

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Rodrigo Souza Rezende

**Diferenças e complementaridade na utilização  
de diferentes visualizações de redes temporais**

**Uberlândia, Brasil**

**2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Rodrigo Souza Rezende

**Diferenças e complementaridade na utilização de  
diferentes visualizações de redes temporais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como requisito exigido parcial à obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Bruno Augusto Nassif Travençolo

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Computação

Bacharelado em Sistemas de Informação

Uberlândia, Brasil

2021

Rodrigo Souza Rezende

## **Diferenças e complementaridade na utilização de diferentes visualizações de redes temporais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como requisito exigido parcial à obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Trabalho aprovado. Uberlândia, Brasil, 22 de julho de 2021:

---

**Bruno Augusto Nassif Travençolo**  
Orientador

---

**Dr. Cláudio Douglas Gouveia Linhares**  
USP - São Carlos

---

**Dr. Jean Roberto Ponciano**  
FVG - Rio de Janeiro

Uberlândia, Brasil  
2021

# Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas bênçãos e forças durante essa jornada. Agraço a minha esposa pois, sem seu incentivo, paciência não teria conseguido. Aos meus filhos pois, só vocês sabem o quanto foi difícil, quantos finais de semana e brincadeiras não pude ter com vocês para concluir essa fase. Aos meus professores responsáveis pelo meu desenvolvimento e por mostrar que podemos fazer muito mais.

*“A máquina analítica não tem nenhuma pretensão de originar nada. Ele pode fazer tudo o que sabemos para que ele execute.” Ada Lovelace*

# Resumo

Tendo em vista que a facilidade de obter informações de forma visual, pesquisa-se sobre visualização de redes temporais, a fim de utilizar diferentes visualizações para encontrar padrões que oferecem perspectivas complementares de análise. Para tanto, é necessário conhecer as visualizações mais comumente utilizadas. Neste trabalho serão utilizados as visualizações estrutural, matricial, temporal e aluvial. Para a análise das redes, foi utilizada a rede de troca de e-mails da empresa Enron, empresa norte americana conhecida por fraudes contábeis. Realiza-se, então, uma análise visual, verificando-se que as visualizações possuem complementariedade, ajudam a encontrar padrões e facilitam na obtenção de informação.

**Palavras-chave:** Visualização da informação. Redes complexas. Redes temporais.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de grafo . . . . .	12
Figura 2 – Ilustração de rede temporal com quatro nós . . . . .	12
Figura 3 – Animação visão estrutural . . . . .	14
Figura 4 – Exemplo de matriz . . . . .	14
Figura 5 – Visualização do tipo matriz animada. . . . .	15
Figura 6 – Visão temporal de uma rede temporal. . . . .	16
Figura 7 – Exemplo de Mapa de Atividade Temporal . . . . .	16
Figura 8 – Exemplo de diagrama aluvial . . . . .	17
Figura 9 – Poluição visual . . . . .	18
Figura 10 – Impacto da ordenação de nós na legibilidade da Visão Temporal. . . . .	19
Figura 11 – Representação da visão temporal de (HOLME; SARAMÄKI, 2012). . . . .	19
Figura 12 – Ilustração de algoritmo de cores e a representação da visualização MAT proposto por (LINHARES et al., 2016). . . . .	20
Figura 13 – Ilustração de algoritmo para gerar visualização aluvial proposto por (ROSVALL; BERGSTROM, 2010). . . . .	21
Figura 14 – Rede Enron: Visualização aluvial com período semestral . . . . .	24
Figura 15 – Rede Enron: Visualização aluvial com período trimestral . . . . .	24
Figura 16 – Rede Enron: Visualização aluvial com período bimestral . . . . .	24
Figura 17 – Rede Enron: Visualização aluvial com período mensal . . . . .	24
Figura 18 – Detalhe de padrão de final de semana no MSV. . . . .	25
Figura 19 – Visualização temporal de troca de e-mails da empresa Enron do período de 1998 a 2001 . . . . .	25
Figura 20 – Visualização MAT de troca de e-mails da empresa Enron do período de 1998 a 2001 . . . . .	26
Figura 21 – Detalhe da visualização temporal onde nesse período o nó é colorido com vermelho indicando maior comunicação. . . . .	26
Figura 22 – <i>Frames</i> da visualização matricial da rede Enron. . . . .	27
Figura 23 – Visualização estrutural da rede Enron . . . . .	28

# Lista de abreviaturas e siglas

IOT	Internet of Things
MSV	Massive Sequence View
MAT	Mapa de Atividade Temporal
DyNetVis	Dynamic Network Visualization

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>10</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização da monografia</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>CONCEITOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Redes Complexas</b>	<b>11</b>
2.1.1	Redes Temporais	11
<b>2.2</b>	<b>Visualização da Informação</b>	<b>12</b>
2.2.1	Representações visuais animadas para redes temporais	13
2.2.2	Representações <i>timeline</i>	15
2.2.2.1	Visão Temporal	15
2.2.2.2	Mapa de Atividade Temporal	16
2.2.2.3	Diagrama Aluvial	16
2.2.3	Poluição Visual	18
<b>2.3</b>	<b>Trabalhos Correlatos</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Ferramentas utilizadas</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Estudo de Caso: <i>Enron Corporation</i></b>	<b>22</b>
3.2.1	Análise da visualização aluvial	23
3.2.2	Análise das representações <i>timeline</i>	24
3.2.3	Análise da visualização estrutural e matriz	25
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>31</b>

# 1 Introdução

Internet, rede sociais e smartphones estão presentes no cotidiano das pessoas, coletando e armazenando os mais variados tipos de informação. Essa grande quantidade de dados faz com que a extração de informações relevantes seja mais complexa. A utilização de recursos computacionais pode facilitar, gerando gráficos interativos e imagens, deixando a extração das informações mais fácil e intuitiva. Essa abordagem de utilizar representações visuais, imagens e gráficos interativos auxiliando na compreensão de um conjunto de dados é chamada de Visualização da Informação (FREITAS et al., 2001).

Fica mais fácil a compreensão de um problema utilizando gráficos e imagens do que números em tabelas. O cérebro humano consegue muito mais informação de forma visual do que qualquer outro sentido. Nosso cérebro é dedicado a análise visual para reconhecer padrões que é fundamental para nossa atividade cognitiva (WARE, 2004).

As informações coletadas podem representar algum tipo de relação. A relação entre pares de objetos é denominada de rede complexa (FIGUEIREDO, 2011). Um exemplo mais comum é de redes sociais, em que os indivíduos têm um relacionamento de amizade ou de trabalho, podendo representar esses relacionamentos com um grafo.

Existem vários tipos de redes, mas quando as mudanças estruturais se dão pela mudança no tempo, adicionando as arestas conforme o tempo, isso é uma rede do tipo temporal (LINHARES et al., 2016). Esse tipo de rede é a que será tratada nesse trabalho.

A utilização de estratégias visuais facilita a compreensão de informações e podem ser usadas para análise de diversas fontes de dados. Com a quantidade crescente de dados e popularização das redes sociais, torna-se importante conhecer a visualização de redes temporais, para obter o melhor resultado na extração de informações úteis. Os estudos da visualização de redes ainda são recentes, e todas pesquisas relacionadas vêm agregar e aperfeiçoar essa estratégia.

A escolha de uma melhor representação visual ajuda nas análises dos dados, e contribui para uma melhor compreensão deles. Existem diversas formas de representação visual. Este trabalho busca analisar alguns tipos de visualização de redes temporais, somando diferentes *layouts* para extrair melhores informações.

## 1.1 Objetivo geral

Utilizar diferentes representações visuais de redes temporais para encontrar padrões, analisando se, e quando tais representações oferecem perspectivas complementares de análise que otimizam a explorações dessas redes e facilitam tomadas de decisões.

## 1.2 Objetivos específicos

- Aplicar a teoria de visualização da informação para redes temporais;
- Elencar representações visuais de rede temporais comumente utilizadas na literatura;
- Comparar, utilizando redes com dados reais, diferentes representações visuais e suas vantagens e desvantagens;
- Verificar se análise conjunta de duas ou mais representações visuais otimiza a exploração da rede quando comparado ao uso de uma única representação.

## 1.3 Organização da monografia

No primeiro capítulo foi apresentado a introdução do tema da monografia e os objetivos do trabalho. No Capítulo 2 são apresentados os conceitos de redes complexas, visualização da informação e trabalhos relacionados ao tema. No Capítulo 3 é apresentado o estudo de caso, ferramentas utilizadas e as visualizações com as comparações. No Capítulo 4 estão as discussões sobre as análises e resultados encontrados. O Capítulo 5 é o encerramento com uma visão geral sobre o trabalho, resultados e limitações.

## 2 Conceitos e Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados os conceitos e visualizações para realização desta pesquisa. Serão apresentados também trabalhos que são fontes de conhecimentos relacionados a visualização de redes.

### 2.1 Redes Complexas

Uma rede de forma geral é a codificação de relacionamentos entre pares de objetos (ANTIQUERA et al., 2005). Para codificar esse relacionamento utilizamos um grafo. Na matemática, grafo é um par  $(V, A)$  onde  $V$  é um conjunto composto por nós (ou vértices), os quais representam os objetos do domínio, e  $A$  é um conjunto de pares  $(x, y)$ ,  $x, y \in V$ , onde cada par compõe uma aresta, isto é, uma ligação entre  $x$  e  $y$  (FEOFILOFF; KOHAYAKAWA; WAKABAYASHI, 2011). Exemplos de redes complexas incluem: (i) rede sociais, compostas por indivíduos (nós) que possuem relação de amizade (arestas); (ii) redes de conhecimento, composta pela entidade que contém informações (nós), quando há alguma relação entre as informações dos dois nós eles se conectam (arestas) demonstrando uma relação entre a informação; (iii) redes tecnológicas, como a internet, em que os roteadores são os nós e a conexão formada entre eles são as arestas. Outro exemplo de rede pode ser visto na Figura 1, que representa os estados brasileiros e suas ligações. Na rede podemos determinar o grau de um nó, que é o número de arestas que incidem no nó. No caso da Figura 1, o nó MG tem grau 6 pois está conectado diretamente a seis estados. Outro conceito importante sobre rede são os vizinhos de um nó. Como exemplificado na Figura 1, os vizinhos do RJ são todos os nós que estão conectados diretamente a ele, a saber, ES, SP e MG, caracterizando um relacionamento entre esses estados e o RJ.

#### 2.1.1 Redes Temporais

As redes complexas codificam relacionamentos entre os pares de objetos. Quando a codificação tem como informação o instante de tempo em que houve interação entre os objetos, temos então uma rede temporal, conhecida também como rede dinâmica (LINHARES et al., 2016). Em redes temporais, o tempo em que cada relacionamento entre os objetos são explícitos na representação, e podem codificar diversos casos do mundo real como fluxos de mensagens de e-mail, interações entre participantes de uma rede social, detalhamento de propagação de vírus, dentre outras (HOLME; SARAMÄKI, 2012). Um exemplo de uma rede temporal com quatro nós (A, B, C, D) pode ser visto na Figura 2. Nessa figura, os números em cima das arestas representam os instantes de tempo em que

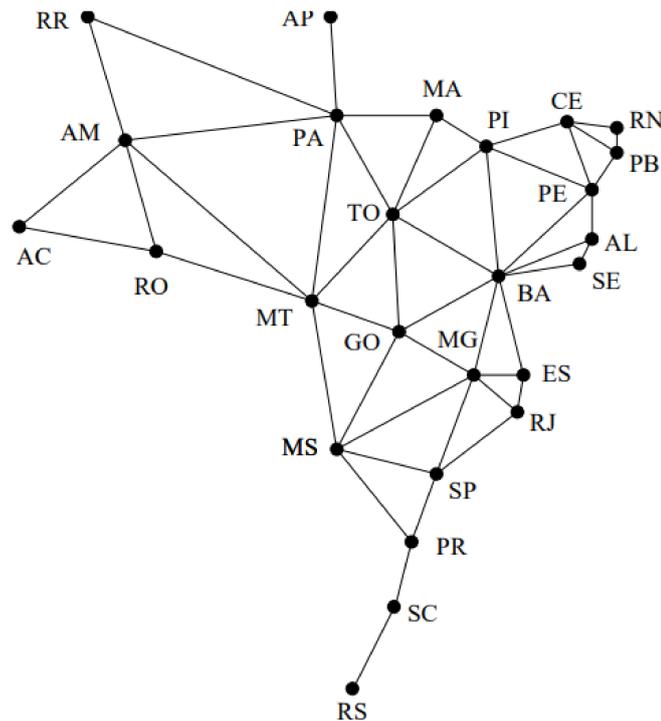


Figura 1 – Ilustração de uma rede complexa onde cada nó é um dos estados da República Federativa do Brasil. Figura retirada (FEOFILOFF; KOHAYAKAWA; WAKABAYASHI, 2011)

ocorreram as interações. Por exemplo, o nó A teve uma interação com o nó B nos períodos 6, 7 e 11. Já no instante 5 não houve interação nenhuma entre os nós.

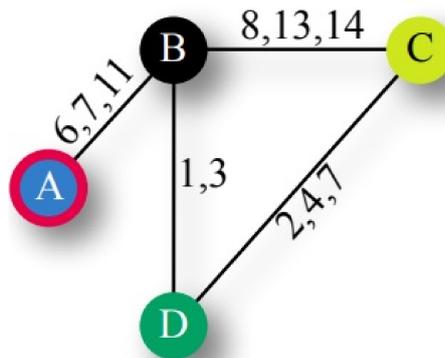


Figura 2 – Ilustração de rede temporal com quatro nós (A, B, C, D). Os números acima das arestas representam os instantes de tempo em que houve interações. Figura retirada de (HOLME; SARAMÄKI, 2012).

## 2.2 Visualização da Informação

Com a evolução da tecnologia e com uma grande capacidade de armazenamento, com os dispositivos móveis e *Internet of Things* (IOT), há diversos aplicativos monito-

rando nossas rotinas e produzindo e coletando mais diversos tipos de dados. Esses dados se somente armazenados não produzem conhecimento, não contribuem para tomadas de decisão e não nos mostram padrões ou tendências. Para análise desses dados, a utilização de imagens e gráficos é uma ótima alternativa, pois o sistema visual humano é um ótimo para reconhecer padrões em formas e cores (NASCIMENTO; FERREIRA, 2011). A visualização da informação é a área do conhecimento que utiliza representação visual de dados de um determinado domínio aumentando a capacidade de percepção e compreensão do homem, deduzindo novos conhecimentos (FREITAS et al., 2001). Essa área do conhecimento obteve destaque após o surgimento das interfaces gráficas, presente nos computadores dos dias atuais, possibilitando a construção estruturas de visualização (DIAS; CARVALHO, 2007). Com o auxílio da computação podemos produzir gráficos mais intuitivo e interativos aumentando a potencialização da informação. No contexto de redes temporais, diferentes representações visuais podem ser adotadas para melhorar a cognição do usuário e possibilitar identificação de padrões, tendências e anomalias de forma mais rápida e confiável (FARRUGIA; QUIGLEY, 2011). Essas representações podem ser divididas basicamente em duas categorias (BECK et al., 2016): as visuais animadas e aquelas baseadas na linha do tempo (representações *timeline*). Exemplos de ambas as categorias serão apresentados a seguir.

### 2.2.1 Representações visuais animadas para redes temporais

Dentre as maneiras de representações temos as que são animadas. As redes do mundo real estão sempre em evolução, com adição de novos nós e relações se formando, sendo a animação uma das melhores formas de apresentar informações temporais (FARRUGIA; QUIGLEY, 2011). Nesse trabalho será apresentada duas formas de representação animada, a Representação Estrutural e a Representação Matricial.

Um exemplo da visão estrutural (também conhecido como diagrama de nós e arestas), pode ser visto na Figura 2, onde os nós são representados pelos círculos e a conexão entre dois nós (aresta) se dá por uma linha que é desenhada entre eles. Sem animação, todos os instantes de tempo são considerados de uma única vez e então podemos analisar a rede como todo, por exemplo para saber quais nós apresentam mais conexões e quais nós possuem conexões entre si (LINHARES et al., 2017). Na animação os quadros são atualizados a cada instante de tempo. Apenas os nós e arestas ativos são representados na animação e os nós e arestas anteriores podem ainda serem exibidos com diferentes grau de opacidade, facilitando a compreensão das mudanças (PONCIANO, 2020).

No exemplo da Figura 3, é ilustrado como funciona a animação: no instante de tempo 0, A interage com B, e só os dois nós ficam ativos; no instante 1, A e B interagem novamente e os nós C e D ficam ativos; no instante 2 o nó A comunica com D. Ainda no instante 2, é possível ver que o nó B e C estão mais opacos, indicando que eles estavam

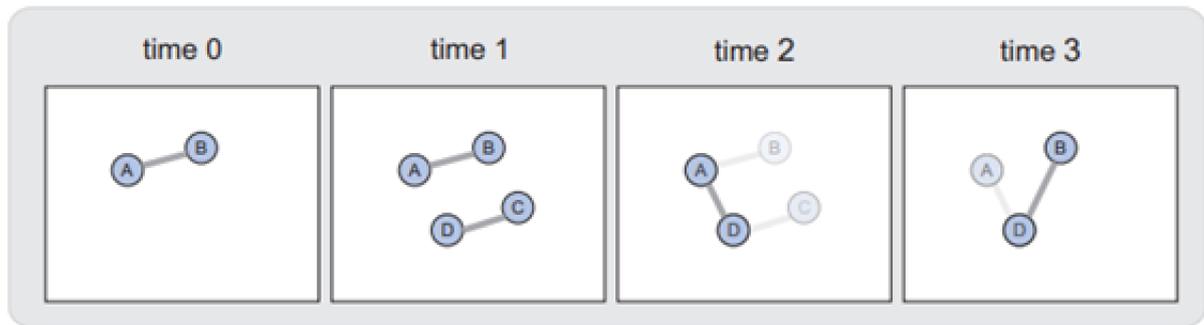


Figura 3 – *Frames* de animação da Visão Estrutural. Figura retirada de (PONCIANO, 2020).

ativos no passado recente da animação, ajudando no mapa mental do usuário. Como discutido, isso faz com que seja mais fácil a interpretação do usuário sobre as mudanças que estão ocorrendo na rede. No instante 3, o nó A fica mais opaco e os nós B e D ativos.

	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

Figura 4 – Representação Matricial. Os índices da matriz representam os nós e as células são destacadas (em azul) quando há arestas na rede.

Outra representação é a do tipo matriz. Ela representa uma matriz de adjacências, quadrada e simétrica, caso a rede seja não-direcionada. Sempre que uma aresta surge, a célula correspondente aos nós envolvidos (localizados por meio dos índices da matriz) é destacada (por meio de uma coloração diferente da cor de fundo) (PONCIANO, 2020).

Desconsiderando a informação temporal (analisando, portanto, a rede agregada sem animação), pode-se perceber, no exemplo da Figura 4, que A se comunicou apenas com B; B comunicou com A, C e D; o nó C, interagiu com o B e D; o nó D interagiu com B e C.

Na animação da matriz cada instante de tempo os nós ativos são destacados, demonstrando a comunicação entre os nós. Na Figura 5, no instante 0 há a comunicação entre os nós A e B, no próximo período temos a comunicação entre A e B novamente e C com D, no instante 2 a comunicação entre A e D e finalmente B com D. Como esperado,

e tal como ocorre com a Visão Estrutural animada, a quantidade de informação exibida a cada instante de tempo é menor que a quantidade da rede agregada. Essa redução colabora para uma menor poluição visual e ajuda na percepção de padrões temporais.

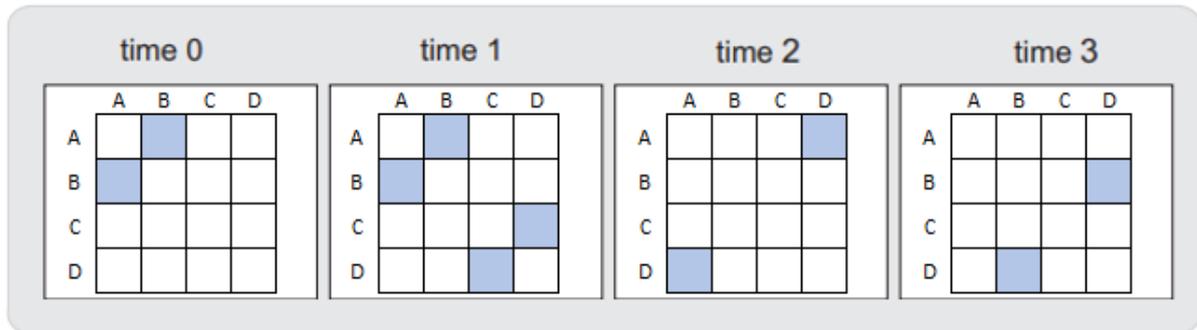


Figura 5 – *Frames* de animação da Matriz.

Note que se não utilizadas as animações, as representações estão apenas representando uma rede complexa, sem informação do instante de tempo em que houve a comunicação. A análise da evolução da rede, como mencionado anteriormente, depende da adição da dimensão temporal na análise. A compreensão de representações animadas, incluindo as duas aqui apresentadas, é altamente dependente da velocidade com que a animação é exibida. Se ela ocorrer muito rápido, o usuário pode não ser capaz de acompanhar as mudanças de forma satisfatória (LINHARES et al., 2021). Ferramentas de interação que possibilitem ao usuário controlar essa velocidade são, portanto, bem-vindas.

## 2.2.2 Representações *timeline*

Nas representações *timeline* as informações são apresentadas de uma única vez para quem está analisando, não necessitando lembrar como foram os instantes anteriores como ocorrem nas animações. Serão contempladas neste trabalho a Visão Temporal, conhecido também como *Massive Sequence View* (MSV), o Mapa de Atividade Temporal (MAT) e o diagrama aluvial.

### 2.2.2.1 Visão Temporal

A visão temporal baseia-se em um *layout* que usa o eixo das abcissas para representar o tempo e o eixo das ordenadas para representar os nós. Nessa representação, as retas verticais que ligam os nós em determinados instantes de tempo representam as arestas da rede temporal (LINHARES et al., 2017). Na Figura 6 é possível observar os nós A, B, C e D dispostos verticalmente, e na parte superior os instantes de tempo. Note que no instante 0 há apenas a interação dos nós A e B, no instante 1 a interação dos nós A e B novamente e de C e D e assim sucessivamente em todos os períodos.

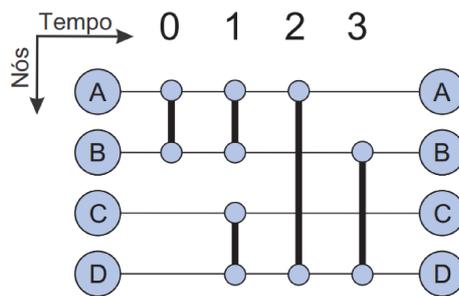


Figura 6 – Visão temporal de uma rede temporal. Figura retirada de (LINHARES et al., 2017).

### 2.2.2.2 Mapa de Atividade Temporal

O Mapa de Atividade Temporal (MAT), tem aspecto que se assemelha à visão temporal, mas tem proposta diferente de mostrar somente a atividade temporal. Os nós que antes eram redondos, passam a ser quadrados. Assim como na Visão Temporal, diferentes cores podem ser utilizadas para mapear alguma característica ou propriedade dos nós, como, por exemplo, o grau. Todas as arestas são ocultadas nessa representação para reduzir a quantidade de informações visuais e permitir que a análise seja focada no nível de atividade dos nós (LINHARES et al., 2016).

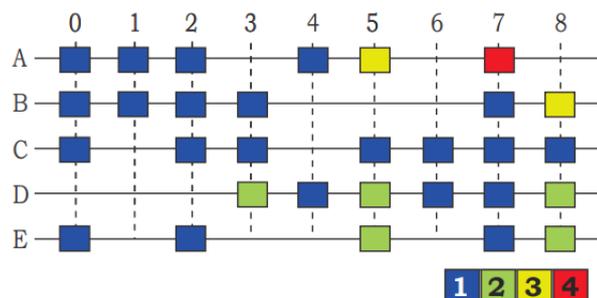


Figura 7 – Exemplo de Mapa de Atividade Temporal. Imagem retirada de (LINHARES et al., 2017).

Na Figura 7 é mostrado um exemplo do MAT utilizando cores para representar os graus dos nós. Como o maior grau é 4, as cores variam de 1 a 4. À medida que a comunicação aumenta, as cores variam de acordo com o grau do nó no instante. Por exemplo, o nó A começa com uma atividade pequena demonstrada pela cor azul de menor interação, já no instante 5 a cor mudou indicando uma atividade maior. No instante 7 a cor muda para o grau máximo, indicando uma grande atividade neste instante.

### 2.2.2.3 Diagrama Aluvial

Diagramas aluviais (também conhecidos como *Sankey*) são do tipo de fluxo, desenvolvido para representar as mudanças na estrutura de grupos ou comunidades ao longo

do tempo, por exemplo mudanças nas estruturas das disciplinas científicas ou mudanças no uso de palavras ao longo do tempo (YEUNG, 2018). Os dados da rede temporal são tratados a partir da análise da evolução de comunidades. Uma comunidade é formada por um grupo de nós que interagem mais entre si do que com outros grupos da rede (FORTUNATO, 2010). Em uma rede temporal, essas comunidades não são necessariamente imutáveis: elas podem se mesclar a outras ou se separar, e é possível também ter o surgimento de novas comunidades ou o desaparecimento de existentes. O diagrama aluvial é, portanto, uma representação visual focada no acompanhamento da evolução de comunidades ao longo do tempo.

Nos diagramas aluviais os grupos são representados como barras verticais, a altura de um bloco representa o tamanho da comunidade. Os fluxos entre os grupos são as mudanças ao longo do tempo. Na Figura 8 podemos ver um exemplo de diagrama aluvial (ROSVALL; BERGSTROM, 2010). Nele são apresentadas as principais mudanças na ciência médica. Para o desenvolvimento do diagrama foi utilizado uma rede de citações de revista científicas e artigos publicados. Os ciclos foram acumulados em anos assim podendo ser rastreado o fluxo de ideia (ROSVALL; BERGSTROM, 2010). Pode-se observar na Figura 8 as mudanças, como o fluxo de ideias evoluiu durante os anos e criou ramos da ciência médica, se fundindo com outras ciências ou separando e se tornando uma área madura.

Na Figura 8 podemos ver a evolução de áreas da medicina, por exemplo a Urologia se tornou uma ciência mais madura ao longo do tempo se despreendendo da Oncologia. Em destaque também uma fusão de ciências entre Psicologia, Neurologia e Biologia molecular e celular se fundindo e criando uma nova área a Neurociência (ROSVALL; BERGSTROM, 2010).

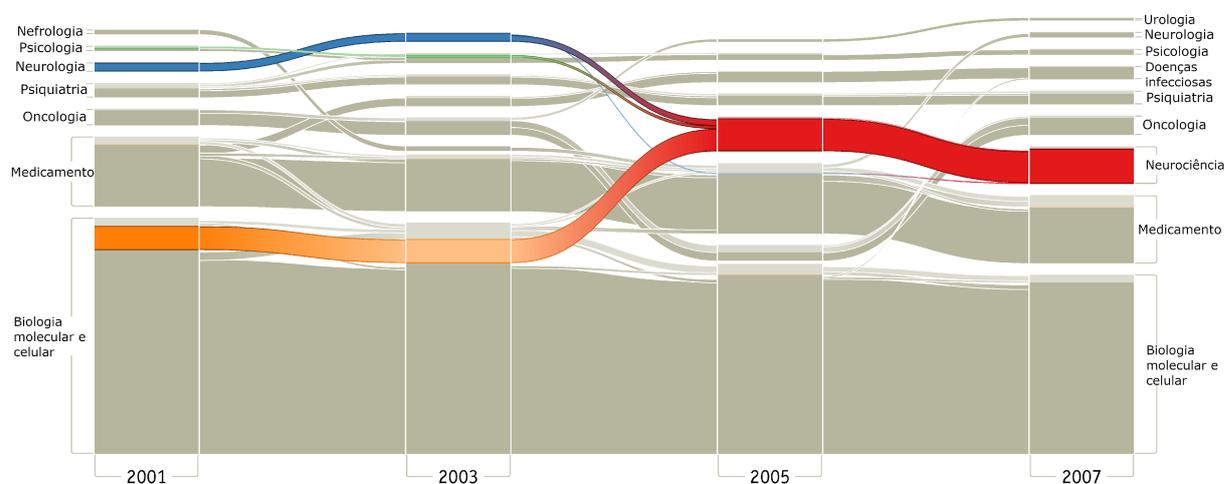


Figura 8 – Exemplo de diagrama aluvial. Figura adaptada de (ROSVALL; BERGSTROM, 2010).

### 2.2.3 Poluição Visual

A visualização de redes é uma ótima ferramenta para melhorar o processo de abstração de conhecimento, mas uma quantidade grande de nós e arestas pode gerar poluição visual e sobreposição, dificultando a análise dos dados. A Figura 9 ilustra um exemplo de poluição na visualização: com uma grande quantidade de dados e várias sobreposições, não conseguimos extrair nenhum tipo de informação.

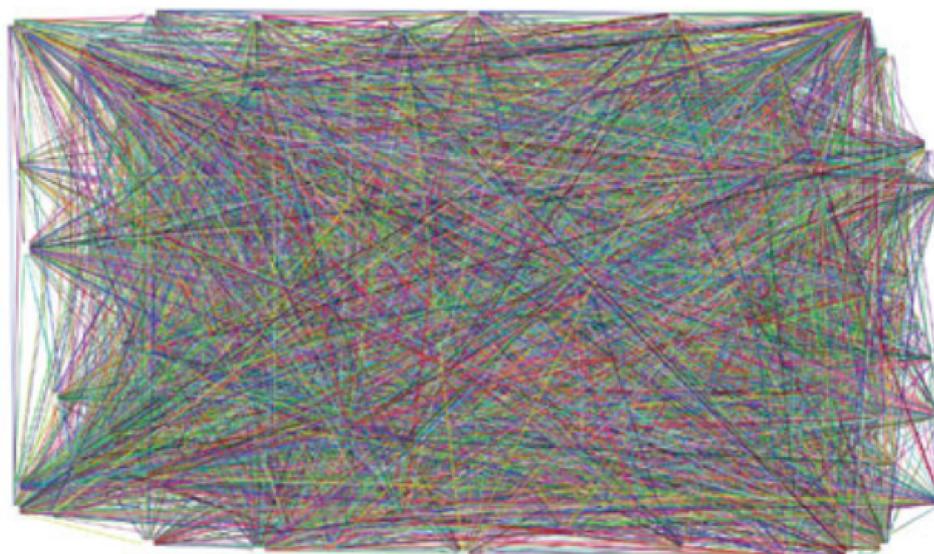


Figura 9 – Grande quantidade de dados pode gerar poluição visual. Figura retirada de (LI-NHARES et al., 2019).

Todos os layouts apresentados podem sofrer com poluição visual. Para minimizar esse problema, podem ser aplicadas algumas técnicas que ajudam na construção do modelo visual mais agradável reposicionando os nós e amostragem de arestas. A Figura 10 ilustra a importância de termos um posicionamento adequado de nós na representação Temporal. Na Figura 10(a) temos os dados tabulares da rede e na Figura 10(b) a visualização temporal dos dados da tabela com os nós dispostos de forma crescente de 1 a 4. Já na Figura 10(c) a mesma rede temporal, mas com ordenação trocadas, podemos ver que no período de tempo 2 houve sobreposição de informação, deixando a visualização um pouco mais poluída. A ordenação dos nós tem grande importância para diminuir a poluição e ajudar a obter informações mais precisas da visualização.

## 2.3 Trabalhos Correlatos

Em (HOLME; SARAMÄKI, 2012) é descrito como as redes nos ajudam entender, prever e otimizar sistemas dinâmicos. No trabalho também são categorizados tipos de redes temporais e apresentados limitações da visão estrutural. É apresentado a visão temporal conforme e visualizado na Figura 11, representação equivalente da estrutural,

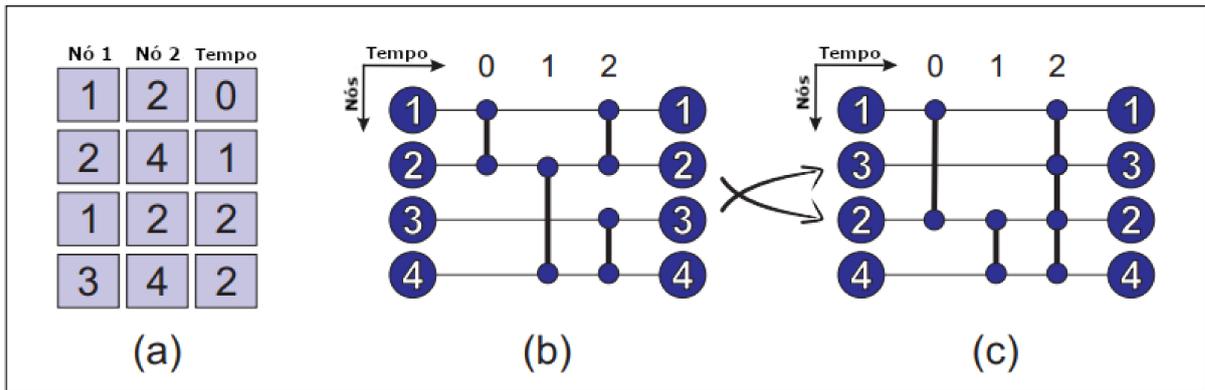


Figura 10 – Impacto da ordenação de nós na legibilidade da Visão Temporal. (a) Dados apresentados de forma tabular. (b) Representação na visualização temporal dos dados da tabela. (c) Mesma visualização de (a), mas com ordenação diferente. Figura retirada de (PONCIANO et al., 2020).

mas de forma temporal, as linhas horizontais são os nós que também estão coloridos e abaixo da representação estão os instantes de tempo em que houve a comunicação.

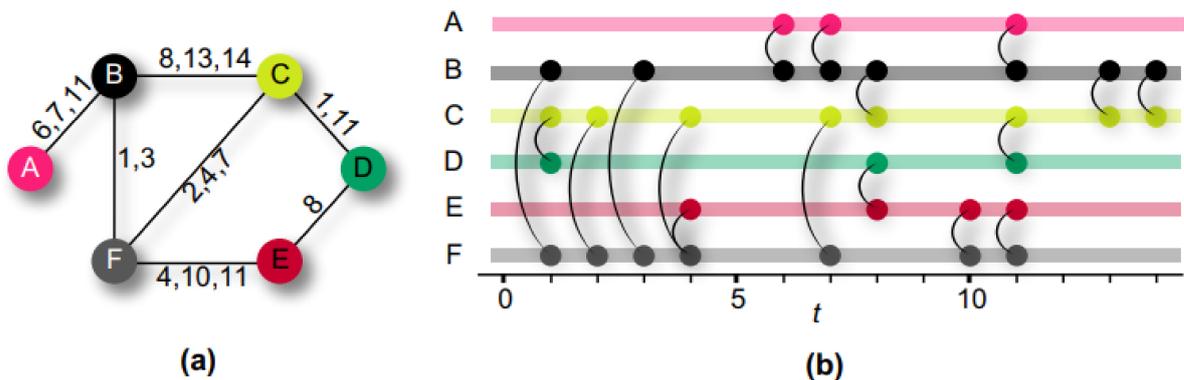


Figura 11 – Representação da visão temporal de (HOLME; SARAMÄKI, 2012). Em (a) a visão estrutural em (b) a visão temporal equivalente a (a). Figura retirada de (HOLME; SARAMÄKI, 2012).

Em (LINHARES et al., 2016) é apresentado um estudo de técnicas de visualização de redes temporais em diferentes cenários como escola, museu, conferências e hospitais. É apresentado também o sistema *Dynamic Network Visualization* (DyNetVis), que possibilita a realização de análises em redes temporais. Em (LINHARES et al., 2016) também é proposta a visualização MAT, comparando os ganhos que se pode obter com essa técnica e apresentando métodos de cálculos de grau e atribuição de cores. Na Figura 12 temos um exemplo de utilização de algoritmos de cores e a visualização MAT comparada com visão temporal. Na figura, (a) representa sem o algoritmo de cores, em (b) o algoritmo de cores é aplicado revelando cada grau do nó com as respectivas cores, em (c) a visualização MAT correspondente a visão temporal(b).

Em (ROSVALL; BERGSTROM, 2010) são relatadas as dificuldades em análise

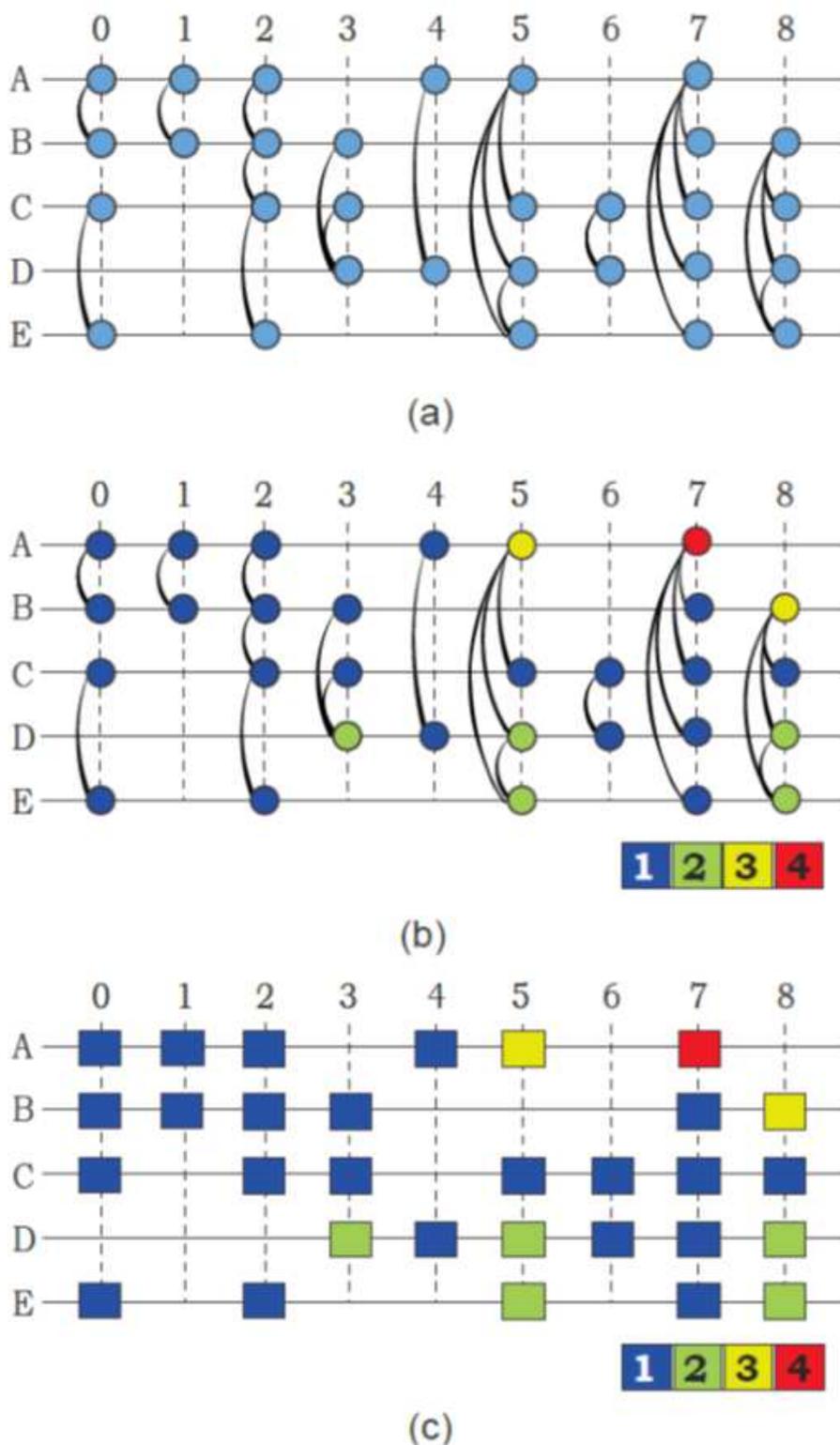


Figura 12 – Ilustração de algoritmo de cores e a representação da visualização MAT proposto por (LINHARES et al., 2016) em (a) representa sem o algoritmo de cores, em (b) o algoritmo de cores é aplicado revelando cada grau do nó com as respectivas cores, em (c) a visualização MAT correspondente a visão temporal (b). Figura retirada de (LINHARES et al., 2016).

de redes e técnicas utilizadas para análise. No trabalho é proposto um método de reamostragem e agrupamento. No exemplo utilizado pelos autores são utilizadas citações de periódicos para identificar os *clusters* que estão significativamente associados. Esse método é aplicado aos dados da rede para gerar os *clusters* de significância em dois momentos para capturar as modificações da rede e construir a visualização aluvial. O método descrito em (ROSVALL; BERGSTROM, 2010) pode ser visualizado na Figura 13 e consiste em quatro etapas, na primeira a rede é particionada em módulos em que cada nó está associado a apenas a um módulo, na segunda etapa é gerar o agrupamento, utilizando uma estimativa por reamostragem, a terceira etapa é no agrupamento de significância, a última é produção da visualização aluvial com os dados obtidos.

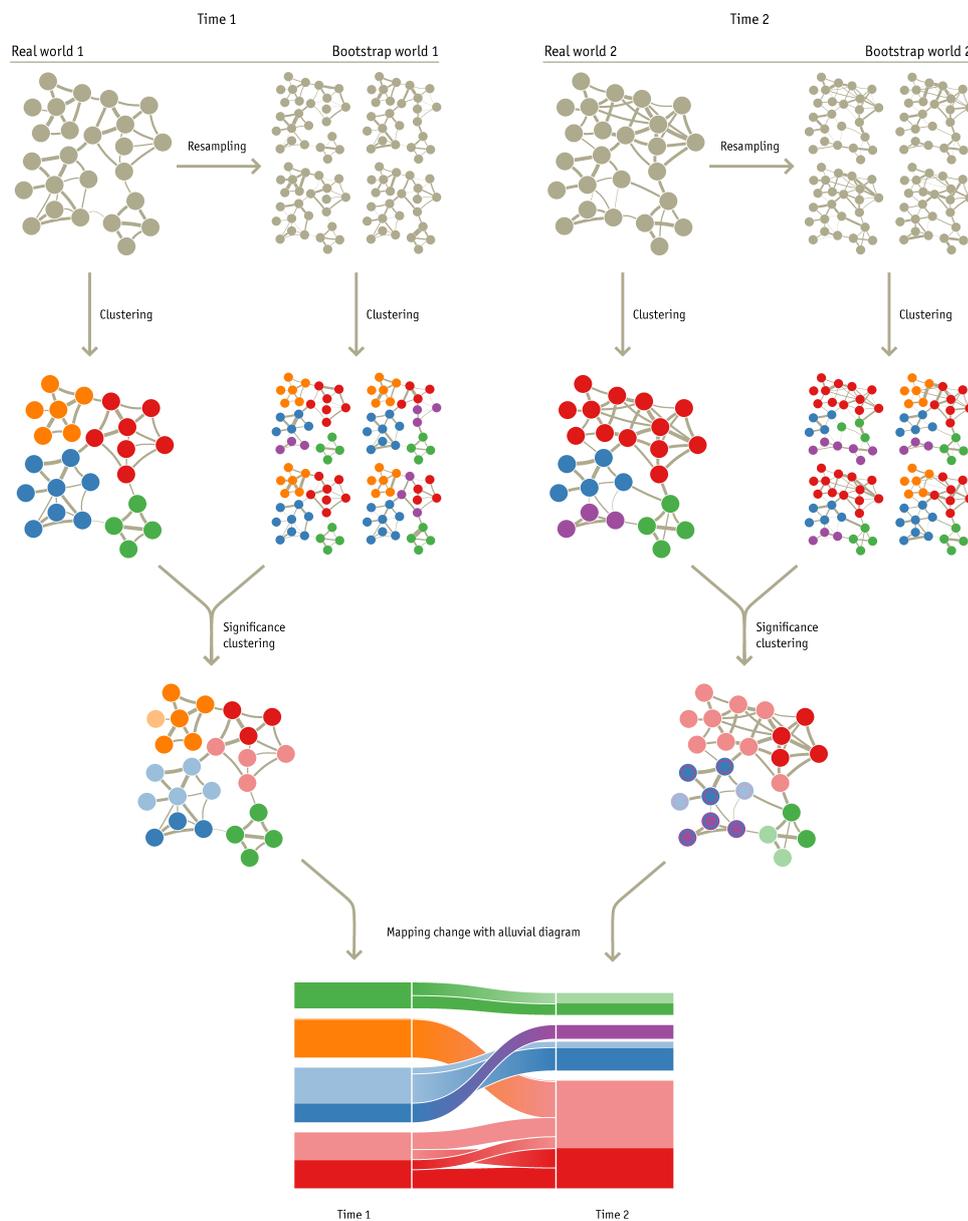


Figura 13 – Ilustração de algoritmo para gerar visualização aluvial proposto por (ROSVALL; BERGSTROM, 2010). Figura retirada de (ROSVALL; BERGSTROM, 2010).

## 3 Desenvolvimento

Neste capítulo serão apresentados as ferramentas utilizadas e um estudo de caso apresentando as análises das visualizações para identificar possíveis padrões em cada visualização.

### 3.1 Ferramentas utilizadas

Para gerar as visualizações e analisar as representações MSV, MAT, estrutural e a matricial citadas no capítulo anterior, foi utilizada a versão mais recente da ferramenta *open-source* DyNetVis, que suporta análises utilizando representações estruturais, animadas e *timeline* (LINHARES et al., 2020). Nessa ferramenta conseguimos mudar as ordenações, interagir com os layouts, visualizar animações e exportar as imagens das visualizações.

Para a representação do aluvial foi utilizado o website mapequation.org onde foram geradas as imagens (EDLER; ERIKSSON; ROSVALL, 2021). Para utilizar o mapequation.org, houve a necessidade de desenvolver um pequeno programa em Python para separar as datas e gerar os arquivos para gerar o gráfico aluvial. Essa rotina faz as separações de uma rede temporal de acordo com o período especificado, como semestral, trimestral, bimestral e mensal. Para isso é necessário o arquivo da rede e os momentos em que houve comunicação e o arquivo com os períodos com as datas. Foi utilizado nessa rotina a biblioteca infomap, que é um algoritmo de *clustering* de rede (definição de comunidades da rede). Todas as informações da rede são passadas pela rotina que gera os arquivos da rede.

### 3.2 Estudo de Caso: *Enron Corporation*

A rede temporal analisada é referente a trocas de e-mails entre funcionários da empresa Enron (*Enron Corporation*). A Enron era uma empresa norte-americana de energia elétrica. A empresa que em dezembro de 2000 as ações chegaram a ser negociadas a US\$84,97, colocando a empresa no grupo das 70 maiores empresas norte americanas (BONOTTO, 2010).

A Enron obteve um grande crescimento econômico devido a várias fraudes contábeis, que inflavam as receitas da empresa e escondia os prejuízos. Após descobertas das fraudes, já havia um rombo grande de dívidas. As ações da empresa despencam, em 16 de janeiro de 2002 e são retiradas da bolsa de Nova York, onde a Enron não consegue se

erguer e decreta falência em 2002 (BONOTTO, 2010).

Essa rede cumpria os requisitos de ser compatível com o DyNetVis e de possuir um índice com datas de envio das mensagens, o que permite separar as mensagens por período de tempo (e.g., ano, semestre, mês). Outro motivo da sua escolha foi pela grande quantidade de informações que podiam ser encontradas na internet, pois foi amplamente noticiada na mídia a falência da empresa.

A rede é composta por 148 nós e 24.667 arestas, considerando uma resolução de tempo de 1 dia. Os nós representam os funcionários e arestas a troca de e-mail entre eles. O período compreende entre 04/11/1998 e 11/07/2002 fazendo um total de 1345 *timesteps*.

### 3.2.1 Análise da visualização aluvial

Para a análise do aluvial serão utilizados quatro períodos de tempo: semestral, trimestral, bimestral e mês. Assim podemos ter uma variedade nos dados, podendo explorar mais as diferenças e padrões nessa visualização.

No aluvial semestral a representação pode ser vista na Figura 14. Nessa representação não é possível ver grandes mudanças, pois o gráfico fica com pouca informação para análise devido aos poucos períodos. Nos três primeiros semestres as comunidades estão muito compactadas. A partir do primeiro semestre de 2000 começou uma grande quantidade de alteração de fluxos, no início do primeiro semestre de 2001 os fluxos se tornam mais intensos.

O aluvial trimestral está representada na Figura 15. Nesse intervalo de tempo a visualização ficou mais espaçada e com mais informações para análise. Nos dois primeiros trimestres, observa-se grupos bem definidos e com comunicação constante. A partir do segundo trimestre do ano de 2000 há bastante alternâncias entre os grupos. Nota-se comportamento semelhante entre o segundo trimestre de 2000 e segundo trimestre de 2001.

Já no aluvial com período bimestral (Figura 16) o que chama a atenção é o período de estabilidade e com poucas comunicações entre o sexto bimestre de 1998 e o terceiro bimestre de 2000. O mesmo acontece entre o primeiro bimestre de 2001 e quarto bimestre de 2001. Neles, as comunicações entre os grupos se manteve em estabilidade com poucas trocas.

Por fim, na Figura 17, que representa o período mensal, a visualização está com muitas informações. Nos períodos entre novembro de 1998 e novembro de 1999 houve poucas interações e poucos grupos se formando. No mês de junho de 2000 foi onde iniciou o segundo maior grupo da série. Observa-se pouca interação entre setembro de 2000 e junho de 2001. A partir de junho há uma grande quantidade de comunicação e trocas

entre grupos.

Em todas as visualizações houve grande troca de informações no ano de 2001, justamente quando ocorreram muitos episódios como troca e renúncia de CEO e descobertas de irregularidades na empresa (PEDRINI; THIMÓTEO; PERIN, 2010).

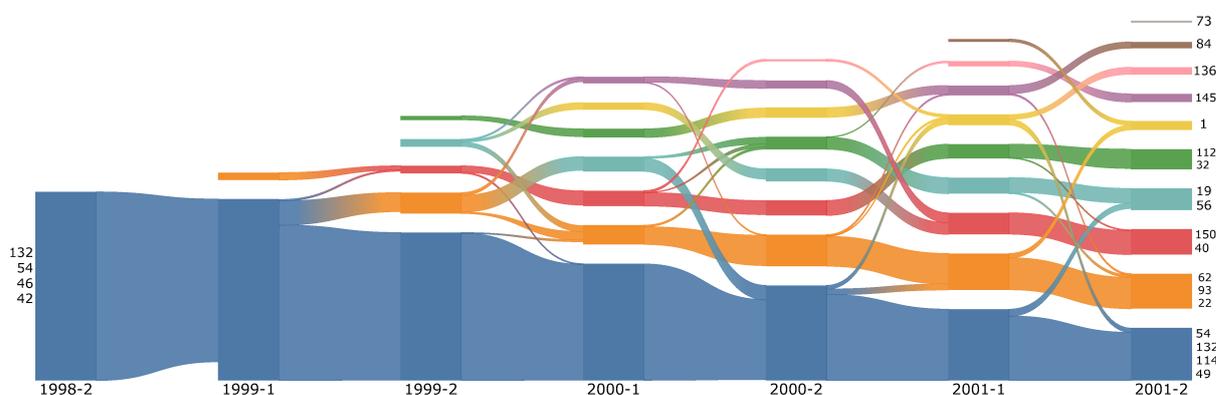


Figura 14 – Rede Enron: Visualização aluvial com período semestral.

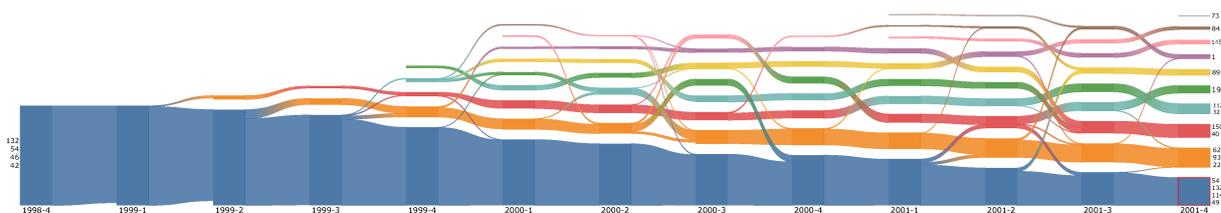


Figura 15 – Rede Enron: Visualização aluvial com período trimestral.

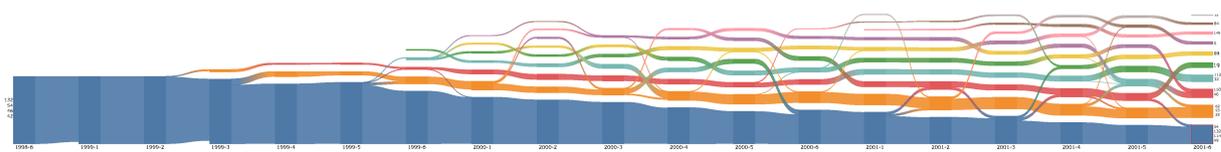


Figura 16 – Rede Enron: Visualização aluvial com período bimestral.

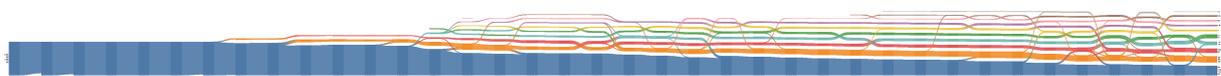


Figura 17 – Rede Enron: Visualização aluvial com período mensal.

### 3.2.2 Análise das representações *timeline*

As representações *timeline* analisadas são as MSV e MAT, representada na Figura 19 e Figura 20, respectivamente. Os nós foram ordenados utilizando a técnica de vizinhos recorrentes, aproximando os nós que mais se conectam, ou seja, posicionando os nós com maior quantidade de comunicação entre si mais próximos (LINHARES et al., 2017).

Com ordenação dos nós, fica mais fácil identificar alguns grupos. Visualizando o MSV como um todo observamos uma grande quantidade de informações. Dentre elas podemos perceber um padrão se formando com cinco períodos com muitas comunicações e dois períodos com pouca ou nenhuma comunicação, indicando os períodos de semana e final de semana respectivamente, esse detalhe pode ser visto na Figura 18. Podemos verificar que ano de 2001 foi o período com maior quantidade de interação entre os nós.

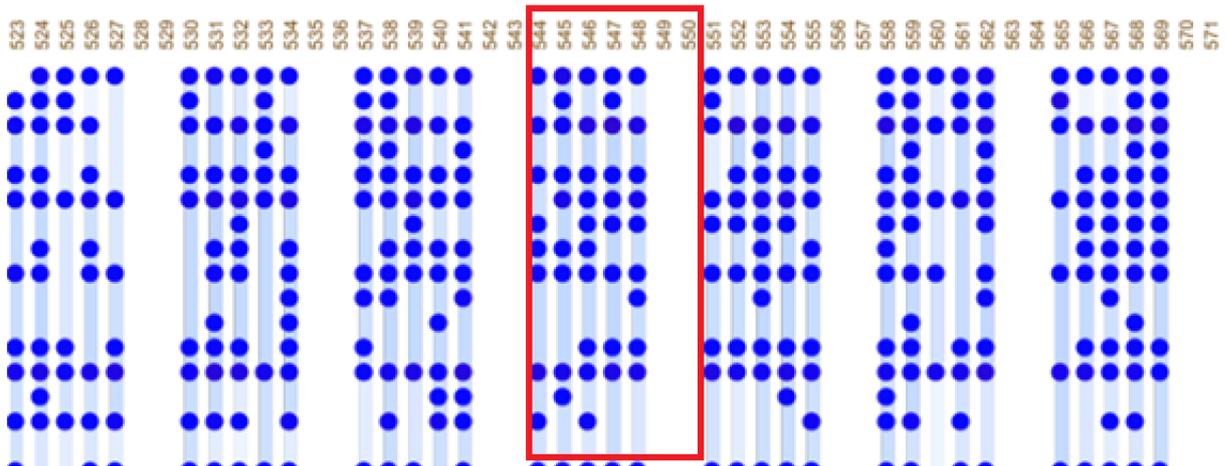


Figura 18 – Padrão com cinco períodos com muitas comunicações e dois períodos com pouca ou nenhuma comunicação, indicando os períodos de semana e final de semana respectivamente.

Já na visualização MAT (Figura 20), fica mais claro para ver o período com maior quantidade de comunicação em 2001. O que é justificando pois, foram os anos em que ocorreram diversas reviravoltas na empresa como entrada e saída do CEO, investigação e pedido de concordata da empresa (PEDRINI; THIMÓTEO; PERIN, 2010). Com a utilização de cores podemos identificar quais nós em determinados períodos houve maior comunicação, caso que ocorreu por exemplo no instante de tempo 1066 com o nó 7. Detalhe deste momento pode ser visto na Figura 21 Nesse instante de tempo, esse nó foi colorido com vermelho, indicando maior interação com ele.

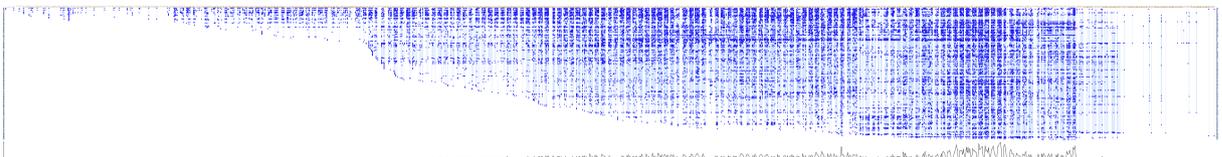


Figura 19 – Visualização temporal de troca de e-mails da empresa Enron do período de 1998 a 2001.

### 3.2.3 Análise da visualização estrutural e matriz

Nas visualizações animadas a percepção de padrões são mais difíceis de encontrar. No exemplo da Figura 22, são mostrados alguns *frames* da animação da visualizações do

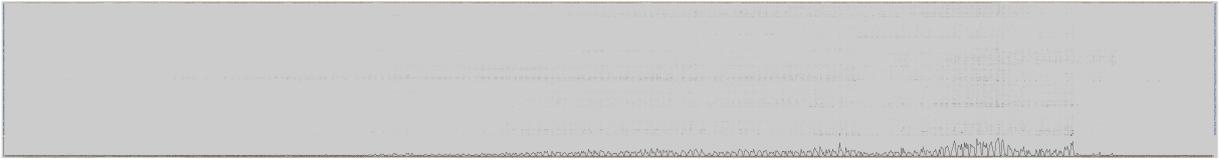


Figura 20 – Visualização MAT de troca de e-mails da empresa Enron do período de 1998 a 2001.

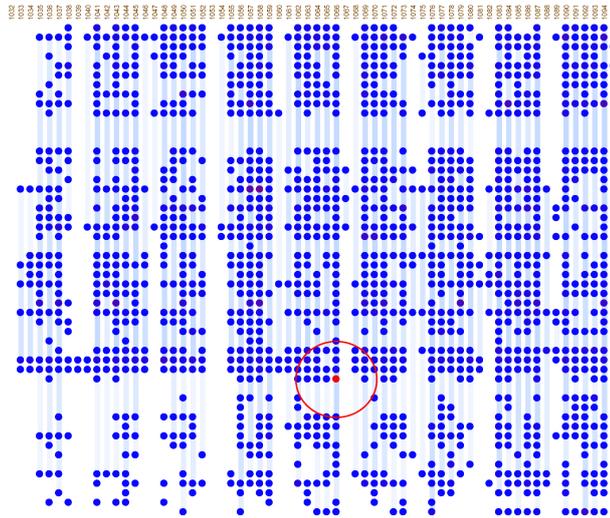


Figura 21 – Detalhe da visualização temporal com maior comunicação.

tipo matriz da rede da Enron. Para fazer a análise, foram privilegiados a ordenação por comunidade. Para entender melhor como são as comunicações e as cores dos grupos na Figura 22a é mostrada a matriz completa, com todas as comunicações, em que cada cor representa um grupo. Na matriz animada é perceptível ver um padrão com dois dias com pouca ou nenhuma interação, indicando os finais de semanas.

Outro padrão que foi possível identificar, está representado na Figura 22b, no *frame* demonstra que um nó comunica com vários nós no período. Outro padrão identificado é a comunicação entre os grupos, fica mais fácil a identificação das comunicações entre os grupos por exemplo na Figura 22c. Nela podemos ver que a comunicação nesse dia ficou apenas entre os grupos.

Outra visualização analisada é a estrutural, a visualização gerada utilizando a rede da Enron pode ser vista na Figura 23a. Na imagem não é possível identificar grandes informações, pois estão todos os nós juntos e acaba gerando uma grande poluição visual. Ao avaliar a animação na visualização pode-se obter mais informações. Na animação estrutural, é possível identificar os finais de semana. A ordenação pelo algoritmo de força, ajustando os nós de forma mais agradável, representado na Figura 23b, conseguimos identificar pelo menos quatro grupos.

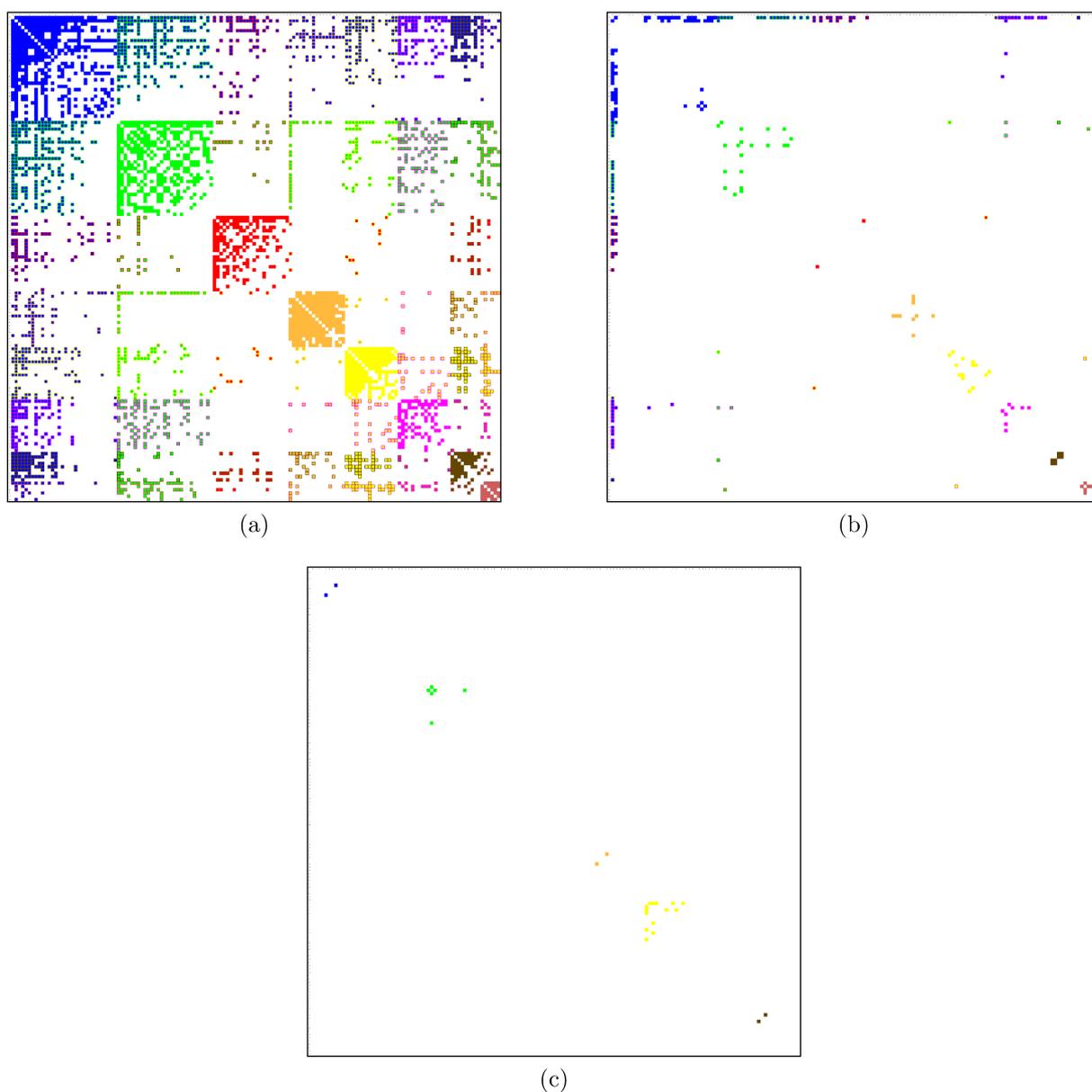
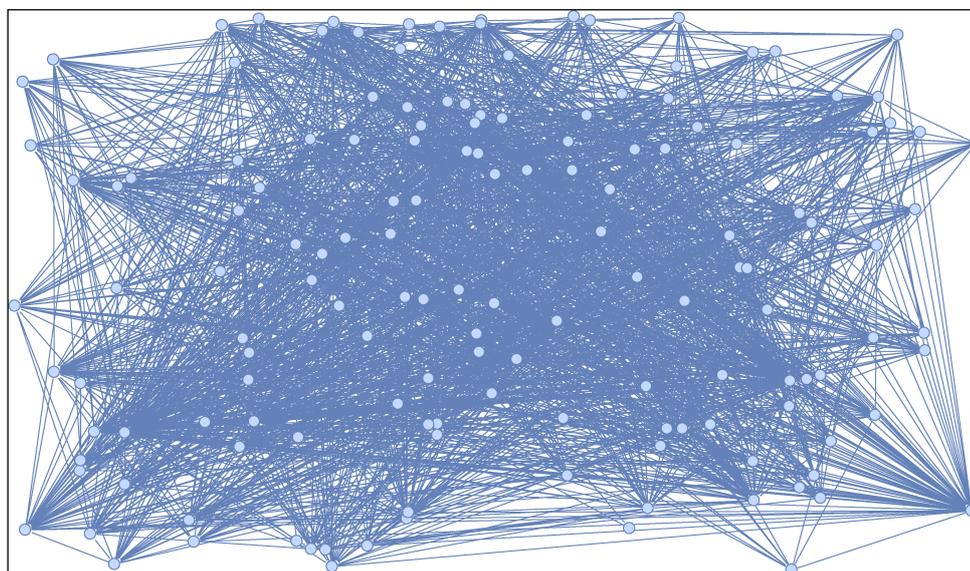
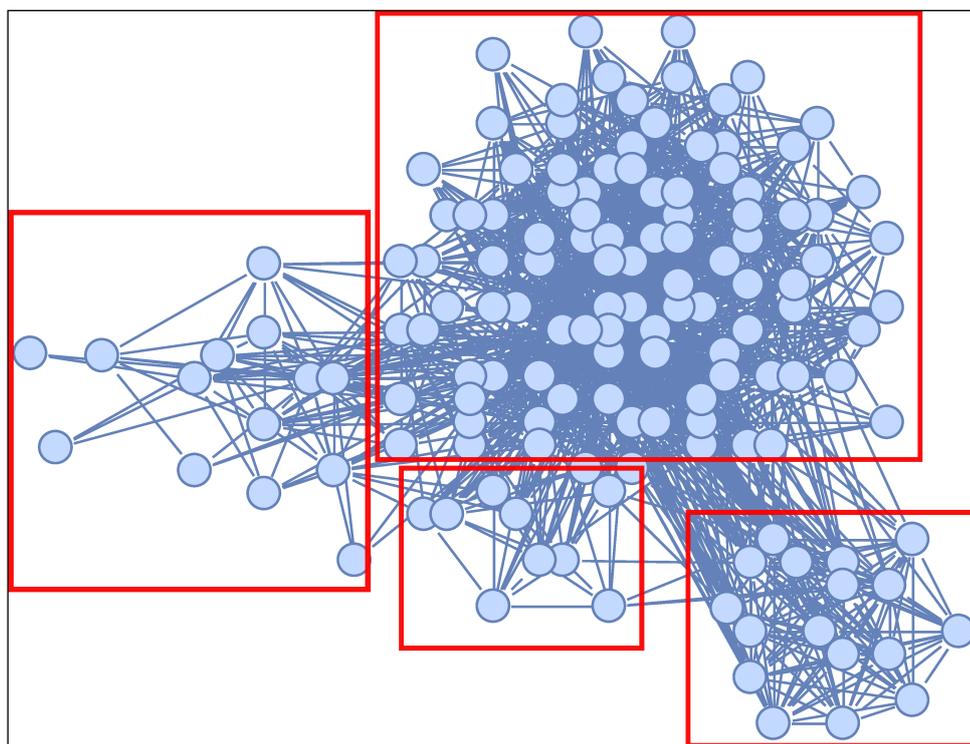


Figura 22 – *Frames* da visualização matricial da rede Enron. (a) Matriz com todas as comunicações da rede e com os grupos com cores distintas. (b) Instante de tempo em que um nó faz comunicação com vários nós. (c) Momento em que há comunicação somente dentro dos grupos.



(a)



(b)

Figura 23 – Visualização estrutural da rede Enron. (a) Visualização estrutura sem posicionamento de nós definido (aleatório). (b) Visualização estrutural definido utilizando o algoritmo de força.

## 4 Discussão

Como visto no Capítulo 2, a ordenação dos nós é de grande importância para reduzir a poluição visual e conseguir retirar informações. Na Figura 23a podemos ver que sem ordenação há bastante poluição e não conseguimos retirar grandes informações da visualização. Já na Figura 23b ordenando para privilegiar os grupos, vemos a formação de alguns grupos. Nessa visualização a identificação de grupos ficou mais evidente que nas outras analisadas.

Na visualização estrutural pode-se observar a rede como um todo, analisar ela inteira, pois são apresentados todos os nós e todas as comunicações. Na utilização de *frame* por *frame* disponível no DyNetVis, é possível verificar de forma mais limpa em relação as outras visualizações, pois é apresentada somente as comunicações do instante de tempo. Com a ordenação por grupos, é possível verificar os nós que fazem parte do grupo, e comparar em outras visualizações.

Com a seleção dos grupos podemos por exemplo utilizar a visão temporal para analisar quando foram as primeiras interações do grupo e a evolução durante o tempo. A seleção do grupo seria de mais difícil identificação na visualização temporal. O mesmo pode ser feito no mapa de atividade temporal (MAT), para analisar qual foi o período com maior atividade desse grupo por exemplo. Por outro lado, analisando as visualizações *timeline*, podemos identificar os finais de semana muito facilmente, o que não seria possível na estrutural sem uma animação.

Com relação ao diagrama aluvial, podemos identificar como foram os fluxos e a concentração dos grupos, como foram aparecendo e se fundindo em novos grupos. Esse tipo de informação é não é possível verificar nas outras visualizações.

A visualização matricial facilita ver as comunicações entre os nós. Pode-se ver com mais clareza com quem em determinado momento o nó se comunicou. É possível verificar como estão as comunicações entre os grupos. Essas percepções seriam dificilmente encontradas nas outras visualizações.

Analisando os pontos identificados, os padrões e cada vantagens de cada visualização, há uma complementariedade. Cada uma das visualizações consegue contribuir trazendo informações diferentes. Conseguimos obter mais informações e vantagens de identificações de padrões que dificilmente teríamos utilizado somente uma visualização.

## 5 Conclusão

Estratégias de visualizações são técnicas que facilitam as obtenções de informações. Com a quantidade de informações armazenadas e a crescente popularização das redes sociais, é necessário a aplicação de técnicas que ajude a entender melhor esses dados. A visualização da informação se torna importante nessa contribuição, pois faz uso de gráficos e imagens e a obtenção de informação é mais intuitiva.

No trabalho foi utilizado um estudo de caso de uma rede de troca de e-mails entre funcionários da empresa Enron. As visualizações foram feitas utilizando o software DyNetVis e para a visualização aluvial o site mapequation.org.

A pesquisa teve como objetivo analisar as diferenças e a complementaridade de visualizações de redes temporais que possam se complementarem. Conseguimos atingir o objetivo com a análise deste trabalho, pois foi possível verificar que as diferentes visualizações obteve diferentes informações e confirmações de alguns padrões.

Os objetivos de aplicar a visualização da informação em redes temporais foi atendido. Foram demonstradas algumas visualizações muito utilizadas em trabalhos relacionados a visualizações. As comparações entre as visualizações demonstrando as vantagens e dificuldades também foi verificada e padrões identificados.

A hipótese inicial era que é possível obter mais informações utilizando diferentes tipos de visualização, que poderiam se complementar na obtenção de informação. E como foi visto, conforme analisado nas visualizações, é possível tirar diferentes informações e uma visualização complementa a outra. Também dependendo do tipo de dado que se queira retirar uma visualização pode-se sair melhor em relação a outra.

A Visualização da informação ainda é pouco explorada na graduação em Sistemas de Informação. Essa limitação faz com que vários alunos desconheçam esse tema, o que dificulta bastante encontrar trabalhos relacionados ao assunto. Outra limitação foi a utilização de apenas uma rede devido ao prazo limitado para conclusão do trabalho. Como sugestão para próximas pesquisas é ampliar a quantidade de redes e a inclusão de novas visualizações, com isso pode-se obter mais complementariedade nas informações e aprofundar as análises.

# Referências

- ANTIQUERA, L. et al. Modelando textos como redes complexas. In: *Anais do III Workshop em Tecnologia da Informação e da Linguagem Humana*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 22–26. Citado na página 11.
- BECK, F. et al. A taxonomy and survey of dynamic graph visualization. *Computer Graphics Forum*, v. 36, n. 1, p. 133–159, 2016. ISSN 1467-8659. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/cgf.12791>>. Citado na página 13.
- BONOTTO, P. V. As fraudes contábeis da enron e worldcom e seus efeitos nos estados unidos. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- DIAS, M. P.; CARVALHO, J. O. F. d. A visualização da informação e a sua contribuição para a ciência da informação. *Revista de Ciência da Informação*, v. 8, n. 5, p. 01–16, 2007. Citado na página 13.
- EDLER, D.; ERIKSSON, A.; ROSVALL, M. *The MapEquation software package, available online at <http://www.mapequation.org>*. 2021. Citado na página 22.
- FARRUGIA, M.; QUIGLEY, A. Effective temporal graph layout: A comparative study of animation versus static display methods. *Information Visualization*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 10, n. 1, p. 47–64, 2011. Citado na página 13.
- FEOFILOFF, P.; KOHAYAKAWA, Y.; WAKABAYASHI, Y. Uma introdução sucinta à teoria dos grafos. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- FIGUEIREDO, D. R. Introdução a redes complexas. *Atualizações em Informática*, p. 303–358, 2011. Citado na página 9.
- FORTUNATO, S. Community detection in graphs. *Physics Reports*, v. 486, n. 3, p. 75 – 174, 2010. ISSN 0370-1573. Citado na página 17.
- FREITAS, C. M. D. S. et al. Introdução à visualização de informações. *Revista de informática teórica e aplicada. Porto Alegre. Vol. 8, n. 2 (out. 2001), p. 143-158*, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 13.
- HOLME, P.; SARAMÄKI, J. Temporal networks. *Physics reports*, Elsevier, v. 519, n. 3, p. 97–125, 2012. Citado 5 vezes nas páginas 6, 11, 12, 18 e 19.
- LINHARES, C. et al. Análise temporal de uma rede de contato hospitalar utilizando técnicas de visualização de informação. In: *Anais do XVII Workshop de Informática Médica*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2017. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcas/article/view/3696>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 15 e 16.
- LINHARES, C. D. et al. Visualisation of structure and processes on temporal networks. In: *Temporal Network Theory*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 83–105. Citado na página 18.

- LINHARES, C. D. et al. Dynetvis: a system for visualization of dynamic networks. In: *Proceedings of the Symposium on Applied Computing*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 187–194. Citado na página 24.
- LINHARES, C. D. G. et al. Técnicas de análise visual de redes temporais. Universidade Federal de Uberlândia, 2016. Citado 6 vezes nas páginas 6, 9, 11, 16, 19 e 20.
- LINHARES, C. D. G. et al. DyNetVis - an interactive software to visualize structure and epidemics on temporal networks. In: *2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*. [S.l.]: IEEE, 2020. Citado na página 22.
- LINHARES, C. D. G. et al. A comparative analysis for visualizing the temporal evolution of contact networks: a user study. *Journal of Visualization*, Jun 2021. ISSN 1875-8975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12650-021-00759-x>>. Citado na página 15.
- NASCIMENTO, H. A. D.; FERREIRA, C. B. Uma introdução à visualização de informações. *Visualidades*, v. 9, n. 2, 2011. Citado na página 13.
- PEDRINI, C.; THIMÓTEO, L. G.; PERIN, L. P. Caso enron: Blecaute na gestão. *Intercom–Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, XI Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sul–Novo Hamburgo*, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- PONCIANO, J. R. *Improving visual analysis of streaming networks*. Tese (Doutorado) — Federal University of Uberlandia, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- PONCIANO, J. R. et al. Visual analysis of contact patterns in school environments. *Informatics in Education*, Vilnius University Institute of Data Science and Digital Technologies, v. 19, n. 3, p. 455–472, 2020. Citado na página 19.
- ROSVALL, M.; BERGSTROM, C. T. Mapping change in large networks. *PloS one*, Public Library of Science, v. 5, n. 1, p. e8694, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 6, 17, 19 e 21.
- WARE, C. Information visualization: Perception for design: Second edition. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2004. Citado na página 9.
- YEUNG, A. W. K. Data visualization by alluvial diagrams for bibliometric reports, systematic reviews and meta-analyses. *Current Science*, Indian Academy of Sciences. The Journal’s web site is located at [http://www . . .](http://www...), 2018. Citado na página 17.