

DOI: 10.5748/20CONTECSI/COM/DSC/7286

eLocator: e207286

GRAFO DE CONHECIMENTO: UMA BREVE INTRODUÇÃO

Samuel Cristhian Schwebel – <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-3087-3542>

Universidade Federal De Santa Catarina, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia, Gestão E Mídia Do Conhecimento.

Alexandre Leopoldo Gonçalves – <https://orcid.org/0000-0002-6583-2807>

Universidade Federal De Santa Catarina, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia, Gestão E Mídia Do Conhecimento.

KNOWLEDGE GRAPH: A BRIEF INTRODUCTION

ABSTRACT

Knowledge graphs have been getting a lot of attention lately. It has its foundations in the theory of graphs, which brings with it a mathematical formalism. A brief historical review of the knowledge graph is presented, from the initial idea of representing knowledge through graphs, to the need for a framework to provide semantics, a structure known today as ontology. A practical application considering an input of data and information from articles published in journals was used to build an ontology and the corresponding knowledge graph. A set of technologies related to knowledge graphs is also presented as RDF, GQL and embeddings. Finally, a timeline is drawn considering important milestones of knowledge graphs.

Keywords: knowledge graph; semantic network; ontology; graph theory; graph technologies

GRAFO DE CONHECIMENTO: UMA BREVE INTRODUÇÃO

RESUMO

Grafos de conhecimento vem tendo uma grande atenção nos últimos tempos. Possui seus fundamentos na teoria de grafos que traz consigo um formalismo matemático. Um breve resgate histórico sobre grafo de conhecimento é apresentado, desde a ideia inicial de representar conhecimento através de grafos, passando pela necessidade de uma estrutura (framework) para proporcionar semântica, estrutura essa conhecida hoje como ontologia. Uma aplicação prática considerando uma amostragem de dados e informações de artigos publicados em periódicos foi utilizada para construir uma ontologia e o grafo de conhecimento correspondente. Também é apresentado um conjunto de tecnologias relacionadas aos grafos de conhecimento, tal como RDF, GQL e *embeddings*. Por fim, é traçado uma linha do tempo considerando marcos importantes de grafos do conhecimento.

Palavras-chave: grafo de conhecimento; rede semântica; ontologia; teoria de grafos; tecnologias de grafos.

1 INTRODUÇÃO

Uma maior atenção e discussão mais intensa sobre grafos de conhecimento vem ocorrendo desde o anúncio em 2012 com a empresa Google® afirmando representar “coisas” não “sequência de caracteres” ou *things, not strings* em inglês (Singual, 2012). Entretanto, uma perspectiva anterior pode estar sendo negligenciada por muitos pesquisadores, que buscam agora estabelecer definições que adicionam outras considerações (Bergman, 2019).

De forma a resgar a origem de conceitos relacionados aos grafos de conhecimento, compreender um caso prático aplicando de grafo de conhecimento, assim como conheceras principais tecnologias relacionadas aos grafos, as seguintes questões de pesquisa foram elencadas:

Q1: Qual origem e conceitos relacionados aos grafos de conhecimento?

Q2: Como um grafo de conhecimento é construído de maneira prática?

Q3: Quais tecnologias são aplicadas aos grafos de conhecimento?

Para responder a estas questões de pesquisa foi utilizado o método revisão da literatura.

Este artigo está organizado em seções de fundamentação teórica, caso prático e de tecnologias relacionadas aos grafos de conhecimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A teoria de grafos tem sua origem no artigo “As Sete Pontes de Königsberg” de Leonhard Euler publicado em 1736 respondendo para as pessoas da cidade que buscavam entender se era possível atravessar todas as sete pontes passando apenas uma vez em cada uma delas (Biggs et al., 1986). Desde então, grafos surgiram para “representar graficamente banco de dados, grafos de conhecimento, redes de conhecimentos, redes sociais e muito mais” (Sheth et al., 2019).

O termo grafo ou rede aparece por vezes de forma intercambiável. Entretanto, segundo Barabási (2015) a teoria de grafos pertence a um campo da matemática e contribui com vários conceitos-raiz para a ciência das redes. A ciência de redes se distingue da teoria dos grafos pela sua natureza empírica, ou seja, seu foco em dados, função e utilidade. Na ciência de redes as ferramentas desenvolvidas vão além de matemáticas abstratas para descrever uma determinada propriedade de rede e são testadas em dados reais sendo seu valor julgado pelos *insights* que oferece sobre as propriedades e o comportamento de um sistema.

Partindo dos argumentos de Barabási (2015), se dados reais estiverem sendo considerados, o termo a ser utilizado deveria ser de redes semântica ou redes de conhecimento, em contraponto aos grafos de conhecimento que seriam uma abstração do mundo real, muito embora, este último é intensamente utilizado tanto na literatura quanto nas organizações, mesmo incluindo dados reais.

Antes do emprego do termo grafos de conhecimento, a ideia de representação gráfica do conhecimento tem origem em 1956 com a proposta de Richens (1956), enquanto a lógica simbólica remonta o trabalho de Newell et al. (1959) com solucionador de problemas gerais (Ji et al., 2022).

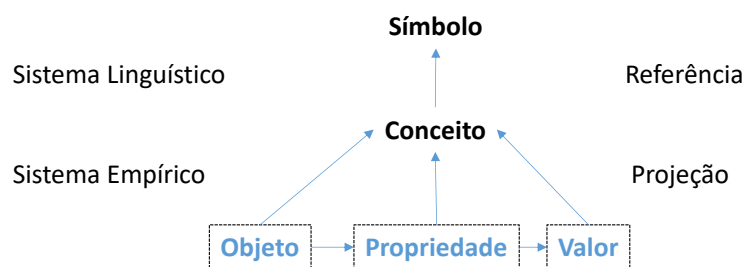
O linguista Schneider (1972) utilizou o termo grafo de conhecimento a primeira vez na literatura em sua publicação sobre como construir sistemas instrucionais modulares para cursos. Cornelis Hoede foi um pesquisador que se aprofundou nos estudos para capturar conhecimentos e ciências médicas na forma de grafos de conhecimento em 1982 (Nurdiati& Hoede, 2008). Seu trabalho foi base para outros pesquisadores que também

reconhecem que derivaram seus estudos de redes semânticas, uma abordagem de inteligência artificial baseada em grafos datada de meados da década de 1950 e que tinha relações estreitas com os grafos conceituais desenvolvidos por John Sowa (Bergman, 2019; Blumauer & Nagy, 2020; Sowa, 1984).

Bakker (1987, p. 22), um dos primeiros pesquisadores que trabalharam com Hoede, em sua tese afirma que “a escolha de um grafo de representação de conhecimento científico empírico é atraente, porque além de ter a vantagem de ser uma representação óbvia, a matemática bem desenvolvida de teoria dos grafos pode ser utilizada para a análise e estruturação do conhecimento representado”. Menciona grafos de conhecimento mais que 150 vezes.

Um esquema de grafo de conhecimento é apresentado na Figura 1, no qual é possível ver na base do esquema uma tripla, objeto → propriedade → valor, que são elementos de teorias científicas empiricamente. Dentro do sistema empírico, uma propriedade é o resultado de um aspecto de um objeto e um valor é uma medida de uma propriedade. Estes elementos são denotados pelos elementos linguísticos de símbolos e conceitos. Um simples conceito pode ter diferentes papéis, ora sendo um objeto, ora uma propriedade ou ainda um valor. Objetos, propriedades e valores estão relacionados aos conceitos por uma projeção do conceito ou símbolo linguístico dentro de um sistema empírico ou mundo real. (Bakker, 1987).

Figura 1 – Esquema de grafo de conhecimento proposto por Hoede



Fonte: Adaptado de Bakker (1987, p. 16)

Hoede, Bakker e demais pesquisadores do grupo, reconheciam que os grafos poderiam ser usados como base de conhecimento de sistemas especialistas ou extração de conhecimento. Empregavam inicialmente um número relativamente pequeno de relações (parte de, um, tipo de, uma causa de) chamadas de relações binárias fundamentais em grafos de conhecimento. Posteriormente, compreenderam que os grafos deveriam ser incorporados em estruturas (*frameworks*) para trazer mais semântica, proporcionando um melhor entendimento para pessoas e computadores (Bakker, 1987; Bergman, 2019). Hoje estas estruturas são chamadas de ontologias (Bergman, 2019).

Barrasa & Webber (2023) afirmam que um grafo é transformado em grafo de conhecimento quando ocorre a aplicação de um princípio de organização, ou seja, uma estrutura para trazer semântica aos dados. Dentre os princípios de organização citam grafo de propriedade rotulado, taxonomia e ontologia.

Gruber (1993, p. 1) originalmente definiu ontologia como uma “especificação explícita de uma conceituação”. Borst (1997, p. 12) definiu uma ontologia como uma “especificação formal de uma conceituação compartilhada” indicando que a conceituação expressasse uma visão compartilhada entre várias partes, um consenso ao invés de uma visão individual. Por fim, Studer et al. (1998, p. 25) fundiram essas duas definições

afirmando que “Uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada”.

Sob o ponto de vista da modelagem, Gruber (2008, p. 1) diz que ontologia define “um conjunto de primitivas representacionais com as quais se modela um domínio de conhecimento ou discurso”, sendo as primitivas representacionais “normalmente classes (ou conjuntos ou tipo único de coisas que estão nos dados) e relacionamentos (ou relações entre os membros da classe) e atributos (ou propriedades) ”.

De modo geral, uma ontologia pode ser representada em um grafo (Feilmayr & Wöß, 2015; Fu et al., 2013). As primitivas representacionais de classes, relacionamentos e atributos são representadas através dos elementos do grafo de nodos e arestas rotuladas.

Desta forma, um grafo de conhecimento é formado pela ontologia trazendo estrutura e semântica para os respectivos dados e informações que também o compõem.

3 CASO PRÁTICO

Será apresentado um breve caso prático considerando um domínio específico de artigos publicados em periódicos, baseado nos conceitos supra apresentados e contribuições práticas de Schrader (2020). São apresentados os dados e informações deste domínio, a ontologia e o grafo de conhecimento.

3.1 DADOS E INFORMAÇÕES DE UM DOMÍNIO

No Quadro 1 é apresentada a relação de uma amostragem de artigos e demais dados e informações relacionadas. Os dados e informações relacionadas dos autores são apresentados no Quadro 2 e das editoras no Quadro 3.

Quadro 1- Relação de artigos

Autor	Título	Periódico	Vol.	Ed.	Data	Editora
Porter, M.E.	Competitive Strategy	Measuring Business Excellence	1	2	Fev/1997	Emerald Publishing
Barney, J.	Firm Resources and Sustained Competitive Advantage	Journal of Management	17	1	Mar/1991	Sage
Teece, D.J.; Pisano, G.; Shuen, A.	Dynamic Capabilities and Strategic Management	Strategic Management Journal	18	7	Dez/1998	John Wiley & Sons

Fonte: Autor

Quadro 2- Relação de autores

Autor	País de Nascimento
Porter, M.E.	EUA
Barney, J.	EUA
Teece, D.J.	Nova Zelândia
Pisano, G.	EUA
Shuen, A.	EUA

Fonte: Autor

Quadro 3- Relação de editoras

Editora	Cidade	País
Emerald Publishing	Bingley	Reino Unido
Sage	Newbury Park	EUA

Fonte: Autor

Posteriormente, com base nos dados e informações uma ontologia correspondente é construída.

3.2 ONTOLOGIA

Com base nos dados e informações, são identificadas as primitivas representacionais correspondentes. Ou seja, são identificadas as classes, relacionamentos e atributos do domínio específico.

Inicialmente buscou-se identificar as classes, tendo como classes candidatas Artigo, Editora e Autor. Explorando um pouco mais os dados, pode-se definir ainda as classes Periódico e Localização. Desta forma, tem-se as seguintes classes identificadas: Artigos, Autores, Editoras, Periódicos e Locais.

Posteriormente, os relacionamentos entre as classes são identificados definindo um rótulo para proporcionar a semântica, isto é, um significado mais claro. Sendo assim, os seguintes relacionamentos são identificados:

- Artigos são publicados em periódicos
- Artigos são publicados por editoras
- Artigos possuem autores
- Editoras são responsáveis pela publicação de periódicos
- Editoras estão localizadas em um local
- Autores estão localizados em um local
- Localização está localizada em um local

Os atributos de cada classe também devem ser identificados com um rótulo que os descreve, visto que estes caracterizam valores de cada classe específica, por exemplo:

- Periódicos possuem um número de volume
- Periódicos possuem um número de edição
- Periódicos são publicados na data

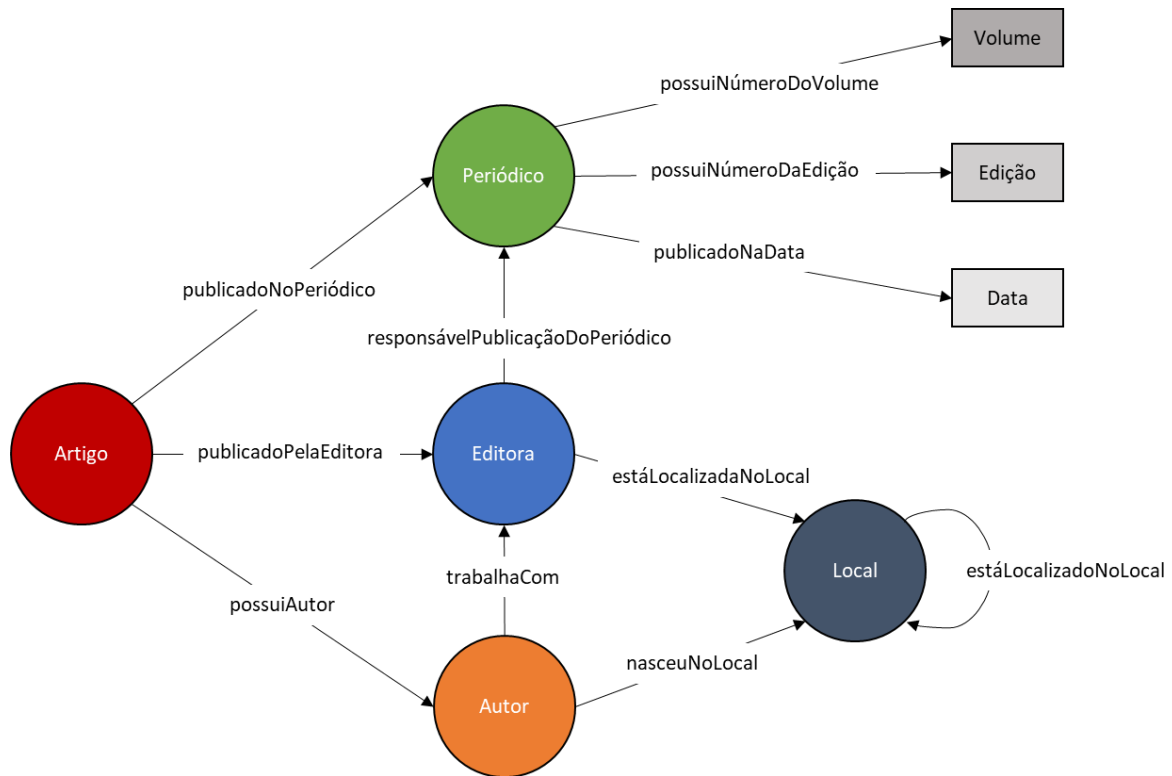
As relações, tanto entre as classes, quanto entre classe e atributos, por convenção podem ser generalizadas e chamadas de propriedades.

As listas trazendo as relações entre as classes e os atributos na classe com os respectivos rótulos promovem um bom entendimento. Entretanto, para proporcionar uma semântica mais rica e alinhamento com os requisitos tecnológicos é conveniente que as listas sejam reescritas para a construção da ontologia, trazendo classes e atributos para o singular, iniciando em maiúsculo e as propriedades iniciando em minúsculo com os próximos termos iniciando em maiúsculo, conforme segue:

- Artigo → publicadoNoPeriódico → Periódico
- Artigo → publicadoPelaEditora → Editora
- Artigo → possuiAutor → Autor
- Editora → responsávelPublicaçãoDoPeriódico → Periódico
- Editora → estáLocalizadaNoLocal → Local
- Autor → nasceuNoLocal → Local
- Local → estáLocalizadoNoLocal → Local
- Periódico → possuiNúmeroDoVolume → Volume
- Periódico → possuiNúmeroDaEdição → Edição
- Periódico → publicadoNaData → Data

Por fim, a ontologia pode ser representada em um grafo, conforme apresentado na Figura 2. Por convenção, para diferenciar classes e atributos, os nodos de classes foram representados com círculos e os nodos de atributos como retângulos.

Figura 2 – Representação da ontologia em um grafo



Fonte: Autor

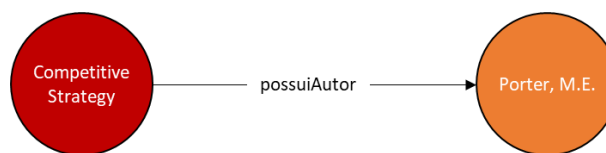
Esta ontologia fornece uma estrutura e semântica para que os dados e informações de artigos publicados possam ser organizados e definidos.

3.3 GRAFO DE CONHECIMENTO: ONTOLOGIA + DADOS E INFORMAÇÃO

Adicionando dados e informações à ontologia, é possível construir um grafo de conhecimento. Tem-se, portanto, grafos de conhecimento como instâncias de dados reais da ontologia.

Na Figura 3 é apresentada uma tripla da instância da ontologia que inclui dados e informações do Quadro 1, na relação Artigo → possuiAutor → Autor.

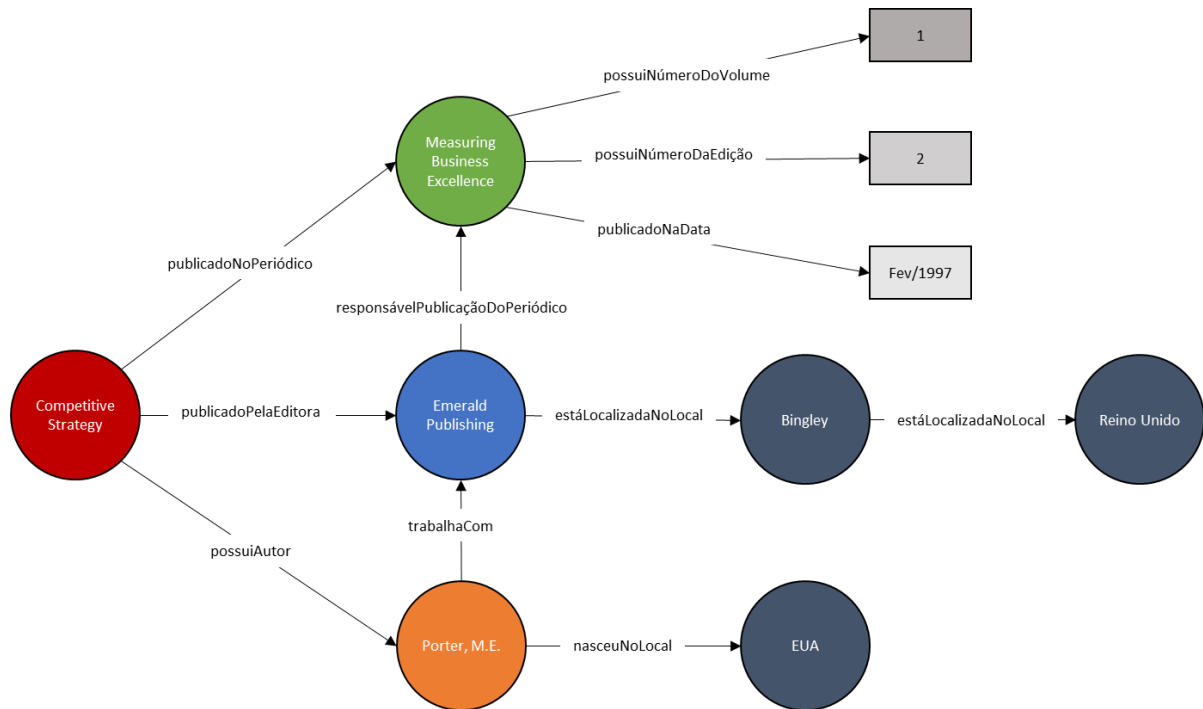
Figura 3 – Uma tripla do grafo de conhecimento



Fonte: Autor

Adicionando os demais dados e informações relacionadas ao artigo Competitive Strategy, referente ao Quadro 2 e 3, obtêm-se o grafo de conhecimento inicial para este artigo, conforme apresentado na Figura 4.

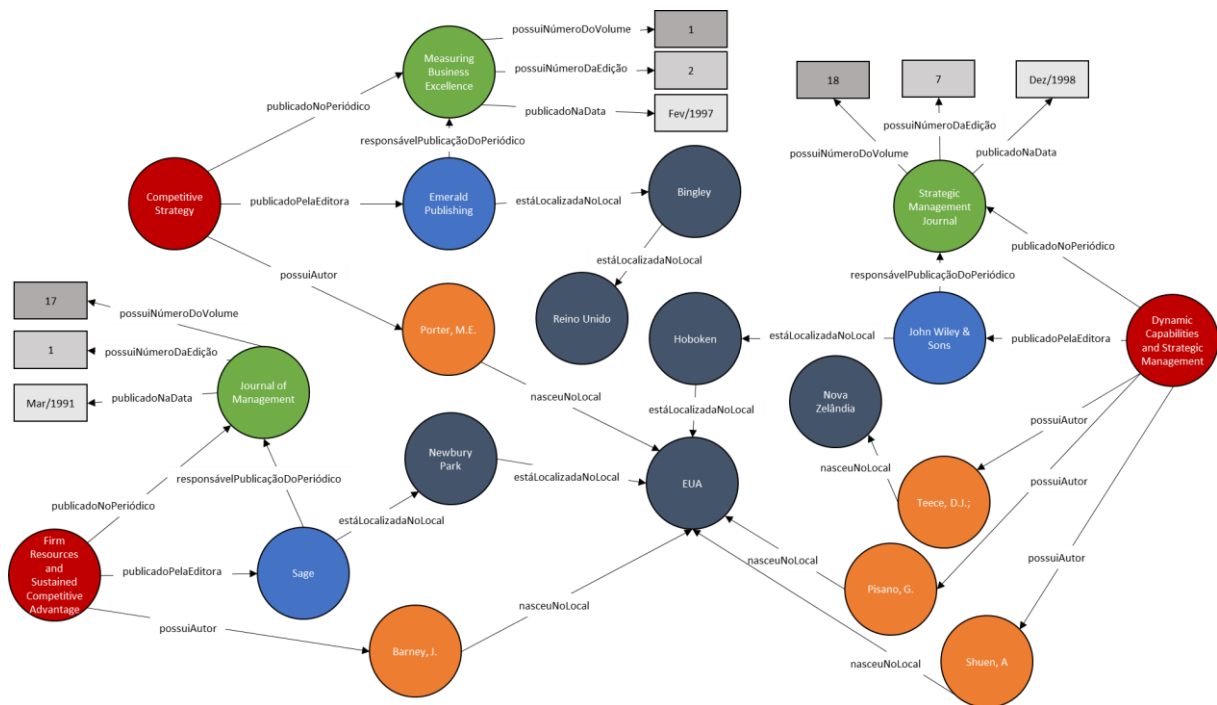
Figura 4 – Grafo de conhecimento para um artigo



Fonte: Autor

Considerando todos os dados e informações apresentados nos quadros acima tem-se o grafo de conhecimento completo apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Grafo de conhecimento completo



Fonte: Autor

Com um grafo de conhecimento é possível visualizar os dados e informações como uma teia semântica de relacionamentos, em vez de tabelas separadas, possibilitando obter novas conexões entre dados e informações e permitindo inferências que de outra forma não seriam possíveis.

De maneira geral, um grafo de conhecimento é de leitura amigável e de interpretação mais fácil para um ser humano. Todavia, para que possa ser interpretável por máquinas, um conjunto de tecnologias são necessárias.

4 TECNOLOGIAS RELACIONADAS AOS GRAFOS DE CONHECIMENTO

Embora grafos de conhecimento tenham uma aplicabilidade ampla, foi no contexto da *web* que esta tecnologia mais se desenvolveu. O desejo de publicar dados estruturados e com significados (semântica) estava presente na origem da *web*. Berners-Lee et al. (1994, p. 82) afirmava à época a necessidade futura de “evolução dos objetos de serem principalmente documentos legíveis por humanos para mais informações semânticas orientadas à máquina”.

No início deste século, Berners-Lee (2000, p. 185) apresentaram o termo Web Semântica como “sendo uma rede de conexões entre diferentes formas de dados que permite que uma máquina faça algo”. Assim, a Web Semântica ou Web de Dados trata do objetivo ou o resultado final desse processo em que, o conceito de Dado Interligado (*Linked Data*), fornece os meios para atingir tal objetivo (Bizer et al., 2009).

Dados Interligados referem-se aos dados publicados na *web* de forma que sejam legíveis por máquina, seu significado seja explicitamente definido, esteja interligado a outros conjuntos de dados externos e, por sua vez, possam ser interligados a partir de conjuntos de dados externos. Dados Interligados dependem de duas tecnologias que são fundamentais para *web*, URI (*Uniform Resource Identifiers*) e HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) e adicionalmente suplementado por uma tecnologia crítica para a Web de Dados, o RDF (*Resource Description Framework*). O RDF fornece um modelo de dados genérico

baseado em grafo na qual a estrutura se interliga aos dados que descrevem as coisas do mundo (Bizer et al., 2009; RDF, 2004).

Os grafos de conhecimento são principalmente sobre coisas e quando se trata de negócio, são sobre objetos de negócios. Tecnicamente, cada coisa é representada e endereçada por um URI que é o elemento fundamental para o grafo de conhecimento. O RDF usa URIs para nodos e arestas formando um grafo direcionado e rotulado na forma de triplas compostas de sujeito → predicado → objeto (Bizer et al., 2019; Blumauer, & Nagy, 2020; RDF, 2014).

Segundo Bizer et al. (2019), “o sujeito e o objeto de uma tripla são ambos URIs, cada um identificando um recurso, ou um URI e um literal de sequência de caracteres (*string*), respectivamente. O predicado especifica como o sujeito e o objeto estão relacionados, e é também representado por um URI”.

Para apoiar a construção de RDFs foram especificados padrões de linguagem. A RDFS (*RDF Vocabulary Definition Language*) e a OWL (*Web Ontology Language*) fornecem uma base para a criação de vocabulários e ontologias que podem ser usados para descrever entidades no mundo (coisas) e como elas são relacionados (Bizer et al., 2019).

SPARQL é uma linguagem e protocolo utilizados para consulta semântica e manipulação de conteúdo de grafo RDF na *web* ou armazenamento de RDF (*RDF Store*) (SPARQL, 2013). Este também é chamado de armazenamento de tripla (*Triple Store*) (Rusher, 2001).

A pilha de tecnologias da Web Semântica está sob a égide da W3C (*World Wide Web Consortium*) como um padrão aberto e vem evoluindo durante o tempo com novas versões e extensões. Entretanto, existem outras tecnologias especialmente voltadas para grafos de propriedades rotulados, muitas delas proprietárias, como Cypher, PGQL e G-Core. Estas tecnologias, dentre outras, estão sendo consideradas desde setembro de 2019 por uma força de trabalho ISO (*International Organization for Standardization*) para definirem um novo padrão de linguagem de consulta de grafo que foi descrito inicialmente no Manifesto GQL (*Graph Query Language*) (GQL, 2019). O padrão GQL será publicado no início de 2024 com a designação oficial de “ISO/IEC 39075 *Information technology — Database languages — GQL*” (GQL, 2023).

Além de organizações como a ISO juntando esforços relacionados aos grafos, em 2019 a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) combinou suas conferências anuais internacionais sobre *Big Knowledge* e *Data Mining and Intelligent Computing* dentro da Conferência Internacional sobre Grafo de Conhecimento (IEEE, 2023).

Grafo de Conhecimento Incorporado (*Knowledge Graph Embedding*) (Fan et. al, 2014) é uma abordagem que utilizada para facilitar a computação do conhecimento através codificação do grafo de conhecimento em um espaço de incorporação (*embedding*) de baixa dimensão, proporcionando melhor adequação a natureza dos algoritmos de inteligência artificial. É a representação de entidades e relacionamentos de grafos de conhecimento dentro de espaço semântico de baixa dimensão destinado a um amplo espectro de aplicação como predição de link (*link prediction*), raciocínio sobre conhecimento (*knowledge reasoning*), conclusão de conhecimento (*knowledge completion*) (Cao et. al, 2023). Modelos de linguagem pré-treinadas recentemente estão sendo propostas para melhor lidar com conhecimento textual na aprendizagem dos modelos de incorporação (Alam et. al, 2022)

Neste sentido, esta seção permitiu verificar, ainda que de maneira breve, o conjunto de tecnologias disponíveis relacionados aos grafos de conhecimento, bem como perceber uma clara evolução e, mais recentemente, um esforço para padronização dessas tecnologias.

5 CONCLUSÃO

Grafo de conhecimento vem sendo estudado há algum tempo, embora recentemente tenha obtido mais atenção, especialmente pelo anúncio de uma grande empresa de tecnologia.

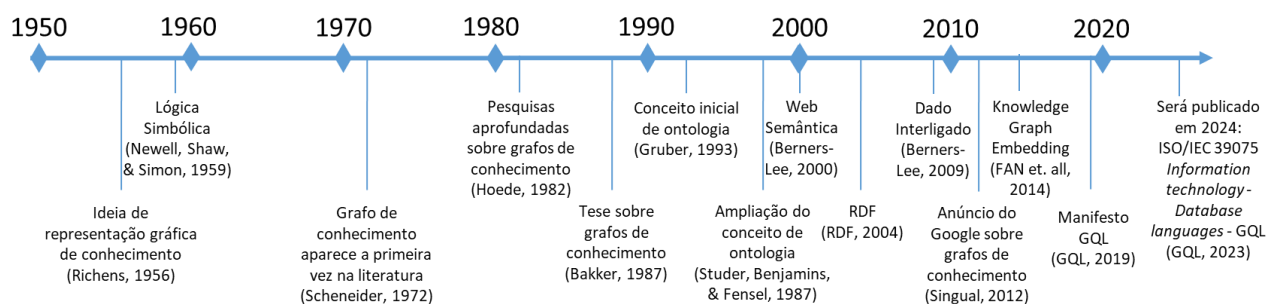
O uso de grafo para a representação de conhecimento é atraente, porque além ser uma representação óbvia, a matemática bem desenvolvida da teoria dos grafos pode ser utilizada para a análise e estruturação do conhecimento representado.

Um grafo de conhecimento é composto por uma ontologia mais dados e informações. A construção de ontologias cria uma estrutura semântica de classes, relacionamentos e atributos para os dados e informações.

O conceito de triplas, uma relação entre três elementos, é evidente na representação do conhecimento. Bakker (1987) apresenta os elementos objeto → propriedade → valor no seu esquema de grafo de conhecimento. A teoria dos grafos traz os elementos nodo → aresta → nodo. Sob o ponto de vista tecnológico RDF traz os elementos sujeito → predicado → objetivo. Embora os termos utilizados são diferentes, a intenção de obter uma representação do conhecimento é a mesma.

A figura 6 apresenta uma síntese do que foi apresentado considerando os principais marcos na linha temporal relacionados aos grafos de conhecimento.

Figura 6 – Marcos na linha do tempo relacionados aos grafos de conhecimento



Fonte: Autor

As tecnologias envolvidas no contexto apresentado neste trabalho continuam evoluindo, tanto as relacionadas à Web Semântica com novas versões e extensões, bem como novas abordagens como GQL buscando estabelecer um padrão de linguagem de consulta e facilitar a representação e o desenvolvimento de aplicações baseadas em grafos de conhecimento.

Respondendo as questões de pesquisa este artigo traz como contribuição o resgate da origem do termo e conceitos relacionados aos grafos de conhecimentos, um caso apresentando como construir grafos de conhecimento e suas principais tecnologias relacionadas.

6 REFERÊNCIAS

Alam, M. M., Rony, R. A. H., Nayyeri, M., Mohiuddin, K., Akter, M. S. T. M., Vahdati, S., Lehmann, J. (2022). Language Model Guided Knowledge Embeddings. IEEE Access,

Bakker, R. R. (1987). Knowledge Graphs: Representation and Structuring of Scientific Knowledge [Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede].

- Barabási, A. L. (2015). *Network Science*. Cambridge University Press. <http://networksciencebook.com/>
- Barrasa, J., & Webber, J. (2023). *Building Knowledge Graphs*. O'Reilly Media. <https://www.oreilly.com/library/view/building-knowledge-graphs/9781098127091/>
- Bergman, M. K. (2019). A Common Sense View of Knowledge Graphs. Adaptive Information Blog, Iowa, USA. <https://www.mkbergman.com/2244/a-common-sense-view-of-knowledge-graphs/>
- Berners-Lee, T., Cailliau, R., Luotonen, A., Nielsen, H. F., Secret, A. (1994). A. The World-Wide Web, *Communications of the ACM*, 37(8).
- Berners-Lee, M. (2000) *Weaving the Web*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Berners-Lee, T., Connolly, D., Stein, L. A., Swick, R. (2000). A. The Semantic Web, W3C. Recuperado em 15 de Agosto de 2023, de <https://www.w3.org/2000/Talks/0906-xmlweb-tbl/text.htm>.
- Biggs, N. L., Lloyd, E. K., & Wilson, R. J. (1986). *Graph Theory*. Oxford University Press.
- Bizer, C., Heath, T., & Berners-Lee, T. (2009) *Linked Data - The Story So Far*. *International journal on semantic web and information systems*, 5(3):1–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.4018/jswis.2009081901>
- Blumauer, A., & Nagy, H. (2020). *The Knowledge Graph Cookbook: recipes that work*. Monochrom.
- Borst, W. N. (1997) *Construction of Engineering Ontologies*. [PhD thesis, Institute for Telematica and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands].
- Cao, J., Fang, J., Meng, Z., Liang, S. (2023) *Knowledge Graph Embedding: A Survey from the Perspective of Representation Spaces*, 1(1), *ACM Comput. Surv.*
- Fan, M., Zhou, Q., Chang, E., & Zheng, T. F. (2014) *Transition-based knowledge graph embedding with relational mapping properties*, 328-337. 28th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation, PACLIC 2014.
- Feilmayr, C., & Wöß, W. (2015). An analysis of ontologies and their success factors for application to business. *Data & Knowledge Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.datak.2015.11.003>
- Fu, B., Noy, N.F, & Storey, M. (2013) *Indented Tree or Graph? A Usability Study of Ontology Visualization Techniques in the Context of Class Mapping Evaluation*, *International Semantic Web Conference*, I, 117–134.
- GQL (2019). *The GQL Manifest - One Property Query Language*. The GQL Manifest. Recuperado em 15 de agosto 2023, de <https://gql.today/>.
- GQL. (2023). *GQL Standard – Graph Query Language*. Recuperado em 12 de Agosto de 2023, de <https://www.gqlstandards.org/>.
- Gruber, T. (1993). A Translation Approach to Portable Ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199–220.
- Gruber, T. (2008). *Ontology*. In the *Encyclopedia Data Systems*, Ling Liu and M. Tamer Özsu (eds.), Springer-Verlag.
- IEEE. (2023). *IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)*. Disponível em: <https://kmeducationhub.de/ieee-international-conference-big-knowledge-icbk>. Acessado em: 12/08/2023.
- Ji, S., Pan, S. Cambria, E., Marttinen, P. Yu, & P S. (2022) *A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition and Applications*. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33 (2).

Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. (1959). A. Report on a general problem solving program. in Proc. IFIP Congress, 256, 64.

Nurdiati, S., & Hoede, C. (2008). 25Years Development of Knowledge Graph Theory: The Results and the Challenge, Department of Applied Mathematics, The University of Twente.

RDF. (2014). Resource Description Framework (RDF). W3C Semantic Web. Recuperado em 11 de Agosto de 2023, de <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/RDF>.

Richens, R. H. (1956). Preprogramming for mechanical translation. Mechanical Translation, 3(1), 20–25.

Rusher, J. (2001). Triple Store. Radar Networks. Recurado em 11 de Agosto de 2023, de <https://www.w3.org/2001/sw/Europe/events/20031113-storage/positions/rusher.html>.

Schneider, E. W. (1972). Course Modularization Applied: The Interface System and Its Implications For Sequence Control and Data Analysis. In Association for the Development of Instructional Systems (ADIS), Chicago, Illinois.

Schrader, B. (2020). What's the Difference Between an Ontology and a Knowledge Graph?, Enterprise Knowledge, White-paper. Recuperado em 11 de Agosto de 2023, de <https://live-enterprise-knowledge.pantheonsite.io/wp-content/uploads/2020/01/Ontologies-vs.-Knowledge-Graphs.pdf>

SPARQL. (2013). SPARQL 1.1 Overview. W3C. Recuperado em 11 de Agosto de 2023, de <https://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-overview-20130321/>.

Singual, A. (2012). Introducing the Knowledge Graph: things, not strings. Google. Recuperado em 11 de Agosto de 2023, de <https://blog.google/products/search/introducing-knowledge-graph-things-not/>.

Sowa, J. F. (1984). Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine. Reading, MA: Addison-Wesley.

Sheth, A., Padhee, S., & Gyrard, (2019). A. Knowledge Graphs and Knowledge Networks: The Story in Brief, IEEE Computer Society.

Studer, R., Benjamins R., & Fensel, D. (1998) Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering, 25(1–2), 161–198. In The new encyclopedia Britannica, 38, 745-758. Chicago: Forty-One Publishing.