ferramentas que apoiem de forma mais adequada à necessidade de explicitação da colaboração através da implementação destes requisitos.

## 11. Conclusão

Este trabalho mostrou que as redes sociais, obtidas como resultado das interações no desenvolvimento de software, podem fornecer informações úteis para o entendimento da colaboração existente entre os membros da equipe de desenvolvimento. Além disso, também foram apresentadas análises de redes sociais no desenvolvimento de software e algumas ferramentas de redes sociais existentes.

A investigação de todos estes trabalhos relacionados permitiu observar que ainda existem muitas questões em aberto relacionadas à visualização e análise de redes sociais no de desenvolvimento de software (SCHWIND E WEGMANN, 2008):

- Que tipo de estrutura pode ser encontrada nas redes de colaboração das equipes de desenvolvimento de software?
- Existe alguma diferença entre a topologia das redes de diferentes tipos de projetos de desenvolvimento de software (orientado ao planejamento, ágil e livre)?
- Como a topologia da rede de desenvolvimento de software evolui ao longo do tempo?
- Como as propriedades das redes sociais podem ajudar a compreender os níveis de colaboração no desenvolvimento de software?

Para responder a estes questionamento, um primeiro passo foi dado no trabalho de Santos et al. (2010) que propõe a identificação de características de colaboração, através da análise das propriedades das redes sociais. Através destas características de colaboração, e com a ajuda de ferramentas de visualização e análise de redes sociais, a equipe de desenvolvimento é capaz de perceber, refletir e interferir no trabalho que está sendo realizado.

Além disso, a busca por respostas a estas perguntas continua através da implementação dos requisitos apresentados, como parte da solução do presente trabalho de pesquisa, para que possam ser realizados estudos experimentais nos projetos de desenvolvimento de software que permitam o estudo das suas estruturas e topologias.

Esta motivação levou a criação de uma nova ferramenta. O EvolTrack-SocialNetwork, proposta como parte da solução deste trabalho, se propõe a atender aos requisitos identificados para ferramentas de redes sociais. O EvolTrack-SocialNetwork é uma extensão da ferramenta EvolTrack (CEPEDA ET AL., 2010, 2008), que constitui um dos projetos do Grupo de Reutilização de Software<sup>6</sup> do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE-UFRJ, mas ainda encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento.

## **Agradecimentos**

Este trabalho é parcialmente financiado pelo CNPq (sob o processo no. 142006/2008-4) e faz parte do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCT) (sob o contrato no. 557.128/2009-9) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (sob o contrato no. E-26/170028/2008).

## Referências Bibliográficas

- AALST, W.; REIJERS, H. A.; SONG, M., 2005, "Discovering Social Networks from Event Logs", *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, v. 14, n. 6 (Jan.), pp. 549-593.
- ALBERT, R.; BARABASI, A. L., 2002, "Statistical mechanisms of complex networks", *Reviews of Modern Physics*, v. 74, n. 1, pp. 47-97.
- ALBERT, R.; JEONG, H.; BARABÁSI, A. L., 1999, "Diameter of the World-Wide Web", *Nature*, v. 401, pp. 130-131.
- ALEIXO, A. I. D. S., 2003, *Procedimentos para Implantar Equipes*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/8183.pdf>.
- ARAUJO, R., 2000, *Ampliando a Cultura de Processos de Software: Um Enfoque Baseado em Groupware e Workflow*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ARAUJO, R. M. D.; BORGES, M. R. S., 2007, "The role of collaborative support to promote participation and commitment in software development teams", *Software Process: Improvement and Practice*, v. 12, n. 3, pp. 229-246.
- BALIEIRO, M. A.; SOUZA JR, S. D.; PEREIRA, L. P.; ET AL., 2007, "OSSNetwork: Um Ambiente para Estudo de Comunidades de Software Livre usando Redes Sociais". In: *Experimental Software Engineering Latin America Workshop*, pp. 33-42, São Paulo, SP, Brasil.
- BARABASI, A. L., 2003, *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Cambridge, Plume.
- BARABASI, A. L.; BONABEAU, E., 2003, "Scale-Free Networks", *Scientific American*, pp. 50-59.
- BRANDES, U.; WAGNER, D., 2003, "Visone - Analysis and visualization of social networks", In: Junger, M., Mutzel, P. (eds), *Graph Drawing Software*, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 321-340.
- CATALDO, M.; HERBSLEB, J. D., 2008, "Communication networks in geographically distributed software development". In: *Proceedings of the 2008 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pp. 579-588, San Diego, CA, USA.
- CEPEDA, R. D. S. V.; MAGDALENO, A. M.; MURTA, L. G. P.; ET AL., 2010, "EvolTrack: Improving Design Evolution Awareness in Software Development", *Journal of the Brazilian Computer Society (JBACS)*, p. (to appear).
- CEPEDA, R. D. S. V.; MURTA, L. G. P.; WERNER, C., 2008, "Visualizando a Evolução de Software no Desenvolvimento Distribuído". *Workshop de Desenvolvimento Distribuído de Software (WDDS) - Simpósio Brasileiro de*

---

<sup>6</sup> Site: <http://reuse.cos.ufrj.br>

- Engenharia de Software (SBES)*, pp. 41-50, Campinas, SP, Brasil.
- COSTA, J. M. R.; FEITOSA, R. M.; DE SOUZA, C. D., 2008, "RaisAware: Uma ferramenta de auxílio à engenharia de software colaborativa baseada em análises de dependências". *Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC)*, pp. 254-264, Vitória, ES, Brasil.
- CROSS, R.; ANDREW, P.; CROSS, R., 2004, *The Hidden Power of Social Networks: Understanding How Work Really Gets Done in Organizations*. Boston, Massachusetts, Harvard Business School Press.
- CUGOLA, G.; GHEZZI, C., 1998, "Software processes: A retrospective and a path to the future", *Software Process Improvement and Practice (SPIP) Journal*, v. 4, pp. 101-123.
- DEGENNE, A.; FORSE, M., 1999, *Introducing Social Networks*. 1 ed. Sage Publications.
- DEMARCO, T.; LISTER, T., 1999, *Peopleware: Productive Projects and Teams*. 2 ed. New York, USA, Dorset House.
- DIAS, M. D. S., 1998, *COPSE: Um Ambiente de Suporte ao Projeto Cooperativo de Software*. Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DOURISH, P.; BELLOTTI, V., 1992, "Awareness and coordination in shared workspaces". In: *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, pp. 107-114, Toronto, Ontario, Canada.
- ELLIS, C. A.; GIBBS, S. J.; REIN, G., 1991, "Groupware: some issues and experiences", *Communications of ACM*, v. 34, n. 1, pp. 39-58.
- ERDOS, P.; RENYI, A., 1959, "On random graphs", *Publicationes Mathematicae (Debrecen)*, v. 6, pp. 290-297.
- FERREIRA, A. B. D. H., 2009, *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 3 ed. Curitiba, Editora Positivo.
- FREITAS, C. M. D. S.; NEDEL, L. P.; GALANTE, R.; ET AL., 2008, "Extração de Conhecimento e Análise Visual de Redes Sociais". *Seminário Integrado de Hardware e Software (SEMISH) - Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)*, pp. 106-120, Belém, PA, Brasil.
- FUKS, H.; GEROSA, M. A.; PIMENTEL, M. G., 2003a, "Projeto de Comunicação em Groupware: Desenvolvimento, Interface e Utilização". *Jornada de Atualização em Informática*, pp. 295-338, Campinas, SP, Brasil.
- FUKS, H.; RAPOSO, A. B.; GEROSA, M. A., 2003b, "Do Modelo de Colaboração 3C à Engenharia de Groupware". *Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WEBMIDIA) – Trilha Trabalho Cooperativo Assistido por Computador (CSCW)*, pp. 1-8, Salvador, BA, Brasil.
- GAO, Y.; FREEH, V.; MADEY, G., 2003, "Analysis and Modeling of Open Source Software Community". *North American Association for Computational Social and Organization Sciences Conference (NAACSOS)*, pp. 1-4, Pittsburgh, PA, United States.
- GEROSA, M. A.; FUKS, H.; LUCENA, C. J. P., 2003, "Suporte à Percepção em

- Ambientes de Aprendizagem Colaborativa", *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 11, n. 2, pp. 75-85.
- GOTO, C. S.; ROSA, M. P.; DE SOUZA, C. D., 2008, "Um Estudo Exploratório sobre os Efeitos da Refatoração na Coordenação das Atividades de Desenvolvimento de Software Livre". *Workshop de Manutenção de Software Moderna (WMSWM)*, pp. 1-8, Florianópolis, SC, Brasil.
- GUTWIN, C.; GREENBERG, S., 1999, *A framework of awareness for small groups in shared-workspace groupware*, Technical Report 99-1, Department of Computer Science, University of Saskatchewan.
- HANSEN, M. T., 2009, "When Internal Collaboration Is Bad for Your Company", *Harvard Business Review*, v. 84, n. 3, pp. 83-88.
- HARDINGHAM, A., 2000, *Trabalho em Equipe*. São Paulo, SP, Brasil, Nobel.
- HERBSLEB, J. D.; PAULISH, D. J.; BASS, M., 2005, "Global software development at siemens: experience from nine projects". In: *Proceedings of the 27th international conference on Software engineering*, pp. 524-533, St. Louis, MO, USA.
- JIN XU; YONGQIN GAO; CHRISTLEY, S.; ET AL., 2005, "A Topological Analysis of the Open Source Software Development Community". In: *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pp. 198-208, Waikoloa, HI, United States.
- KRISHNAMURTHY, S., 2002. Cave or Community? An Empirical Examination of 100 Mature Open Source Projects. *First Monday*. Disponível em: [http://firstmonday.org/issues/issue7\\_6/krishnamurthy/](http://firstmonday.org/issues/issue7_6/krishnamurthy/). Acesso em: 25 Maio 2008.
- LOPEZ-FERNANDEZ, L.; ROBLES, G.; GONZALEZ-BARAHONA, J. M.; ET AL., 2004, "Applying Social Network Analysis to the Information in CVS Repositories". *Mining Software Repositories Workshop - International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pp. 101-105, Edinburgh, Scotland.
- MADEY, G.; FREEH, V.; TYNAN, R., 2002, "The open source software development phenomenon: An analysis based on social network theory". *Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, pp. 1806-1813, Dallas, TX, USA.
- MAGDALENO, A. M., 2006, *Explicitando a Colaboração em Organizações através da Modelagem de Processos de Negócios*. Mestrado, UFRJ/IM/NCE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MAGDALENO, A. M.; ARAUJO, R. M. D.; BORGES, M. R. S., 2009, "A Maturity Model to Promote Collaboration in Business Processes", *International Journal of Business Process Integration and Management (IJBPIIM)*, v. 4, n. 2, pp. 111-123.
- MAGDALENO, A. M.; CAPPELLI, C.; BAIÃO, F.; ET AL., 2008, "A Practical Experience in Designing Business Processes to Improve Collaboration". *Business Process Design (BPD)*, pp. 156-168, Brisbane, Queensland, Australia.
- MINICUCCI, A., 2001, *Técnicas de Trabalho de Grupo*. 3 ed. São Paulo, SP, Brasil, Atlas.

- NEWMAN, M. E. J., 2003, "The structure and function of complex networks", *SIAM Review*, v. 45, n. 2 (Mar.), pp. 167-256.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H., 1995, *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, USA.
- NOOY, W. D.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V., 2005, *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- NUNAMAKER, J.; ROMANO, N.; BRIGGS, R., 2001, "A Framework for Collaboration and Knowledge Management". In: *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, p. 1060, Maui, HI, USA.
- OGAWA, M.; MA, K., 2008, "StarGate: A Unified, Interactive Visualization of Software Projects". *IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 191-198, Kyoto, Japan.
- SANTORO, F. M., 2001, *Um Modelo de Cooperação para Aprendizagem baseada em Projetos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANTOS, M. B.; SOUZA, C. R. D., 2008, "Visualização Temporal de Redes Sociais com o OSSNetwork". *Workshop on Information, Visualization and Analysis in Social Networks (WIVA)*, pp. 79-88, Campinas, SP, Brasil.
- SANTOS, T. A. L., 2010, *Identificação de Características de Colaboração em Processos de Desenvolvimento de Software através de Redes Sociais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANTOS, T. A. L.; ARAUJO, R. M. D.; MAGDALENO, A. M., 2010, "Identifying Collaboration Patterns in Software Development Social Networks", *Infocomp - Journal of Computer Science (to appear)*
- SANTOS, T. A. L.; ARAUJO, R. M. D.; MAGDALENO, A. M., 2009, "Padrões para Percepção da Colaboração em Redes Sociais de Desenvolvimento de Software". *Workshop de Desenvolvimento Distribuído de Software (WDDS)*, pp. 1-10, Fortaleza, CE, Brasil.
- SARMENTO, A., 2002, *Impacto dos sistemas colaborativos nas organizações : estudo de casos de adoção e utilização de sistemas workflow*. Tese de Doutorado, Departamento de Sistemas de Informação - Universidade do Minho, Minho, Portugal. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/285>.
- SCHOLTES, P. R.; JOINER, B. L.; STREIBEL, B. J., 2003, *The Team Handbook*. 3 ed. Joiner/Oriel Inc.
- SCHWIND, M.; WEGMANN, C., 2008, "SVNNAT: Measuring Collaboration in Software Development Networks". *IEEE Joint Conference on E-Commerce Technology (CEC) and Enterprise Computing, E-Commerce and E-Services (EEE)*, pp. 97-104, Washington, DC, USA.
- SOUSA JUNIOR, S. F.; BALIEIRO, M. A.; DE SOUZA, C. D., 2008, "Análise Multidimensional de Redes Sociais de Projetos de Software Livre". In: *Anais*

- do *Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC)*, pp. 23-33, Vitória, ES, Brasil.
- SOUZA JUNIOR, S. F.; DE SOUZA, C. D., 2008, "Visualização Integrada de Múltiplas Métricas de Redes Sociais". *Workshop on Information, Visualization and Analysis in Social Networks (WIVA)*, pp. 60-68, Campinas, SP, Brasil.
- SOUZA, C. D.; FROELICH, J.; DOURISH, P., 2005, "Seeking the source: software source code as a social and technical artifact". In: *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, pp. 197-206, Sanibel Island, FL, United States.
- SOUZA, C. R. D.; QUIRK, S.; TRAINER, E.; ET AL., 2007, "Supporting collaborative software development through the visualization of socio-technical dependencies". In: *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, pp. 147-156, Sanibel Island, FL, United States.
- SZWARCFITER, J., 1986, *Grafos e Algoritmos Computacionais*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Campus.
- TELLERIA, K. M.; LITTLE, D.; MACBRYDE, J., 2002, "Managing processes through teamwork", *Business Process Management Journal*, v. 8, n. 4, pp. 338 - 350.
- TRAINER, E.; QUIRK, S.; SOUZA, C. D.; ET AL., 2005, "Bridging the gap between technical and social dependencies with Ariadne". *Workshop on Eclipse technology eXchange - International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)*, pp. 26-30, San Diego, CA, United States.
- VIEGAS, F.; DONATH, J., 2004, "Social network visualization: Can we go beyond the graph", *Workshop on Social Networks, CSCW*, v. 4, pp. 6-10.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K., 1994, *Social Network Analysis: Methods and Applications*. 1 ed. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- WWF, 2003, *Redes: uma introdução às dinâmicas da conectividade e da auto-organização*, Relatório Técnico, WWF - Brasil. Disponível em: <http://www.wwf.org>.