

Grafos e Teoria de Redes: uma análise do Ensino de Física Brasileiro no período 1972-2006 por meio de cliques de palavras-chave

Graphs and Network Theory: an analysis of the teaching of Brazilian Physics in the period 1972-2006 through keyword cliques

Jefferson Oliveira do Nascimento¹, Hernane Borges de Barros Pereira², Marcelo Albano Moret³.

RESUMO

Para o estudo de padrões emergente em redes semânticas, podem ser utilizadas as métricas pertencentes às redes sociais e complexas. Este artigo tem como objetivo analisar uma rede semântica formada pelas palavras-chave, pertencentes às dissertações e teses apresentadas e defendidas em Ensino de Física no Brasil, entre os anos de 1972 a 2006. Descrevemos o método utilizado na construção da rede, o pré-processamento das palavras-chave e o processamento delas, com a utilização de *softwares*. Analisamos as propriedades da rede nos âmbitos local e global. Os resultados indicaram que a rede é *Scale Free* (livre de escala) e *Small-World* (mundo pequeno). Ademais, com o método proposto, constatamos que a maioria das temáticas em destaque na rede está relacionada com a formação do professor de física, com pesquisas voltadas em sua grande maioria, para a educação básica.

Palavras-chave: Sistemas Complexos, Modelagem Computacional, Teoria de Redes, Redes Semânticas, Ensino de Física.

ABSTRACT

For the study of emerging standards in semantic networks, the metrics belonging to social and complex networks can be used. This paper aims to analyze a semantic network formed by the keywords, belonging to the dissertations and theses presented and defended in Teaching Physics in Brazil, between the years of 1972 to 2006. We describe the method used in the construction of the network, in which the received initial treatment and later, with the use of software. We analyze network properties in the local and global scopes. The results indicated that the network is Scale Free and Small-World. In addition, with the proposed method, we found that most of the themes highlighted in the network are related to the formation of the physics teacher, with research focused mostly on basic education.

Keywords: Complex Systems, Computational Modeling, Network Theory, Semantic Networks, Physics Teaching.

¹ Mestre e Doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Departamento de Modelagem Computacional, CIMATEC – Salvador, BA, Brasil. E-mail: jeffersonascimento@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Multimídia (Universidade Politécnica de Cataluña). Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA. E-mail: hernanebbpereira@gmail.com.

³ Doutor em Biofísica (UFRJ). Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA. E-mail: mamoret@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Um sistema complexo é aquele que possui várias entidades individuais que interagem entre si de forma diversificada, obedecendo regras pré-estabelecidas locais e indiferentes a qualquer “instrução de nível superior” (TEIXEIRA, 2007, p. 38). Assim, uma propriedade observada nesses sistemas é a da emergência, em que, partindo das interações individuais das entidades que o compõem (comportamento local), passa a ser originado um comportamento perceptível que represente o todo (comportamento global) (ibidem). Porém, o todo não é constituído pelo somatório das partes interagem entre si, apresentando-se maior, em um sistema complexo. Este fato se deve à observação de que as interações das entidades individuais são não-lineares, ou seja, não é mais válido o princípio da superposição que verificam os sistemas complexos: o resultado deste comportamento emergente é comumente imprevisível e seu estudo se torna de fundamental interesse nas supracitadas áreas científicas (MOYANO, 2006; BAPTESTINI, 2006). Oliveira (2003, p. 83) sugere que sistemas complexos são:

[...] sistemas formados por muitas unidades simples, porém interligadas entre si, de forma que uma influencia o comportamento das outras. A complexidade do todo decorre desse entrelaçamento de influências mútuas, à medida que o sistema evolui dinamicamente. Modelos desse tipo vem sendo estudados nos últimos dez anos, através de simulações em computador”.

Para Svaiter apud Nussenzveig (2003, p. 197) os sistemas complexos são aqueles “[...] cuja evolução é descrita por leis bastante simples, mas cujo comportamento final resulta complicado, embora não caótico”. O caráter caótico até pode ocorrer quando o sistema for perturbado minimamente, mas não há como avaliar como irá ocorrer seu comportamento a longo prazo (ibidem). A investigação dos sistemas complexos ocorre por meio do formalismo matemático de sistemas dinâmicos, através de equações diferenciais, equações por meio de diferenças, mapas logísticos, autômatos celulares, redes dinâmicas (teoria de redes), etc. (ibidem), cuja ferramenta fundamental é a utilização de recursos computacionais (MOYANO, 2006; TEIXEIRA, 2007; CUNHA, 2013, NASCIMENTO et al., 2018). Então, por conta das dificuldades encontradas e relacionadas aos estudos desses sistemas que se apresentam “[...] fora do equilíbrio, a única ferramenta disponível, na prática, é o computador” (OLIVEIRA, 2003).

O exposto até aqui não corresponde uma definição de sistemas complexos, haja vista não encontrarmos na literatura científica uma única concepção teórica sobre o que ele é. Contudo, os supracitados autores indicam as seguintes propriedades para um sistema complexo: partes que se relacionam entre si; interação com o meio; adaptação ao meio; tratamento da informação em vários níveis; ordem emergente; propriedades coletivas emergentes, resultando em novos comportamentos causados pela interação entre as partes; quebra de ergodicidade; criticalidade auto-organizada, caos, estrutura fractal, seguem uma lei de potência, dentre outras.

Como mencionado, os sistemas complexos apresentam a interação de várias entidades entre si, ocorrendo então a emergência de propriedades que resultam no comportamento do todo. Quando temos um texto, as entidades correspondem as unidades significantes ou palavras, e a sua interação ocorre por meio das sentenças do texto (CALDEIRA, 2005). Dependendo das diversas interações que uma palavra tenha com outras palavras em um texto, ela poderá apresentar diferentes significados (ibidem). O discurso então corresponde a emergência resultante das diferentes interações entre os significantes no texto, um sistema complexo (CUNHA, 2013). Seguindo este pensamento, Aguiar (2009, p. 18) também ratifica a construção textual como um sistema complexo:

A linguagem humana pode ser vista como um fenômeno em que signos linguísticos com significados próprios são organizados de forma a gerar uma estrutura com significado diferente da soma de cada unidade linguística. Isto significa que é possível analisar o fenômeno linguístico como um fenômeno complexo, a partir da emergência de uma propriedade global originada da compreensão de uma construção sintática (a sentença) proveniente da interação e organização de unidades linguísticas (as palavras). Da mesma forma que a compreensão de uma única sentença de um texto não é capaz de refletir toda a mensagem deste texto.

Para Aguiar (2009), as unidades significantes ou palavras são denominadas como signos linguísticos ou unidades linguísticas. Pelo exposto, o sistema complexo formado pela interação entre as palavras pertencentes aos conjuntos de cliques de palavras-chave advindas das produções científicas do Ensino de Física Brasileiro (dissertações e teses), estão sendo estudadas nesta pesquisa por meio da Teoria de Redes.

Os títulos de trabalhos científicos correspondem a uma importante e inicial demonstração de um conteúdo técnico que se discutirá no texto de uma produção científica (CUNHA, 2013). Ele é composto por palavras selecionadas pelos autores, na busca de uma representação sintética e fidedigna das ideias que serão apresentadas no corpo do trabalho (ibidem). Esta lógica utilizada para os títulos também pode ser

expandida para as escolhas relacionados às palavras-chave, pertencentes aos trabalhos científicos (artigos científicos, dissertações e teses). Assim, podemos realizar estudos com base na interação das palavras-chave encontradas neste tipo de produção.

Uma dessas possibilidades de realizarmos estes estudos é partirmos do alicerce fornecido pela Teoria de Redes (Redes Sociais e Complexas), por meio de redes semânticas. Conforme Cunha (2013, p. 4) uma rede semântica “[...] é o nome dado a rede de relacionamentos entre palavras ou conceitos e sua análise quantitativa torna-se mais uma contribuição para o estudo da linguagem”. Desta forma a definição de rede semântica que norteia a pesquisa deste artigo é a apresentada em Rosa et al. (2017): é um sistema utilizado para representar o conhecimento imbuído de intenção de funcionalidade e estabelecido pelo contexto. Uma rede semântica é composta de palavras, conceitos ou entidades com significado semântico e seus relacionamentos e, é representada pela Teoria dos Grafos.

Desta forma, inspirado em Fadigas et al. (2009) e Pereira et al. (2011), este artigo tem como objetivo investigar a utilização de palavras-chave como elementos auxiliares para identificar a principal temática de dissertações e teses na área de Ensino de Física no Brasil, para o período entre 1972 e 2006. Para tanto, buscamos um sistema complexo que contemplasse a interação entre palavras-chave das dissertações e teses supracitadas; optamos pelas redes semânticas complexas. A realização da presente pesquisa foi teoricamente fundamentada pela teoria dos grafos e pela teoria de redes.

De modo a atingir o objetivo do artigo, construímos a rede semântica das palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física; calculamos os índices das redes complexas e a centralidade de grau e proximidade pertencentes às redes sociais; verificamos os vértices que correspondem a pontos de cortes na rede, caracterizamos topologicamente a rede e verificamos às implicações fornecidas por esse modelo computacional para o contexto principal da fonte de dados: o Ensino de Física Brasileiro.

A teoria dos grafos, as análises das medidas de importância dos vértices pertencentes às redes sociais e a teoria das redes complexas, têm sido utilizadas na literatura científica com o intuito de investigar variados tipos de redes. Nesse viés, destacamos algumas obras da literatura científica de estudos relacionados às redes semânticas, realizados por Caldeira (2005), Fadigas et al. (2009), Pereira et al. (2011), Cunha (2013), Fadigas e Pereira (2013), Pereira et al. (2016), Rosa et al. (2017), Costa et al. (2017), Nascimento et al. (2017).

Na pesquisa de Caldeiras (2005), a autora partiu da hipótese fundamental que a estrutura de conexão entre as palavras de um texto escrito representa, de forma simplificada, a topologia da rede de conexões das representações-objeto. Desta forma, ela utilizou a teoria das redes para analisar a dinâmica de escrita de textos individuais, em busca de propriedades emergentes. Fadigas et al. (2009) utilizaram a teoria de redes para descrever e analisar redes semânticas construídas a partir dos títulos de artigos de periódicos brasileiros de divulgação na área de educação matemática. Pereira et al. (2011) propuseram uma discussão com a utilização de redes semânticas baseadas em títulos de periódicos como um método para analisar a eficiência da difusão da informação. Cunha (2013) objetivou em sua pesquisa diferenciar periódicos científicos a partir das redes de palavras baseadas em títulos de artigos científicos tanto em redes estáticas quanto em Grafos que variam no tempo.

Fadigas e Pereira (2013) apresentaram em suas pesquisas um conjunto de índices e um método para se caracterizar o fenômeno mundo pequeno (*Small-World*) em redes de cliques. Pereira et al. (2016) estudaram o comportamento da medida de densidade em redes semânticas de títulos, com o intuito de indicar a diversidade de conceitos utilizados em uma base de dados de periódicos científicos em diversas áreas do conhecimento. Rosa et al. (2017) apresentaram um estudo sobre como a estrutura das redes semânticas de cliques baseadas em títulos de artigos se comportam quando as estratégias de remoção de vértices são aplicadas a este tipo de rede. Costa et al. (2017) propuseram um modelo computacional para investigar a difusão do conhecimento na área da Física, tendo como base de dados a produção intelectual dos docentes e discentes ligados a quaisquer Programa de Pós-graduação. O modelo computacional foi alicerçado na Teoria dos Grafos, Teoria de Redes, Sistema Complexos e Engenharia de Software para a construção de redes de colaborações científicas.

Nascimento, Pereira e Moret (2017) propuseram e apresentaram um estudo de Ensino de Física Brasileiro por meio da teoria de redes. O objetivo da pesquisa correspondeu a descrever e analisar uma rede semântica formada pelas palavras-chave pertencentes aos trabalhos de mestrado e doutorado realizados na área de Ensino de Física, entre os anos de 1996 a 2006, no Brasil. A pesquisa apresentou dois métodos de pré-processamento das palavras-chave, analisou o impacto dos métodos na análise dos dados e fez aplicações do método adequado ao Ensino de Física. Nascimento et al. (2017) apresentam um estudo de redes semânticas baseado em palavras-chave na área de ciências dos materiais. A fonte de dados correspondeu aos anais do Congresso

Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foram construídas e analisadas as métricas de redes sociais e complexas para as áreas de material polimérico, material compósito, material metálico, material cerâmico e ensino de materiais.

Este trabalho está organizado em 4 seções. Na segunda seção, apresentaremos os matérias e métodos utilizados para a construção da rede semântica complexa. Na terceira seção, abordaremos os resultados e a discussão sobre a rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro. Na quarta sessão, apresentaremos nossas considerações finais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizamos o primeiro, segundo e o terceiro volumes do Catálogo Analítico de Ensino de Física no Brasil: dissertações e teses que reúnem 891 “[...] referências de dissertações de mestrado, teses de doutorado e de livre-docência da área de Ensino de Física e correlatas, defendidas em instituições brasileiras [...]” (SALEM; KAWAMURA, 2009, p. 5), no período 1972-2006. Estes catálogos sintetizam a produção nacional na área de Ensino de Ciências, particularmente na área de Ensino de Física. Neste artigo consideramos o uso de palavras-chave como elemento principal para formar a rede semântica proposta.

Para representarmos uma rede semântica, utilizamos um grafo $G = (V, E)$ que consiste em uma estrutura matemática composta por dois conjuntos: V (finito e não vazio) e E (relações binárias sobre V) (GROSS; YELLEN, 2005). Os elementos de V são denominados de vértices e os elementos de E são as arestas. As propriedades que foram observadas na análise das redes semânticas propostas neste artigo correspondem àquelas relacionadas aos índices de estatística básica da teoria de redes. Com estas informações, foi possível caracterizar a topologia da rede de palavras-chave. Portanto, para a caracterização da rede proposta, observamos as seguintes propriedades: número de vértices, número de arestas, grau médio, densidade, coeficiente de aglomeração, caminho mínimo médio e diâmetro, especificados da seguinte maneira:

Número de vértice (n) - Corresponde a cardinalidade do conjunto de vértices da rede

$$n = |V| \quad (1)$$

Número de arestas (m) - Corresponde a cardinalidade do conjunto de arestas da rede

$$m = |E| \quad (2)$$

Grau médio ($\langle k \rangle$) - Representa a quantidade média de conexões dos vértices de uma rede e, é obtido da seguinte maneira:

$$\langle k \rangle = \frac{1}{n} \sum_i^n k_i \quad (3)$$

onde k_i é o valor da quantidade de vizinhos do vértice i (i.e. a quantidade dos vértices adjacentes ou a quantidade de arestas incidentes).

Densidade (Δ) - É o número total de arestas existentes em uma rede dividido pelo número máximo possível de arestas:

$$\Delta = \frac{m}{n(n-1)/2} \quad (4)$$

O coeficiente de aglomeração de um vértice V , denominado de C_V , mede a proporção de arestas entre os vizinhos do vértice V (E_V) e o máximo número de arestas possíveis em tal vizinhança (Eq. 5).

$$C_V = \frac{2E_V}{k_V(k_V - 1)} \quad (5)$$

Coeficiente de aglomeração Médio (C_{WS}) - O coeficiente de aglomeração médio dos vértices pertencentes a uma rede:

$$C_{WS} = \frac{1}{N} \sum_{V=1}^N C_V \quad (6)$$

Caminho mínimo médio ou distância geodésica (L):

$$L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (7)$$

onde o termo d_{ij} corresponde a distância geodésica entre os vértices i e j , em termos do número de arestas existentes.

Diâmetro (D): É a maior distância geodésica da rede, calculada da seguinte maneira:

$$D = \max (d_{ij}) \quad (8)$$

Em relação à caracterização da rede semântica por meio do cálculo das medidas de centralidades dos vértices, utilizamos a centralidade de grau e a centralidade de proximidade:

Centralidade de grau: Número de vértices adjacentes a um determinado vértice v .
Depende do número de arestas incidentes:

$$C_D(v_i) = d(v_i) = \sum_j v_{ij} \quad (9)$$

Centralidade de Proximidade: Somatório das distâncias geodésicas de um vértice v a todos os outros vértices da rede:

$$C_C(v_k)^{-1} = \sum_{i=1}^n d(v_i, v_k) \quad (10)$$

No que se refere ao tratamento das palavras por meio de *softwares*, para a construção da rede semântica baseada em palavras-chave, utilizamos o conjunto de programas contidos do pacote UNITEX, disponibilizado pela Rede Relex Brasil, que integra um programa francês do Laboratoire d'Automatique Documentaire et Linguistique (LADL) (FADIGAS et al., 2009). Também utilizamos o programa Ambisin, desenvolvido e utilizado primordialmente por Caldeira (2005). Para que a rede semântica de palavras-chave pudesse ser construída, realizamos um pré-tratamento nas palavras-chave, seguido de um tratamento por meio de *softwares*. Para o pré-tratamento, dispomos as palavras-chave em um arquivo de texto, em que cada linha recebeu um conjunto de palavras-chave, separadas por espaço. Então, editamos o texto obedecendo as regras estabelecidas por Pereira et al. (2011):

Quadro 1. Regras para o pré-processamento das palavras-chave.

1	Cada conjunto de palavras-chave corresponde a uma sentença;
2	Os sinais gráficos de cada sentença como o ponto e vírgula, ponto de interrogação, ponto de exclamação e reticências são eliminados;
3	Os nomes próprios devem formar uma palavra simples. Por exemplo, “Michael Faraday” e “James Clerk Maxwell”, respectivamente, tornar-se-ão: “michaelfaraday” e “jamesclerkmaxwell”.
4	Números ordinais devem ser escritos da seguinte forma, por exemplo, “8 ^a ” e “1 ^o ”, tornar-se-ão, respectivamente: “oitava” e “primeiro”.
5	Os números devem ser escritos de forma textual, por exemplo, “1972” e “1995”, tornar-se-ão “umnoveseteds” e “umnovenovecinco”.
6	Palavras compostas devem ser consideradas como uma só palavra, por exemplo, “ensino de ciências”, tornar-se-á, “ensinodeciências”.
7	Palavras escritas de formas incorretas, devem ser corrigidas.
8	As palavras que se repetem no conjunto de palavras-chave, devem ser retiradas, permanecendo apenas uma.
9	Linguagem especializada deve ser mantida, sempre que possível.
10	Palavras que apresentam mútua importância, devem se tornar apenas uma, por exemplo, “Física Quântica”, tornar-se-á, “FísicaQuântica”.
11	Palavras-chave escritas em linguagem diferente do Português, devem ser traduzidas para o português.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2011) e Nascimento et al. (2018).

As palavras-chave de cada dissertação e tese tornam-se vértices que são mutuamente conectadas, formando cliques, como está representado na Figura 1. Uma rede de cliques é um tipo de rede cujo elemento fundamental não é o vértice, senão um conjunto de n vértices que estão mutuamente ligados entre si (FADIGAS; PEREIRA, 2013). Estas redes têm uma característica específica relacionada ao seu processo de formação. Esse processo é baseado na justaposição e/ou uma sobreposição de cliques. A justaposição é um processo que permite duas cliques se conectarem por meio de apenas um vértice em comum entre elas; dois ou mais vértices, o processo é chamado de sobreposição (ibidem). A seguir um exemplo do método de construção das redes semânticas:

Palavras-chave 1: Mecânica quântica, Professor-perfil, Currículo;

Palavras-chave 2: Física moderna, Mecânica quântica, Aprendizagem de conceitos Segundo grau;

Palavras-chave 3: Filosofia da ciência, Concepções espontâneas, Mecânica quântica, Mecânica, Eletricidade;

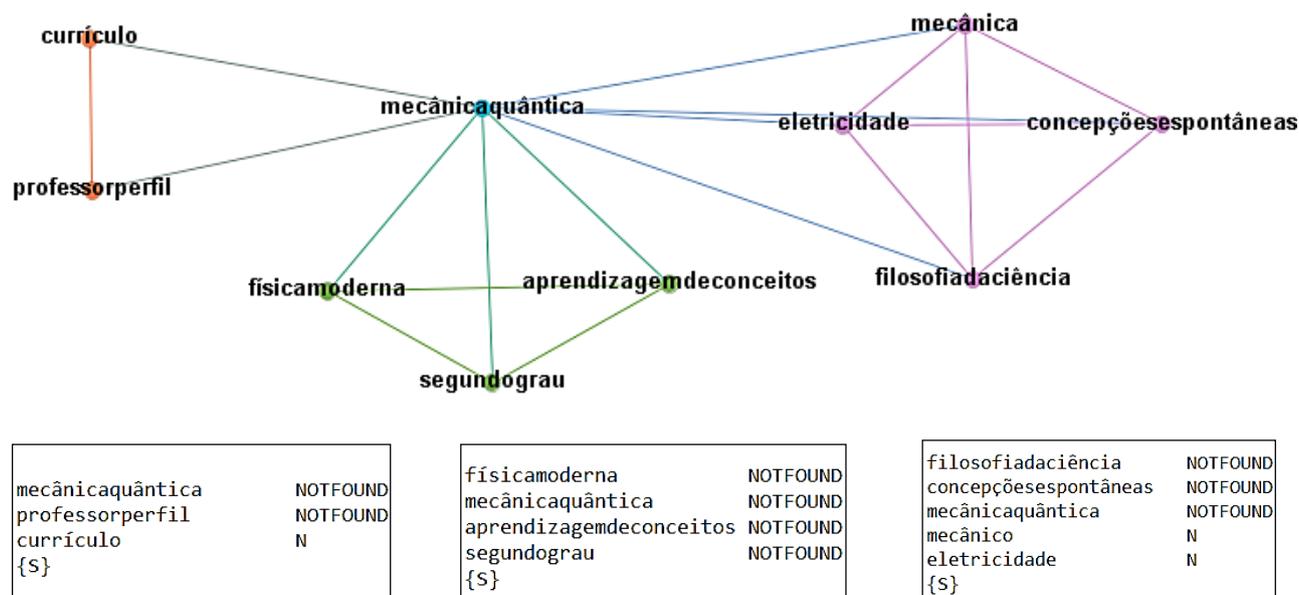


Figura 1. Exemplo de construção da rede baseada em palavras-chave. Fonte: Dos autores.

Na Figura 1 é apresentado um exemplo de construção da rede de palavras-chave. Após o tratamento delas, com os programas UNITEX e Ambisin, as cliques são construídas até a formação da rede completa. O exemplo apresentado na Figura 1, traz as palavras-chave Mecânica quântica, professor-perfil e currículo, pertencente a dissertação 1; Física Moderna, Mecânica Quântica, Aprendizagem de Conceitos e Segundo Grau, que pertencem a dissertação 2; Filosofia da Ciência, Concepções Espontâneas, Mecânica Quântica, Mecânica e Eletricidade, que correspondem à dissertação 3.

Imediatamente abaixo da rede semântica (Figura 1) apresentamos três cliques e as palavras-chave que correspondem aos vértices da rede. Então, apresentamos como elas ficam dispostas linha a linha com a sua respectiva identificação de categoria, sendo no caso: **N** para substantivo, **NOTFOUND** para palavras não encontradas no dicionário

usado. O símbolo **{S}** ao fim dos conjuntos de cliques de palavras-chave dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física nos informa o fim de cada sentença. Como as cliques correspondem a um sistema complexo, cada palavra-chave isoladamente pode corresponder a inúmeros significados, e para tal, é necessário o contexto na qual se encontra inserida. Assim como em Caldeiras (2005), o contexto em nossa pesquisa corresponde a supracitada sentença, a clique.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de 891 referências de trabalhos *Stricto Sensu* (dissertações e teses), identificamos 864 trabalhos com palavras-chave. A distribuição dos conjuntos palavras-chave utilizadas para realizarmos as análises apresentadas nesta pesquisa, sugere uma distribuição normal com destaque para os conjuntos de cliques de tamanho 3 e 4: houve uma preferência, pelos trabalhos na área de Ensino de Física, na utilização de três ou quatro palavras-chave, conforme Figura 2:

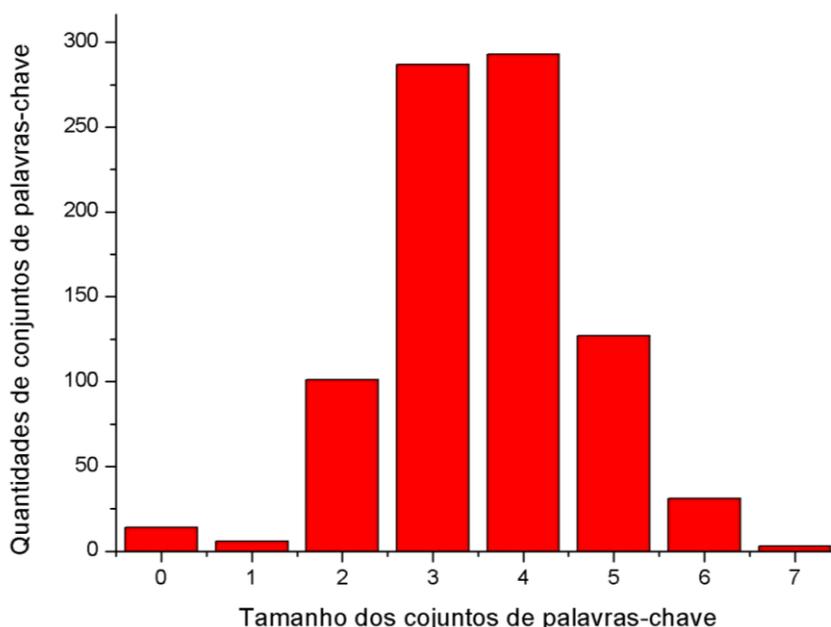


Figura 2. Distribuição dos conjuntos de cliques de palavras-chave utilizados nas dissertações e teses em Ensino de Física. Fonte: Dos autores

Por meio da metodologia proposta de construção de redes apresentada anteriormente, apresentamos a rede semântica baseada nas palavras-chave de dissertações e teses brasileiras em Ensino de Física:

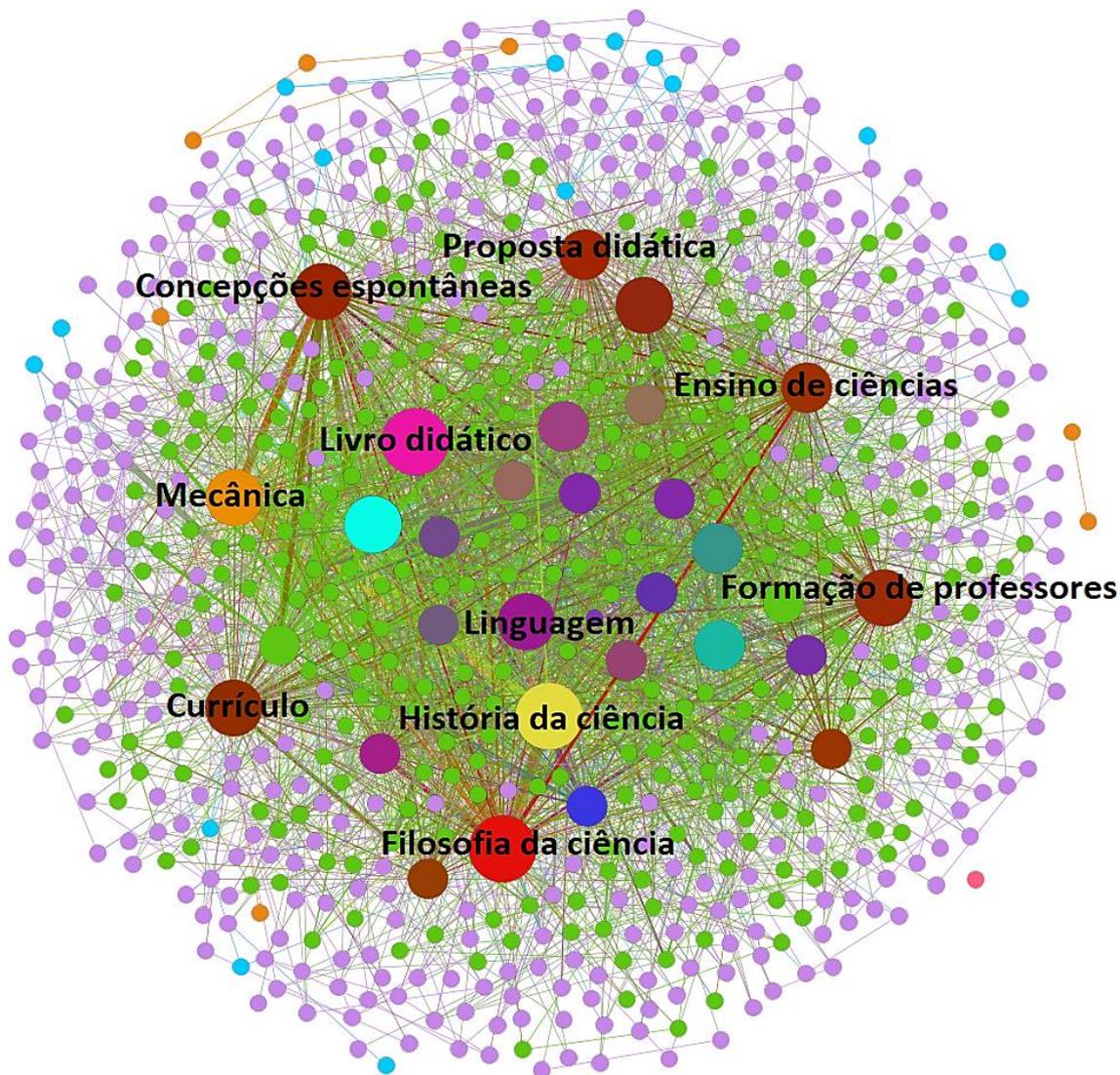


Figura 3. Rede semântica completa baseada nas palavras-chave. Fonte: Dos autores.

Utilizamos três algoritmos para a visualização e distribuição dos vértices que formam a rede na Figura 3: o *Force Atlas2*, *Não sobrepor* e *Frunchterman Reingold* pertencentes ao *software* Gephi. Este último algoritmo permite que os vértices com maiores números de conexões com outros vértices (centralidade de grau), situem-se mais ao centro na rede. O tamanho dos vértices mais centrais está proporcional ao seu respectivo grau de conexão na rede. Os vértices com as tonalidades da cor lilás, laranja, azuis e verdes mais na periferia da rede são os que apresentam menores graus de conexão.

Na Tabela 1, apresentamos as propriedades obtidas em relação a rede semântica das palavras-chave (Figura 3), relativo aos índices básicos de redes complexas:

Tabela 1. Rede Semântica das palavras-chave.

Rede Semântica	$n = V $	$m = E $	Qt. Componentes	Maior componente (%)	$\langle k \rangle$	Δ	C_{ws}	L	D
Palavras-chaves	734	3458	5	98,91%	9,422	0,013	0,716	3,004	6
Componente Gigante	726	3453	1	100%	9,512	0,013	0,714	3,004	6

Fonte: Dos autores.

Conforme a Tabela 1, observamos que o valor do caminho mínimo médio (L) é de aproximadamente três arestas, para conectarem duas palavras na rede. Ao observarmos o diâmetro (D), o valor obtido é seis, para a rede de palavras-chave. Tais informações refletem o fato de que as palavras-chave de trabalhos distintos estão conectadas entre si, por meio de seis outras palavras. O valor encontrado para a densidade (Δ) foi da ordem de 1,3%. Este índice é uma medida que está relacionada com o nível de coesão dos vértices (FADIGAS et al., 2009). Conforme Pereira et al. (2011) esta informação em uma dada rede semântica de títulos, indica a quantidade de ligações entre as palavras, ou seja, uma “tendência dos títulos estarem ligados através de um número grande de palavras”, pensamento este que pode ser aplicado também para a rede semântica de palavras-chave (Figura 3). Assim, a densidade encontrada pode corresponder a uma menor coesão entre as conexões na rede, um indício do quão conectadas estão as dissertações e teses por meio das palavras-chave no Ensino de Física Brasileiro. O valor verificado para o coeficiente de aglomeração (C_{ws}), foi da ordem de 72%, indicando uma alta conectividade entre as palavras presentes da rede semântica.

Provenientes da rede na Figura 3, elencamos os trinta vértices mais importantes, pelo fato de realizarem um maior número de conexões com outros vértices na rede (Centralidade de Grau); bem como se os vértices correspondem a pontos de cortes na rede, conforme Tabela 2:

Tabela 2. Vértices com maiores valores de graus da rede.

	Vértices (V)	Grau (k)	Ponto de corte		Vértices (V)	Grau (k)	Ponto de corte
1	História da ciência	119	Não	56	Epistemologia	56	Sim
2	Livro didático	110	Não	17	Formação inicial de professores	55	Não
3	Filosofia da ciência	96	Não	18	Eletricidade	52	Não
4	Atividade experimental	87	Sim	19	Astronomia	52	Não
5	Mecânica	85	Não	20	Ciência-concepção	51	Não
6	Linguagem	81	Não	21	Eletromagnetismo	51	Não
7	Currículo	80	Sim	22	Física moderna e contemporânea	51	Não
8	Concepções espontâneas	75	Sim	23	Piaget	50	Não
9	Formação continuada de professores	75	Sim	24	Concepção do aluno	50	Não
10	Formação de professores	72	Não	25	Energia	47	Não
11	Proposta didática	69	Sim	26	Mudança conceitual	47	Não
12	Ensino de ciências	67	Não	27	Interdisciplinaridade	46	Não
13	Prática docente	64	Sim	28	Divulgação científica	45	Não
14	Aprendizagem significativa	63	Não	29	Ótica	44	Não
15	Concepção do professor	59	Não	30	CTS	44	Não

Fonte: Dos autores.

Percebemos que há uma adesão preferencial na rede da Figura 3 pelos vértices elencados na Tabela 2. Para corroborar as análises no contexto da pesquisa – o Ensino de Física nacional – na Tabela 3, apresentamos os trinta vértices da rede (Figura 3) que apresentam os maiores valores de Centralidade de Proximidade e, se correspondem a pontos de cortes. A medida de centralidade de proximidade de um determinado vértice “[...] está relacionada com a distância dele aos demais vértices na rede” (FREEMAN apud (NASCIMENTO; PEREIRA; MORET, 2018, p. 58-4).

Conforme as Tabela 2 e Tabela 3 as informações retratam que, para a rede semântica baseada em palavras-chave de dissertações e teses em Ensino de Física no Brasil (1972-2006), o vértice mais importante (maior centralidade de grau e de intermediação) foi “História da ciência”. O segundo vértice mais importante foi “Livro didático”, também por ambas as medidas de centralidades. “Filosofia da ciência” e “Atividade experimental”, seguem como terceiro e quarto vértices mais importantes,

respectivamente, na Tabela 2. Já na Tabela 3, “Mecânica” é o terceiro vértice mais importante e “Filosofia da ciência” é o quarto. Por meio das informações dos vértices com as maiores medidas de centralidade de grau e proximidade, percebemos as seguintes tendências: há uma forte presença da temática de formação de professores na rede semântica da Figura 3, como podemos perceber com os vértices “Formação inicial de professores”, “Formação continuada de professores”, “Formação de professores”, “Prática docente” e “Concepção do professor”.

Tabela 3. Vértices com maiores valores de centralidade de proximidade.

Vértices (V)		Centr. de Prox.	Ponto de corte	Vértices (V)		Centr. de Prox.	Ponto de corte
1	História da ciência	0,493869	Não	16	Física moderna e contemporânea	0,449473	Não
2	Livro didático	0,490196	Não	17	Aprendizagem significativa	0,446979	Não
3	Mecânica	0,474166	Não	18	Prática docente	0,446764	Sim
4	Filosofia da ciência	0,472621	Não	19	Epistemologia	0,446704	Sim
5	Ensino de ciências	0,472621	Não	20	Ótica	0,445058	Não
6	Concepções espontâneas	0,466238	Sim	21	Concepção do aluno	0,442883	Não
7	Formação continuada de professores	0,465042	Sim	22	Ciência-concepção	0,440998	Não
8	Linguagem	0,464744	Não	23	Astronomia	0,440729	Não
9	Formação de professores	0,463259	Não	24	Mudança conceitual	0,437802	Não
10	Currículo	0,461489	Sim	25	Interdisciplinaridade	0,437802	Não
11	Concepção do professor	0,460025	Não	26	Energia	0,437274	Não
12	Proposta didática	0,457413	Sim	27	Eletricidade	0,434132	Não
13	Formação inicial de Professores	0,454545	Não	28	Gravitação	0,429502	Não
14	Atividade experimental	0,454261	Sim	29	Termodinâmica	0,428487	Não
15	Eletromagnetismo	0,451713	Não	30	CTS	0,427728	Não

Fonte: Dos autores.

Percebemos também que as Teorias de aprendizagens também aparecem na rede como destaques, por meio dos vértices “Mudança conceitual”, “Concepções espontâneas”, “Concepção do aluno”, “Piaget”, “Aprendizagem significativa” e “Concepção do professor”. Pela disposição dos vértices, as análises das centralidades e pontos de

corte, há indicativos que a Teoria da Aprendizagem Significativa correspondeu a principal teoria utilizada. Neste viés as teorias relacionadas a Piaget estão em segundo lugar em termos de Teoria de Aprendizagem verificadas na rede. É válido ressaltar que tanto na teoria de Ausubel quanto na de Piaget o foco é o aprendiz e não o professor; o conhecimento prévio é visto como característica fundamental no processo de ensino de aprendizagem de novos conceitos: teorias construtivistas. Tal pensamento pode ser somado ao anterior em termos de pesquisas voltadas para a formação do professor e, pesquisas em Ensino de Física foram direcionadas para o discente. O segundo vértice mais importante na rede, seja pela centralidade de grau ou de proximidade, foi “Livro didático”. Ele nos remete ao pensamento que pesquisas foram realizadas objetivando material/recurso didático para o Ensino de Física. Pensamento similar temos ao verificarmos o vértice “Atividade experimental”. Logo, há também uma forte tendência na rede pelo que iremos denominar aqui de “recursos metodológicos para o Ensino de Física”.

Na observância do vértice que representam assuntos do Ensino de Física, “Eletricidade”, “Astronomia”, “Mecânica”, “Eletromagnetismo”, “Física moderna e contemporânea” e “Energia” há um forte indicativo que entre a educação básica e nível superior, a maioria das pesquisas corresponderam à educação básica. Vértices como “Ensino de ciências” e “Atividade experimental” (laboratório de ciências), indicam pesquisas destinadas ao ensino fundamental. Porém pelos assuntos abordados (Tabela 3), houve uma maior tendência por pesquisas voltadas para o Ensino de Física a nível médio.

Quando damos atenção ao vértice mais conectado na Tabela 2 e Tabela 3, “História da ciência” e ao vértice “Filosofia da ciência” (que correspondeu ao terceiro e quarto vértice mais conectados, respectivamente nas tabelas supracitadas); assim como o vértice “Ciência-concepção”, indicam que a temática de História e Filosofia da Ciência esteve fortemente correlacionada na rede de palavras-chave. História da ciência é o vértice mais conectado na rede semântica da Figura 3, bem como, é o vértice mais próximo de todos os demais vértices na rede (Tabela 3).

Com a informação dos vértices com as maiores medidas de centralidade de grau, podemos inferir que proporcionalmente ao valor deste índice para cada um, há uma tendência na rede, uma preferência pelos assuntos relacionados às palavras-chave elencadas na Tabela 2. Dessa forma, com o surgimento de novas dissertações e tese em Ensino de Física, há uma probabilidade maior de serem escolhidas para os trabalhos

Stricto Sensu, as palavras-chave pertencentes a Tabela 2. Para aumentarmos o nosso espaço amostral de análise, na Figura 4, apresentamos a rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física nacional e destacamos os vértices que representam pontos de cortes nela:

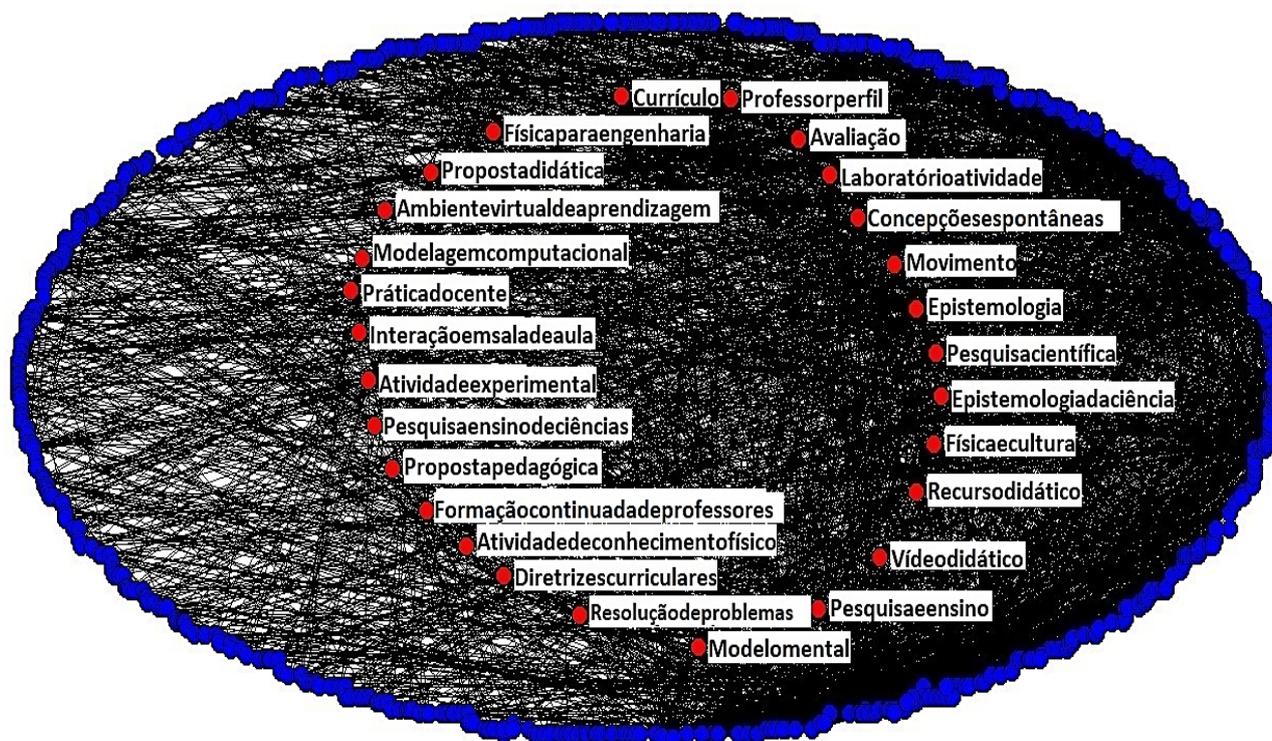


Figura 4. Rede semântica baseada nas palavras-chave, destacando os pontos de cortes (cor vermelha). Fonte: Dos autores.

Com base na Figura 4, apresentamos na Tabela 4 os vértices que correspondem a pontos de cortes na rede semântica. Eles estão ordenados do maior para o menor grau de conexão.

Conforme Tabela 4, verificamos que, caso retirássemos da rede os vinte e sete vértices, ela se fragmentaria em vários componentes. A conectividade entre as dissertações e teses do Ensino de Física Brasileiro, por meio das palavras-chave, não ocorreria como verificamos (Figura 3 e Figura 4). Isto sugere que existem palavras-chave que intermedeiam dissertações e teses, dando uma espécie de unidade no que chamaremos aqui de “discurso” do Ensino de Física nacional. Pelos resultados até aqui, há fortes indícios que por intermédio das palavras-chave elencadas nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4 houve a difusão do conhecimento em Ensino de Física no período analisado. Vejamos a seguinte análise, a título de exemplo: conforme Nascimento, Neide e Gonzatti (2016) as concepções espontâneas ou alternativas correspondem a aprendizados

significativos adquiridos pelos aprendizes, contudo, incoerentes em relação a um modelo científico que alicerça um certo fenômeno em estudo. O modelo das distâncias é uma concepção alternativa ainda muito presente na estrutura cognitiva de muitos aprendizes. Assim, muitas pessoas acreditam que a estação do ano verão, é quando o planeta Terra está mais próximo do Sol (periélio) e a estação inverno, quando o planeta está mais afastado do Sol (afélio). Conforme um modelo científico coerentemente correto, tanto no periélio quanto no afélio haverá em um Hemisfério da Terra a estação verão e no outro, inverno, ambas concomitantemente (ibidem).

Tabela 4. Vértices que representam pontos de cortes na rede semântica.

	Vértices (V)	Grau (k)		Vértices (V)	Grau (k)
1	Atividade experimental	87	15	Atividade de conhecimento físico	20
2	Currículo	80	16	Ambiente virtual de aprendizagem	19
3	Formação Continuada de professores;	75	17	Pesquisa em ensino de ciências	17
4	Concepções espontâneas	75	18	Epistemologia da ciência	17
5	Proposta didática	69	19	Movimento	16
6	Proposta pedagógica	69	20	Modelagem computacional	15
7	Prática docente	64	21	Interação em sala de aula	13
8	Epistemologia	56	22	Física para engenharia	12
9	Resolução de problemas	34	23	Física e cultura	12
10	Avaliação	33	24	Pesquisa e ensino	9
11	Professor-Perfil	32	25	Recursos didáticos	9
12	Diretrizes curriculares	28	26	Pesquisa científica	7
13	Laboratório-atividades	27	27	Vídeo didático	3
14	Modelo mental	22			

Fonte: Dos autores.

Diante do exposto anteriormente, suponhamos que uma dissertação de mestrado em Santa Catarina e uma tese de doutorado no Amazonas se conectem na rede semântica pela palavra-chave “concepções espontâneas”. Se retirássemos da rede baseada em palavras-chave (Figura 3), justamente o 4º vértice da Tabela 4, “Concepções espontâneas” ($k=75$), as demais palavras que compõem a clique permaneceriam isoladas, em termos de pesquisas, em seus respectivos estados. Logo, a difusão do conhecimento não ocorreria na rede, entre Santa Catarina e o Amazonas, bem como, para toda a rede. Ao iniciarmos esta explanação, citamos como exemplo o modelo da distância como uma concepção espontânea na temática de Estações do Ano.

Percebemos então o impacto na rede semântica em termos de isolamento do vocabulário composto pela clique onde um dos vértices é “concepções espontâneas”: a não difusão do conhecimento de uma pesquisa como o Ensino de Física (astronomia), para estudo de fenômenos astronômicos, cujo o foco é o aprendiz (teoria de aprendizagem) e seus conhecimentos prévios (teoria construtivista), os chamados subsunçores (aprendizagem significativa).

Na Tabela 5, elencamos sessenta vértices que correspondem a assuntos e/ou temas estruturadores com abrangência para organizar o ensino de Física Brasileiro, conforme nortes presentes no parecer CNE/CES 1.304/2001:

Tabela 5. Vértices e os valores dos graus (k) que representam conteúdos importantes em física.

Vertices	k	Vertices	k	Vertices	k	Vertices	k				
1	Mecânica	85	16	Movimento	16	31	Colisão	10	46	Leis de Newton	7
2	Eletricidade	52	17	Força	16	32	Energia Nuclear	10	47	Eletrodinâmica	7
3	Astronomia	52	18	Eletrostática	14	33	Lente	10	48	Modelo Atômico	7
4	Eletromagnetismo	51	19	Óptica	14	34	Deficiência Visual	10	49	Corrente Elétrica	7
5	Física moderna e contemporânea	51	20	Aceleração	13	35	Atrito	10	50	Faraday	7
6	Energia	47	21	Tempo	13	36	Magnetismo	9	51	Einstein	7
7	Física Moderna	41	22	Temperatura	13	37	Onda	9	52	Efeito Estufa	7
8	Gravitação	39	23	Efeito fotoelétrico	13	38	Entropia	8	53	Circuitos Elétricos	6
9	Termodinâmica	37	24	Radiação	13	39	Campo Eletromagnético	8	54	Velocidade angular	6
10	Luz	33	25	Relatividade e Restrita	13	40	Átomo	8	55	Cor	6
11	Física Térmica	33	26	Hidrostática	13	41	Física Quântica	8	56	Eletrônica	6
12	Calor	31	27	Imagem	12	42	Cosmologia	8	57	Massa-energia	6
13	Relatividade	25	28	Matéria	11	43	Partículas Elementares	8	58	Complexidade	6
14	Mecânica Quântica	22	29	Física do Cotidiano	10	44	Galileu	7	59	Morin	6
15	Cinemática	20	30	Energia Elétrica	10	45	Espaço	7	60	Partícula	6

Fonte: Dos autores.

Os vértices contidos na Tabela 5 indicam que assuntos considerados importantes para o ensino da disciplina física foram pouco escolhidos como palavras-chave. O vértice

“Mecânica” é o primeiro assunto que surge na rede semântica e apresenta grau de conexão $k = 85$, ou seja, o seu valor de centralidade é baixo se compararmos com demais vértices contidos na Tabela 2. Ao mesmo tempo, seu valor de grau (k) é o mais elevado em relação aos vértices da Tabela 2 que também correspondem a assuntos em Física: “Eletricidade” ($k=52$), “Astronomia” ($k=52$), “Eletromagnetismo” ($k=51$), “Física moderna e contemporânea” ($k=51$), “Energia” ($k=47$) e “Ótica” ($k=44$). Na Tabela 3 o vértice “Mecânica” (Centr. de proximidade = 0,474166) apresenta também o maior valor de centralidade de proximidade (0,474166), indicando que é a palavra-chave mais próxima na rede, de todas as demais palavras.

. Essas informações podem indicar que novos trabalhos poderão ter baixa probabilidade de ocorrerem com os assuntos que compõem os temas estruturadores de organização da Física, no Brasil. Opondo-se ao vértice “Mecânica”, os vértices “Óptica” ($k = 44$) e CTS ($k=44$) foram os menos importantes, quando observamos a sua medida de centralidade de grau (Tabela 2), para a presente análise. Enquanto na Tabela 3, “Mecânica” apresenta também a maior centralidade de proximidade (0,474166), os assuntos menos próximos dos demais vértices são Termodinâmica (0,428487) e CTS (0,427728).

Conforme o método sugerido por Watts e Strogatz (2008), realizamos uma comparação entre a rede semântica de palavras-chave (componente gigante) e a rede aleatória equivalente dela (rede com o mesmo número de vértice e grau médio). Na Tabela 6, apresentamos os valores das propriedades das redes estudadas. Percebemos que as redes apresentaram valores similares para o caminho mínimo médio (L). O coeficiente de aglomeração médio (C_{ws}) da rede semântica de palavras-chave apresentou valor elevado em comparação com o coeficiente de aglomeração da rede aleatória equivalente. Então, diante destes resultados, verificamos que a rede semântica complexa, apresenta o fenômeno *Small-World*: alta aglomeração local e curtos caminhos.

Tabela 6. Propriedades: rede semântica de palavras-chave e a rede aleatória equivalente.

Redes Semânticas	$n = V $	$m = E $	Qt. Componentes	Maior Componente (%)	$\langle k \rangle$	Δ	C_{ws}	L	D
Palavras-chaves (Maior componente)	726	3453	1	100%	9,512	0,013	0,714	3,004	6
Rede aleatória equivalente	726	3536	1	100%	9,512	0,013	0,013	3,013	5

Fonte: Dos autores.

Conforme os passos científicos realizados em Pereira et al. (2011), Fadigas et al. (2009) e Nascimento et al. (2018) observamos a distribuição de graus da rede semântica das palavras-chave. De acordo com o gráfico da Figura 5, a distribuição fornece indícios de que a rede pode apresentar um comportamento de uma rede livre de escala na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$:

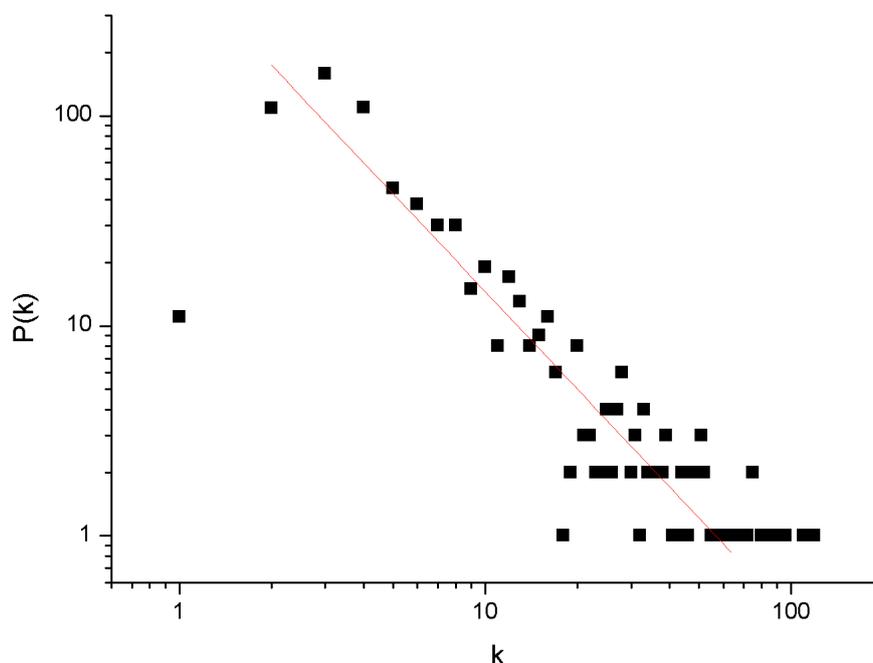


Figura 5. Distribuição de graus da rede semântica baseada em palavras-chave (com $\gamma = 1,54$ e o ajuste $R^2 = 0,86576$). Fonte: Dos autores.

Conforme Barabási e Albert (1999) e Barabási (2009), percebemos então que possivelmente há, para o período de 1972-2006, uma adesão preferencial por certos vértices na rede (palavras-chave), indicando a presença de *hubs*. Assim, os vértices

altamente conectados têm uma probabilidade maior em adquirir novas ligações do que aqueles que são menos conectados. O valor do coeficiente angular (γ), encontrado na presente pesquisa (Figura 5), é menor do que o proposto por Barabási e Albert (1999): $2,1 \leq \gamma \leq 4$. Entretanto, pesquisas recentes também verificaram valores de $\gamma < 2,1$, como por exemplo, Seyed-allaei et al. (2006), que verificaram redes livre de escala com $\gamma < 2,0$; em Fadigas et al. (2009) encontraram: $1.38 \leq \gamma \leq 2,1$; Nascimento, Pereira e Moret (2017) e Nascimento et al. (2018) também encontraram redes *Scale Free* com $\gamma < 2,0$.

Portanto, em relação a caracterização da topologia da rede semântica, aplicado o método de Watts e Strogatz (1998) e calculada a distribuição de graus da rede, argumentamos que a rede é caracterizada como *small-world* (mundo pequeno) e *scale free* (livre de escala).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise da rede formada pelas palavras-chave pertencentes aos trabalhos em Ensino de Física no Brasil para o período de 1972 a 2006, com base em alguns índices da teoria de redes (complexas e sociais), foi possível caracterizar a topologia da rede semântica construída como *Small-Word* e *Scale Free*. Ambas as topologias são possíveis a uma mesma rede, uma vez que não são excludentes. A alta conectividade evidenciada na rede pelo coeficiente de aglomeração médio, o caminho mínimo médio com os mesmos valores da rede aleatória equivalente e, uma distribuição de graus indicando uma lei de potência, indicam essa caracterização.

Como as redes *scale free* são resistentes à retirada de vértices de forma aleatória, apresentam vulnerabilidade em caso de retirada das palavras-chave que representam os pontos de cortes e são polos (*hubs*) na rede. Isso sugere que, sem elas, os “discursos” do Ensino de Física nacional, em termos de palavras-chaves, seriam localizados em determinados programas de pós-graduações e regiões. Em termos práticos, caso retirássemos da rede semântica (Figura 4) os vértices pertencentes à Tabela 4, a rede passaria a ter um grande número de componentes o que poderia dificultar encontrar trabalhos semelhantes. De acordo com Fadigas et al. (2009) esta dificuldade pode ocorrer em termos de não favorecer aos leitores a utilização dos mecanismos de buscas de trabalhos científicos (como o portal de periódicos da CAPES). Também foi possível estudar quais palavras-chave apresentaram maiores importâncias por meio de suas conexões (centralidade de grau) e por proximidade na rede, em relação as demais

palavras (centralidade de proximidade). No presente estudo, identificamos que a formação de polos está associada à adesão preferencial de determinadas palavras-chave da rede semântica construída e estudada; há uma maior probabilidade de ocorrerem futuras conexões entre novas escolhas de palavras-chave que utilizem as elencadas na Tabela 2, do que com as pertencentes a Tabela 5.

Finalmente, ao serem observados os vértices com maiores centralidades de grau, proximidade e pontos e cortes, foi possível sugerir que a rede semântica de palavras-chave objetivou: a formação do professor de física, com pesquisas voltadas em sua grande maioria para a educação básica, especificamente o nível médio. Percebemos também a forte tendência na rede por pesquisas voltadas aos “recursos metodológicos” para o Ensino de Física. As teorias de aprendizagens também aparecem na rede correlacionadas em muitas pesquisas, com o foco em Teorias Construtivistas. Houve uma preferência na rede também em temas como História e Filosofia da ciência que se comparadas aos assuntos pertencentes à Física (Tabela 5), estes últimos foram pouco explorados.

AGRADECIMENTOS

Jefferson Nascimento agradece à FAPESB pelo suporte financeiro parcial devido à bolsa de doutorado (BOL170/2015) e Marcelo A. Moret agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 304454/2014-1).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. S. F. **Redes de palavras em textos escritos**: Uma análise da linguagem verbal utilizando redes complexas. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Física) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.
- BARABÁSI, A. L. e ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, n. 286, pp. 509-512, 1999.
- BARABASI, A.L. Scale-free networks: a decade and beyond. **Science**. 2009; 325:412–413.
- BAPTESTINI, Elizabeth Machado. Um sistema presa-predador com evasão mediada por feromônio de alarme. 2006. 81p. Tese (Magister Scientiae) – Departamento de Física, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- CALDEIRA, S. M. G. **Caracterização da Rede de Signos Linguísticos: Um modelo baseado no aparelho psíquico de Freud**. 130f. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar

em Modelagem Computacional) - Centro de Pós graduação e Pesquisa da Fundação Visconde de Cairu. Fundação Visconde de Cairu, Salvador, nov. 2005.

COSTA, C. C. S.; NASCIMENTO, J. O. do; MORET, M. A.; PEREIRA, H. B. B. **Um modelo computacional para construção de redes de colaboração científica em Física**, p. 218-221 . In: . São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/phypro-viii-efa-46.

CUNHA, M.V. **Redes semânticas baseadas em títulos de artigos científicos**. 127f. Dissertação (Mestrado em modelagem computacional e tecnologia industrial) – CIMATEC, Salvador, 27 nov. 2013.

FADIGAS, I. S.; CASAS, T. H. P.; SENNA, V.; MORET, M. A.; PEREIRA, H. B. B. Análise de redes semânticas baseada em títulos de artigos de periódicos científicos: o caso dos periódicos de divulgação em educação matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 11, n. 1, 2009.

FADIGAS, I. S.; PEREIRA, H. B. B. A network approach based on cliques. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, n. 10, p. 2576-2587, 2013.

MOYANO, L. **Mecânica estatística não-extensiva em sistemas complexos: fundamentos dinâmicos e aplicações**. Tese de Doutorado, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Rio de Janeiro, 2006.

CNE/CES 1.304/2001. **Despacho do ministro em 4/12/2001**, publicado no diário oficial da união de 7/12/2001, Seção 1, p. 25. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acesso em: 11. jul. 2016

NUSSENZVEIG, H. M. (Org.). **Complexidade & caos**. Rio de Janeiro: UFRJ/ COPEA, 2003.

NASCIMENTO, J. O. do; MONTEIRO, R. L. S.; MOREIRA, D. M.; MORET, M. A.; PEREIRA, H. B. B. Semantic networks of keywords from Brazilian dissertations on physics teaching. **Discontinuity, Nonlinearity and Complexity**, v. 7, p. 173-183, 2018.

NASCIMENTO, J. O. do.; PEREIRA, H. B. B.; MORET, M. A.; BARBOSA, L. P.; TAKIISHI, H.; **Redes semânticas em Ciências dos Materiais: uma aplicação da Teoria de Redes**, p. 116-121 . In: . São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/phypro-viii-efa-27

NASCIMENTO, J. O do; PEREIRA, H.B.B.; MORET, M. A .Redes de afiliação no Ensino de Física Brasileiro: uma análise dos programas de pós-graduações por meio de Redes Sociais e Complexas. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 3, p. 58-1-58-15, 2018.

NASCIMENTO, J. O. do.; PEREIRA, H. B. B.; MORET, M. A.; **Redes semânticas baseadas em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro: uma comparação nos métodos de pré-processamento dos dados**, p. 122-127. In: . São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/phypro-viii-efa-28

OLIVEIRA, P. M. C. Autômatos Celulares. In: NUSSENZVEIG, H. M. [Org.]. **Complexidade & caos**. Rio de Janeiro: UFRJ/ COPEA, 2003.

ROSA, M. G.; FADIGAS, I. S.; MIRANDA, J. G. V.; CUNHA, M. V.; MONTEIRO,

R.L.S.; PEREIRA, H. B. B. Robustness in semantic networks based on cliques. **Physica. A** (Print), v. 472, p. 94-102, 2017.

SALEM, S.; KAWAMURA, M. R. D. **Ensino de Física no Brasil**: catálogo analítico de dissertações e teses (1996-2006). São Paulo: Instituto de Física da USP / PROFIS, 2009. 243 p.

SEYED-ALLAEI, H., Bianconi & M. Marsili, G. Scale-free networks with an exponent less than two. **Phys. Rev. E**. 73, 046113, 2006.

TEIXEIRA, G. M. **Redes Semânticas em discursos orais**: Uma proposta metodológica baseada na psicologia cognitiva utilizando redes complexas. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Modelagem Computacional), - Centro de Pós graduação e Pesquisa da Fundação Visconde de Cairu. Fundação Visconde de Cairu, Salvador, 2007.

WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. Collective dynamics of small-world networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.