INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO
teoria & prática

Vol. 25 | N° 2 | 2022

ISSN digital 1982-1654 ISSN impresso 1516-084X

Páginas 38-49

Representação do conhecimento por meio de knowledge graphs: aplicação e categorização no domínio educacional

Knowledge representation through knowledge graphs: application and categorization in the educational domain

Bartholomeo Oliveira Barcelos
Universidade Federal de Santa Catarina
barthobarcelos@gmail.com

Robson Fernando Duda
Universidade Federal de Santa Catarina
robsonferduda@gmail.com

Adão Daniel da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina
advdaniel56@gmail.com

Alexandre Leopoldo Gonçalves
Universidade Federal de Santa Catarina
a.l.goncalves@ufsc.br

José Leomar Todesco
Universidade Federal de Santa Catarina
tite@egc.ufsc.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo investigar quais são as aplicações de KGs no domínio educacional e identificar as características destes em soluções de ensino nas quais foram aplicados. Como procedimento metodológico utilizou-se uma revisão narrativa, com busca estruturada, que analisou três bases de pesquisa: Scopus®, Web of Science® e IEEE Xplore®. Ao todo foram identificadas 71 publicações, que após serem submetidas a critérios de inclusão e exclusão alcançaram um quantitativo de 29 pesquisas elegíveis para análise em profundidade. Como resultados, foram propostas duas categorizações, a primeira, denominada de KGs no domínio educacional, que colabora para a análise e identificação das etapas de construção e implementação de uma arquitetura básica para KGs. Já a segunda, denominada de finalidades e objetivos dos KGs, evidencia as características e aplicações destes no domínio educacional. Os resultados fornecem um panorama sobre os estudos relacionados à KGs evidenciando o potencial desta tecnologia para a representação de conhecimento no domínio pesquisado.

Palavras-chave: Knowledge graph. Domínio educacional. Educação. Aplicações de Knowledge graph.

Abstract

This study aims to investigate what are the applications of KGs in the educational domain and identify their characteristics in teaching solutions in which they were applied. As methodological procedures, it uses a narrative review with a structured search applied to analyze three data bases: Scopus®, Web of Science® and IEEE Xplore®. In all, it identified 71 publications, that, after being submitted to inclusion and exclusion criteria, returned a total of 29 eligible documents for an in-depth analysis. As a result, two categorizations were proposed, the first, called KGs in the educational domain, which collaborates for the analysis and identification of the stages of construction and implementation of a basic architecture for KGs. The second, named purposes and objectives of the KGs, highlights their characteristics and applications in the educational domain. The results provide an overview of studies related to KGs, highlighting the potential of this technology for the representation of knowledge in the researched domain.

Keywords: Knowledge graph. Educational domain. Education. Knowledge graph applications.

UFRGS PPGIE

PORTO ALEGRE
RIO GRANDE DO SUL
BRASIL

Recebido em: junho de 2022
Aprovado em: dezembro de 2022

1. Introdução

A difusão dos computadores e das primeiras linguagens de programação levou ao que se convencionou chamar de informática, compreendendo cinco linhas de desenvolvimento, segundo Gutierrez e Sequeda (2019): 1) automação de raciocínio para processar informações complexas; 2) desenvolvimento de processos para realização de buscas de dados em diferentes tipos de espaços de armazenamento; 3) a recuperação de informações de fontes não estruturadas; 4) as linguagens e sistemas para trabalhar com dados; e 5) a representação gráfica do conhecimento.

O contexto da representação do conhecimento por meio de grafos, sendo aqui denominado de *Knowledge Graph* (KG), é o objeto de estudo deste artigo. O termo grafo ou mapa do conhecimento recebeu tal designação no final do século 20 e ganhou notoriedade quando a empresa Google® o integrou na sua ferramenta de busca no ano de 2012 (GUTIERREZ; SEQUEDA, 2019).

Desde então, a evolução do conceito de KG vem ganhando dinamicidade por meio da convergência de métodos estatísticos e lógicos em diversas áreas. Abu-Salih (2020), indicou 7 (sete) domínios para os quais grafos de conhecimento foram construídos e usados para resolver diferentes problemas da vida real: Saúde, Educação, Tecnologia da Informação, Ciência e Engenharia, Finanças, Política, Sociedade e Viagens.

O interesse de aplicação do KG na área educacional ganhou muitas conotações, por exemplo, tem servido para avaliar o desempenho dos alunos para o simples controle de suas atividades (Zegarra; Chang; Wang, 2015; Le *et al.*, 2020; De Medio *et al.*, 2017) ou, mais profundamente, para desenvolver um processo de ensino personalizado que considera as condições de cada ator envolvido nesse processo, seja o professor, o aluno, ou a instituição educacional (LIU *et al.*, 2019; ILKOU; SIGNER, 2020; GAO; WANG; XU, 2020).

Com o enfoque na área educacional, surge a seguinte questão de pesquisa: "quais são as aplicações de KGs no domínio educacional e como estas podem ser categorizadas de acordo com seu processo de desenvolvimento e utilização"?

A partir disso, este estudo tem como objetivo investigar quais são as aplicações de KGs no domínio educacional e identificar as características destes em soluções de ensino nas quais foram aplicados. O trabalho apresenta uma fundamentação teórica que faz reflexões sobre KGs e a área educacional; após são apresentados os procedimentos metodológicos, seguido das discussões e resultados do trabalho, finalizando com as considerações finais.

2. *Knowledge Graphs* (KGs) no domínio educacional

Esta seção visa apresentar e refletir conceitos-chave deste estudo sobre o desenvolvimento e utilização de KGs na perspectiva do domínio educacional.

2.1 *Knowledge Graph*

KG é entendido como um tipo de representação relacional do conhecimento que, conforme Davis, Shrobe e Szolovits (1993), tem uma longa história na lógica e inteligência artificial. Na comunidade da Web Semântica vem sendo utilizado com o propósito de criar uma ''web de dados'' para ser lida por máquinas, destacam Berners-Lee, Hendler e Lassila (2001).

Recentemente, Hogan *et al.* (2021, p. 30) definem KG "como um grafo de dados destinado a acumular e transmitir conhecimento do mundo real, cujos nós representam entidades de interesse e cujas arestas representam relações potencialmente diferentes entre essas entidades". Wang *et al.* (2021), destacam que o KG se assemelha a uma forma especial de rede semântica, que integra dados em um grafo auxiliando no processamento e raciocínio do conhecimento.

Shaoxiong *et al.* (2015, p. 1), destacam o KG como uma "representação estruturada de fatos, consistindo em entidades, relacionamentos e descrições semânticas. Entidades, podem ser objetos do mundo real e conceitos abstratos; relacionamentos, representam a relação entre entidades; e as descrições semânticas de entidades e seus relacionamentos, contêm tipos e propriedades com um significado bem definido".

A construção de um KG pode ser realizada utilizando diferentes recursos, com destaque para a Estrutura de Descrição dos Recursos[1], nos quais os nós representam entidades de domínio conectados por arestas que representam relacionamentos. O conjunto de entidades e relacionamentos são organizados em uma ontologia que define sua semântica e suas restrições de uso (ZOU, 2020).

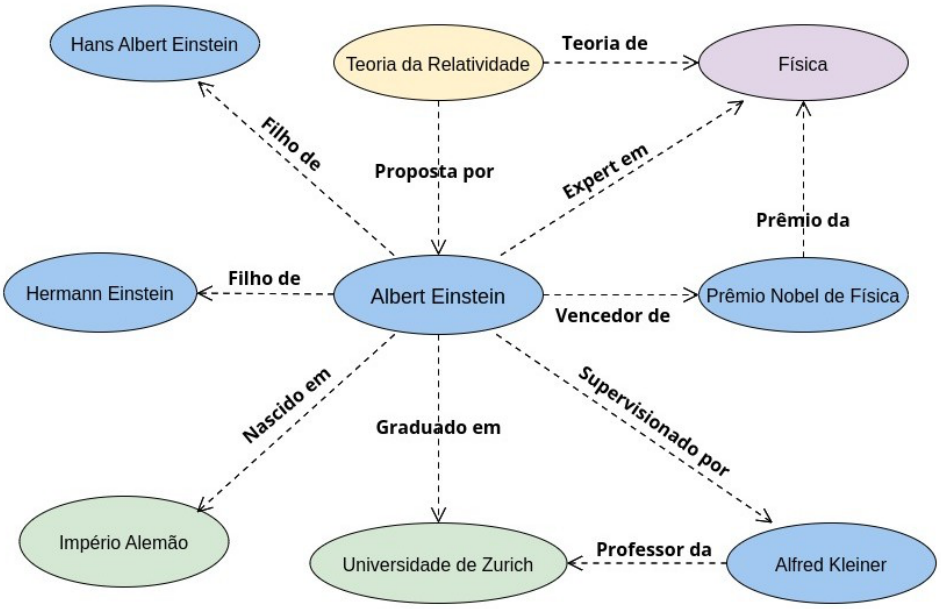
O processo de construção de um KG é constante e pode ser dividido em duas categorias, conforme Qin, Cao e Xue (2020):

[1] do inglês *Resource Description Framework* (RDF)

- De cima para baixo: se refere a um método baseado na construção de ontologias utilizando fontes de dados estruturadas para extração de conceitos e das regras de restrição, para posteriormente adicioná-las à base de conhecimento do grafo; e,
- De baixo para cima: se refere ao uso de métodos como reconhecimento de padrões e regras de escrita para processar diretamente os dados coletados e extrair informações valiosas (como entidades, relações, entre outras.) necessárias à construção do grafo de conhecimento.

A representação do KG (Figura 1) de Zhou *et al.* (2015) corrobora com as indicações anteriores de que este é uma espécie de rede semântica, em que os nós representam os conceitos e as arestas do grafo representam as relações semânticas entre os conceitos.

Figura 1 - Estrutura do KG

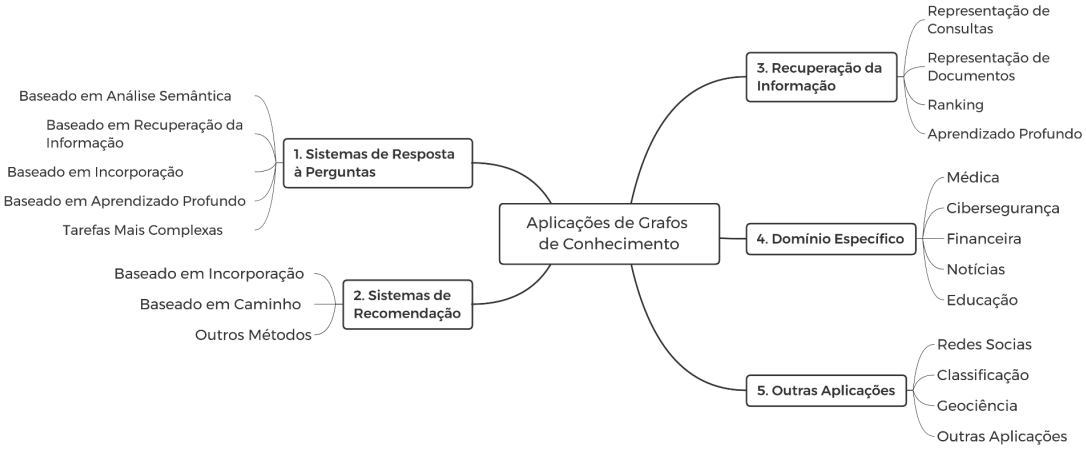


Fonte: Extraído de Ji *et al.* (2015).

Segundo Singhal (2012), um marco na popularização do tema foi o ano de 2012, quando o KG da empresa Google® foi iniciado com o intuito de apresentar resultados mais precisos e úteis em seu mecanismo de busca na *web*, além de também influenciar o recurso de autocomplete de pesquisas preditivas. Rospocher *et al.* (2016) complementam que os mecanismos de busca são as tecnologias responsáveis por alavancar a popularidade dos KGs, visto que as ferramentas de busca como Google® e Bing® passaram a empregá-los constantemente na apresentação de seus resultados.

Pesquisas sobre KGs podem ser classificadas em duas categorias: técnicas de construção e de aplicação de KGs. Estudos sobre técnicas de construção se concentram na extração, representação, fusão e raciocínio do conhecimento nos grafos. Enquanto outros estudos abordam sobre a aplicação de KGs em domínios específicos (Zou, 2020). O autor destaca ainda, que a maioria dos artigos dedicados à aplicação de KGs se relacionam à áreas específicas, além da aplicação em domínios específicos.

Figura 2 - Campos de Aplicação



Fonte: Adaptado de Zou (2020).

A Figura 2 sintetiza os resultados da pesquisa de Zou (2020). Na sequência são apresentados mais detalhes sobre esses campos de aplicação de KGs:

- Sistema de Resposta à Perguntas: a representação semântica dos KGs pode colaborar na qualificação, dos resultados de pesquisa, de serviços de sistemas de resposta à perguntas com reconhecimento de semântica;
- Sistemas de Recomendação: o KG é empregado, principalmente, como fonte de informações secundárias, ajudando a aprimorar a precisão das recomendações e a diversidade de itens recomendados;
- Recuperação de Informação: a propriedade dos KGs de conter e representar entidades (objetos do mundo real e conceitos abstratos) colabora para aperfeiçoar a capacidade dos sistemas de buscas de entender as consultas e os documentos, ou seja, a busca orientada à entidades;
- Domínios Específicos: para além das áreas genéricas de aplicação, os KGs podem ser aplicados em *corpus* de domínio para resolver problemas específicos.
- Outras Aplicações: estas representam a utilização de KGs em tarefas muito específicas, nas quais estes não são a finalidade principal, mas os elementos de suporte, parte de uma solução tecnológica.

Entre os domínios específicos de aplicação está a área da Educação, na qual "o grafo de conhecimento visa revelar a estrutura interior dos tópicos de conhecimento, tratando do núcleo do material educacional e do processo de ensino, que é representado pelos resultados da aprendizagem" (ILKOU; SIGNER, 2020, p. 3).

2.2 Usos de KGs no contexto educacional

A representação do conhecimento tornou-se uma das tarefas mais importantes no desenvolvimento de uma educação inteligente. Neste contexto, Su e Zhang (2020) reforçam que os pesquisadores utilizam KGs para descrever estruturas de conhecimento no domínio educacional, realizando pesquisas e aplicações de ensino não-lineares, que incluem: microensino, avaliação da aprendizagem, trilhas de aprendizagem e recomendação de conteúdos de aprendizagem.

No domínio da educação, Qin, Cao e Xue (2020) destacam que os KGs são frequentemente usados para o ensino e aprendizagem de disciplinas, onde também são chamados de mapas conceituais. A utilização como um recurso de recomendação de aprendizagem e visualização de conceitos, também é destacado por Zou (2020).

Sobre a aplicação do KG nos processos de ensino, Qin, Cao e Xue (2020) destacam, por exemplo, que a utilização deste no ensino da disciplina de banco de dados auxilia o docente e alunos na identificação dos conceitos basilares de cada temática estudada na disciplina. Do mesmo modo, auxilia os docentes na redução do tempo de trabalho; qualificação de suas tarefas laborais; detecção e avaliação do conhecimento dos alunos em qualquer momento pedagógico; compreensão das tendências de aprendizagem; melhora das habilidades de aprendizagem e eficiência dos alunos.

A aplicação do KG também é realizada por meio da integração da técnica de ensino do tipo estudo de casos

com disciplinas do ensino superior. Hu, Jiang e Li (2019), propuseram o uso do método do Grafo de Conhecimento e dos Casos de Ensino[2] utilizado para armazenar casos, por exemplo, de fraudes na *internet*, que filtra os casos por meio das características apresentadas no grafo de conhecimento, e seleciona o caso mais adequado para a aula, tornando o ensino mais personalizado.

A representação de conhecimento por meio de KG pode promover suporte à compreensão das características e a arquitetura do conhecimento da matriz curricular de um curso, como por exemplo, em um curso de tecnologia da informação. Este tipo de aplicação realizado por Gao, Wang e Xu (2020), indicou que o KG pode contribuir na realização de pesquisas mais aprofundadas, as quais o docente pode recomendar recursos de aprendizagem para o aluno, como uma trilha de aprendizagem mais adequada visando oferecer suporte para uma educação personalizada.

Uma outra utilização no domínio educacional é proposta por Karimi *et al*. (2020) que combinaram o uso do KG com Redes Neurais de Grafos Relacionais[3] para elaboração de modelos preditivos que avaliam o desempenho dos alunos e detectam aqueles que têm probabilidade de desistir ou reprovar em um curso *on-line*, denominado de Avaliação de Desempenho Profundo[4] em tempo real. Neste, os dados históricos do curso on-line são modelados na forma de um grafo de conhecimento, que fornecerá dados para uma RGNN para esta extrair os atributos dos alunos e do curso, a fim de modelar uma Rede Neural Recorrente[5] para codificar os dados comportamentais dos alunos de acordo com suas interações no ambiente virtual de ensino e aprendizagem da instituição.

3. Procedimentos Metodológicos

Nesta pesquisa foi realizada uma revisão narrativa, com busca estruturada, com o objetivo de mapear como o recurso semântico de representação do conhecimento denominado de *Knowledge Graph* (KG) é aplicado na área da Educação.

Dessa forma, foram selecionadas três bases de pesquisa: Scopus®, Web of Science® e IEEE Xplore®, que figuram entre as importantes bases de busca acadêmica, além de agregarem em suas bases um número extenso e variado de periódicos.

Norteando-se pela questão de pesquisa foram realizadas buscas prévias para localizar termos similares aos constructos para potencializar os resultados da pesquisa, tendo como *string* de busca: (TITLE-ABS-KEY ("*knowledge graph*") AND TITLE-ABS-KEY ("*teaching*")). Foram realizados outros ensaios combinando as palavras-chave como "*education*" ou "*educational*" nas bases de dados, mas optou-se pela palavra "*teaching*" na busca dos documentos, pois a qualidade dos resultados atendeu de forma adequada os objetivos deste estudo.

Os resultados da busca realizada no mês de Dezembro do ano de 2020 são apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 - Resultado das Buscas

Base de Dados	Tipo de Documento	Período	Total de Publicações
Scopus (Elsevier)	Artigos de Periódicos e Conferências	até o ano 2020	49
Web of Science	Artigos de Periódicos e Conferências	até o ano 2020	14
IEEE Xplore	Conferências	até o ano 2020	10
Total Geral			73

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da base de dados bruta, procedeu-se com a seleção dos artigos, utilizando-se critérios de exclusão e inclusão para filtrar o número de produções aptas a colaborar com a questão de pesquisa. O diagrama da pesquisa, representado na Figura 3, ilustra os três ciclos de análise efetuados ao longo deste estudo, os quais foram realizados colaborativamente entre os pesquisadores.

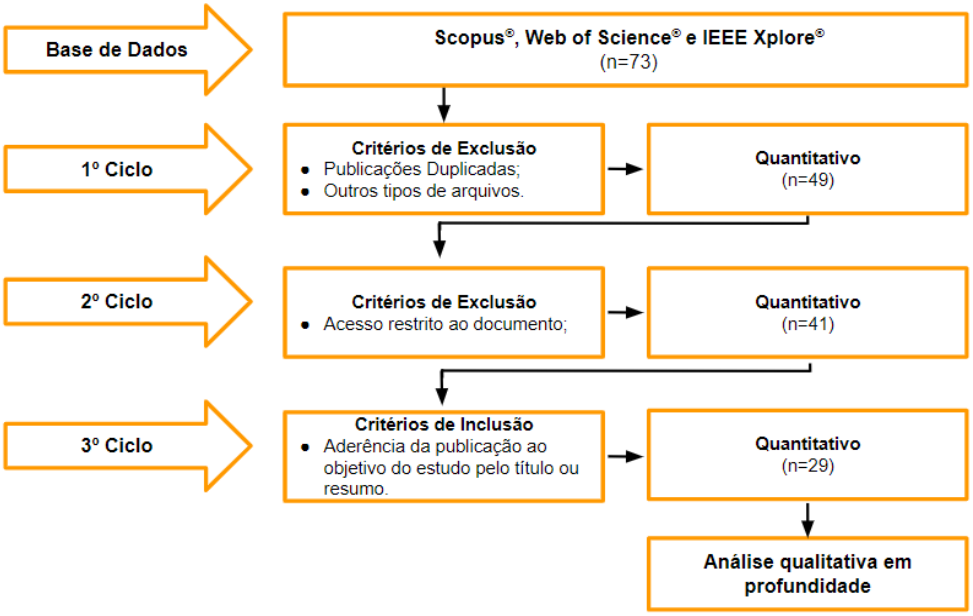
[2] do inglês *Knowledge Graph and Case Teaching* (KGCT)

[3] do inglês *Relational Graph Neural Network* (RGNN)

[4] do inglês *Deep Online Performance Evaluation* (DOPE)

[5] do inglês *Recurrent Neural Network* (RNN)

Figura 3 - Diagrama da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Como primeiro ciclo, realizou-se a exclusão das publicações duplicadas nas bases de dados de origem, bem como foram desconsiderados documentos que não eram artigos de periódicos ou conferências, resultando em um quantitativo de 49 estudos. Na sequência, no segundo ciclo, procedeu-se com a verificação da disponibilidade de acesso na íntegra aos artigos dentro de suas bases, ocorrendo uma redução no quantitativo para 41 publicações.

Para o terceiro ciclo foram designados dois avaliadores, para que fosse realizada uma revisão por pares e às cegas dos artigos em planilha eletrônica, dispôs-se também de um terceiro avaliador para solucionar eventuais divergências de inclusão ou não dos artigos. Dessa forma, procedeu-se, preliminarmente, com a análise dos títulos e resumos dos artigos para buscar indicativos da aderência destas publicações com os objetivos desta pesquisa, resultando num total de 29 publicações aptas. Neste ciclo, alguns trabalhos não evidenciaram de forma clara, no título ou resumo, suas intenções, neste sentido, em alguns casos houve a necessidade de análise integral do artigo objetivando reduzir a incerteza no processo de inclusão ou exclusão da publicação.

Por fim, depois de identificado o quantitativo de artigos aptos a contribuírem com os objetivos desta pesquisa, procedeu-se com uma análise qualitativa em profundidade, realizando uma nova avaliação por pares e às cegas para identificar e propor duas categorizações que representassem: a) às classes relativas à utilização de uma arquitetura básica de KG; e b) às finalidades e objetivos dos KGs nos estudos analisados. Na próxima seção, são apresentadas as análises e discussões que compõem os principais achados e reflexões.

4. Resultados e Discussão

O quantitativo de publicações analisadas nesta revisão narrativa foi de 29 artigos, que buscaram contribuir com a questão de pesquisa deste estudo. A partir disto, esta seção faz considerações sobre os aspectos relevantes identificados, bem como de proposições oriundas da análise realizada.

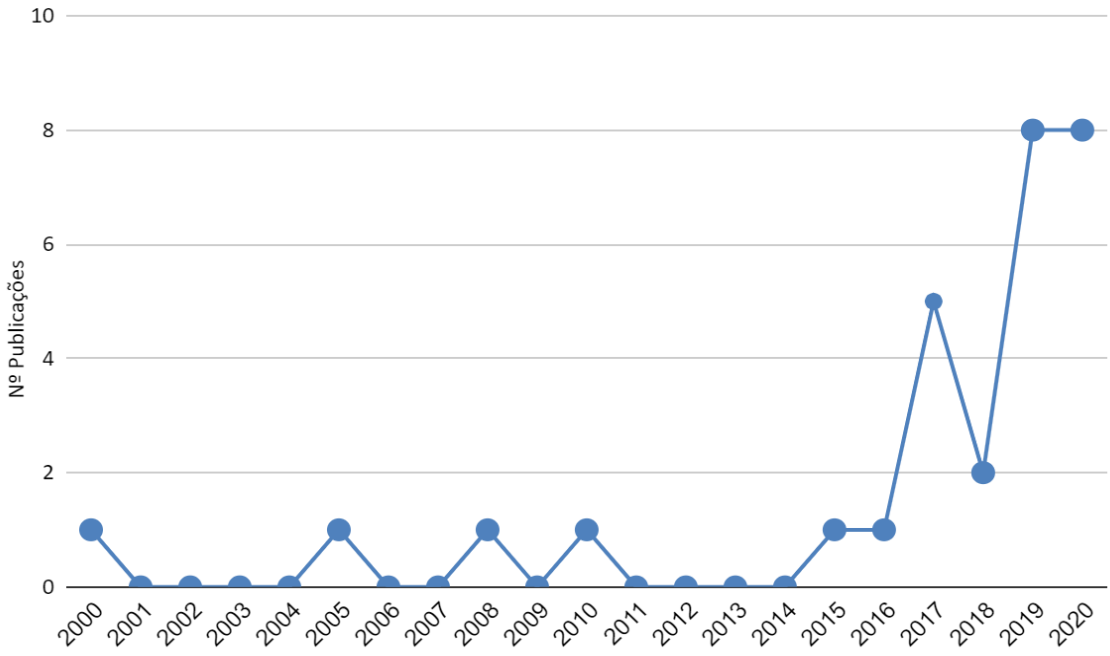
Na análise das publicações, chama a atenção que 69% dessas são oriundas de eventos científicos, sendo o ano de 2020, o período em que o maior número de trabalhos foi publicado, em congressos distintos, alinhados com a temática deste estudo, num total de 7 (sete).

Considerando que mais da metade dos estudos desta pesquisa procedem de congressos, destacam-se dois eventos: Conferência Internacional de Engenharia

de Software e Engenharia do Conhecimento[6] e Conferência Internacional de Descoberta de Conhecimento e Mineração de Dados[7], com o número de duas publicações realizadas em cada evento. Entre os periódicos, destaca-se a série Notas de Aula em Ciência da Computação[8], com duas publicações que envolvem o domínio deste estudo.

Ponderando sobre a frequência de publicações dos estudos, na Figura 4 percebe-se que a partir do ano de 2017 houve um crescimento do número de publicações, mas os anos de 2019 e 2020 se destacaram no quantitativo, uma vez que representaram 55% das publicações (congressos e periódicos) objetos de análise desta pesquisa.

Figura 4 - Evolução do número de publicações



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir destas impressões iniciais procedeu-se com a primeira categorização dos estudos com base em três classes (Construção, Gestão e Aplicação de KGs) que representam as etapas para uma arquitetura básica de desenvolvimento e utilização desta tecnologia. Essas etapas são oriundas do trabalho de Gao, Wang e Xu (2020) e mostraram potencial para auxiliar na categorização dos artigos que foram selecionados visando atender aos objetivos deste estudo.

[6] do inglês International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE)

[7] do inglês International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDDM)

[8] do inglês Lecture Notes in Computer Science

Quadro 2 - Categorização dos KGs no domínio educacional

Classes	Publicações
Construção de KGs	Zwaneveld (2000); Zegarra, Chang e Wang (2015); Sette, Tao e Jiang (2017); Li (2017); Duan e Wang (2017); Mirhosseini e Seo (2019); Ma e Ma (2019); Liu *et al*. (2019); Hu, Jiang e Li (2019); Ilkou e Signer (2020); e Wang *et al*. (2020).
Gestão de KGs	Guzzi *et al*. (2005); Wang e Li (2020); Telnov e Korovin (2020); e Huang *et al*. (2020).
Aplicação de KGs	Le *et al*. (2008); Le *et al*. (2020); Zhou *et al*. (2016); De Medio (2017); Kara e Konev (2017); Chen *et al*. (2018); Peng *et al*. (2019); Qiao *et al*. (2019); Weng *et al*. (2019); Xu *et al*. (2019); Gong *et al*. (2019); Su e Zhang (2020); Qin, Cao e Xue (2020); e Gao, Wang e Xu (2020).

Fonte: Adaptado de Gao, Wang e Xu (2020).

O Quadro 2, apresenta as classes dos KGs no domínio educacional a partir dos estudos de Gao, Wang e Xu (2020). Pondera-se que:

- Na classe "Construção de KG", 38% das publicações apresentaram características que representam a mineração de vocabulários, reconhecimento de entidades e extração de conhecimento;
- Na classe "Gestão de KG", 14% dos estudos apresentaram traços relativos quanto à modelagem e armazenamento de conhecimento, recuperação de raciocínio inteligente, consultas e gerenciamentos de dados gráficos; e,
- Por fim, a classe "Aplicação de KG", reuniu 48% das pesquisas que contemplaram características como: detalhes sobre as formas de se realizar consultas em KGs, sistemas de recomendação e de resposta a perguntas com base em grafos de conhecimento.

Esta categorização permite analisar o desenvolvimento e a implementação de KGs como algo processual, visto que as classes representam três etapas bem distintas do estágio de desenvolvimento de uma arquitetura básica desta tecnologia. A identificação dessas classes de desenvolvimento de KGs colabora para a gestão e implementação destes no domínio educacional, além de permitir a integração com outros domínios.

Durante a realização da análise em profundidade foram apreciados os objetivos de cada pesquisa, junto da finalidade e do papel do KG nas proposições apresentadas. Considerando que a aplicação e a finalidade de utilização dependem de fatores como: o contexto e o tipo de solução esperada, foi proposta uma segunda categorização dos estudos que combina as finalidades e objetivos dos KGs em cada estudo (Quadro 3).

Quadro 3 - Categorização das finalidades e objetivos dos KGs

Classes	Caracterização
KGs integrados à aplicações educacionais (Guzzi *et al*., 2005; Le *et al*., 2008; Qin, Cao e Xue, 2020; Sette, Tao e Jiang, 2017; De Medio *et al*., 2017; Chen *et al*., 2018; Su e Zhang, 2020; Huang *et al*., 2020; Qiao *et al*., 2019; Le *et al*., 2020; Hu, Jiang e Li, 2019; Ma e Ma, 2019).	Integração: com ferramentas educacionais interativas e outras plataformas *web*; na modalidade de ensino e aprendizado híbrido para aprimoramento de cursos; com disciplinas (matemática e banco de dados) para mapear e tornar o processo de ensino mais eficiente e inteligente; em sistemas de tutoria para modelar conceitos de conhecimento; com plataformas e sistemas que auxiliam na construção de KG.
Aplicação de KGs como sistemas de recomendação (Peng *et al*., 2019; Xu *et al*., 2019; Weng *et al*., 2019; Gao, Wang e Xu, 2020; Ilkou e Signer, 2020; Liu *et al*., 2019).	Recomendação: soluções de dúvidas a partir dos problemas do usuário; de conteúdos personalizados baseados em avaliações; atividades para criações colaborativas identificadas com a participação de docentes e alunos; trilhas de aprendizagem mapeadas a partir da estrutura e relações de conhecimentos dos cursos; atividades para uma aprendizagem adaptativa a partir de *gaps* de conhecimento e de conhecimentos implícitos nos processos de aprendizagem.
Utilização de KGs para descoberta e geração de novos conhecimentos pelos usuários (Zegarra, Chang e Wang, 2015; Mirhosseini e Seo, 2019; Weng, 2019; Zhou *et al*., 2015; Wang *et al*., 2020; Duan e Whang, 2017; De Medio *et al*., 2017; Kara e Konev, 2017; Li, 2017; Zwaneveld, 2000; Gong *et al*., 2019).	Descoberta e geração de novos conhecimentos: a partir do treinamento de habilidades visuais dos alunos em tópicos de discussão; por meio da representação gráfica de conhecimentos de sistemas educacionais e de cursos on-line; a partir do mapeamento e compreensão dos perfiis e processos cognitivos gerados pelos alunos; com base no mapeamento de conhecimentos gerados em domínios específicos.
Outras aplicações de KGs no contexto educacional (Telnov e Korovin, 2020; Wang e Li, 2020).	Outras aplicações como: o incremento de um KG por meio de aprendizado de máquina, análise textual e anotações semânticas; aprimoramento de KGs para resolver problemas de correferência de grafos construídos a partir de livros didáticos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram identificadas similaridades entre as finalidades e objetivos de KGs, que permitiram alocar os estudos em classes dentro do domínio educacional. Alguns estudos apresentaram mais de uma finalidade para a utilização do KG, por isso, foram divididos e alocados dentro da classe que melhor os representou. O Quadro 3 evidencia as características que fornecem a "identidade" de cada uma das classes propostas:

- KGs integrados à aplicações educacionais: nesta classe a tecnologia é combinada ou inserida em diferentes etapas de outras soluções educacionais;
- Aplicação de KGs como sistemas de recomendação: o KG é desenvolvido com a finalidade de colaborar no processo de ensino, como uma ferramenta de recomendação, principalmente, de conteúdos e trilhas de aprendizagem;
- Utilização de KGs para descoberta e geração de novos conhecimentos pelos usuários: o KG é utilizado para mapear processos cognitivos dos alunos, de domínios específicos de conhecimento para colaborar com o processo de ensino e aprendizagem (alunos e professores), bem como para auxiliar na tomada de decisão de gestores educacionais;
- Outras aplicações de KGs no contexto educacional: são estudos que diferem dos demais, mas tem por característica o enriquecimento e aprimoramento dos KGs desenvolvidos na área da educação.

Cabe destacar que nos estudos analisados, nem sempre o desenvolvimento de um KG é a finalidade ou objetivo principal, mas sim, por vezes, esta figura como coadjuvante na solução apresentada. Ou seja, o KG é parte da solução e, por isso, buscou-se identificar qual a finalidade dele ou a etapa onde é utilizado nas soluções propostas para o domínio educacional.

5. Considerações Finais

Este estudo buscou investigar por meio de uma revisão narrativa, com busca estruturada em bases de dados, quais são os tipos de aplicações de *Knowledge Graphs* (KG) no domínio educacional, junto a identificação das características desses KGs gerados para as soluções educacionais em que foram aplicados.

Inicialmente, destaca-se que na composição dos estudos analisados os dois últimos anos (2019 e 2020) são períodos de maior produção no domínio dos estudos analisados. Sendo substancial a presença de publicações em eventos internacionais do tipo congressos, dado que estes são um canal ágil para a divulgação dos resultados das pesquisas na área.

Foram propostas duas categorizações, a primeira (Quadro 2) colabora para a análise e identificação das etapas de construção e implementação de uma arquitetura básica para KGs. A segunda categorização (Quadro 3), combina as finalidades e objetivos dos KGs evidenciando as características e aplicações destes no domínio educacional.

Dessa forma, o estudo forneceu um panorama dos estudos relacionados à KGs desenvolvidos dentro de uma perspectiva educacional. Também propôs categorizações para esses estudos a fim de auxiliar os pesquisadores na compreensão do potencial desta ferramenta tecnológica para a representação do conhecimento, bem como prover um meio para o desenvolvimento de outras soluções aplicadas neste domínio de estudo.

Como limitações do trabalho está o processo de categorização dos estudos, visto que é uma ação subjetiva que é influenciada diretamente pelas perspectivas dos pesquisadores, sendo dificultada pela heterogeneidade dos objetivos e finalidades dos KGs nas soluções educacionais propostas.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de uma revisão de escopo que faça uso de protocolos científicos validados a fim de analisar e identificar lacunas de conhecimento no âmbito da utilização de KGs no contexto educacional.

Referências

ABU-SALIH, B. Domain-specific Knowledge Graphs: A survey. Computer Science. https://arxiv.org/abs/2011.00235, oct. 2020.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web [online] 2001. Disponível: <https://www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web/>. Acessado em: 22 fev. 2021.

CHEN, P. *et al.* KnowEdu: A System to Construct Knowledge Graph for Education. IEEE Access, v. 6, p. 31553-31563, may. 2018.

DAVIS, R.; SHROBE, H.; SZOLOVITS, P. What is a knowledge representation?'. AI Mag., v. 14, n. 1, p. 17-33, 1993.

DE MEDIO, C. *et al.* Automatic extraction and sequencing of wikipedia pages for smart course building. Proceedings - 21st International Conference Information Visualisation, p. 378-383, nov. 2017.

GUTIERREZ, C.; SEQUEDA, J. F. A Brief History of Knowledge Graph's Main Ideas: A tutorial. 18th International Semantic Web Conference (ISCW), Auckland, New Zealand, 2019. Disponível em: <https://iswc2019.semanticweb.org/tutorials/>. Acessado em: 24 jan. 2021.

DUAN, H.; WANG, L. MOOC Instruction Optimization in Emergency and First Aid-From the Perspective of the Knowledge Graph. 3rd International Conference on Computer Science and Mechanical Automation (CSMA), p. 142-145, 2017.

GAO, J.; WANG, L.; XU, F. Research on The Construction of Course Knowledge Graph of High School Information Technology. International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE), Tianjin, China, p. 211- 215, 2020.

GONG, X. *et al.* Study on Framework of Intelligent Analysis of Chinese Preview Homework in Primary Schools. Proceedings - 2019 Chinese Automation Congress (CAC), p. 1082-1091, nov. 2019.

GUZZI, R. *et al.* An Educational Development Tool Based on Principles of Formal Ontology. Educational Technology & Society, v. 8 n.1 p. 80-89, 2005.

HOGAN, A. *et al.* Knowledge Graphs. ACM Computing

Surveys, v. 54, n. 4. jul. 2021. DOI:https://doi.org/10.1145/3447772

HU, L.; JIANG, Y; LI, Y. Optimization Design of Internet Fraud Case Based on Knowledge Graph and Case Teaching. Proceedings of the 2019 7th International Conference on Information and Education Technology (ICIET), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, p. 301–305, 2019.

HUANG, L. *et al*. Professional Competence Management for University Students Based on Knowledge Graph Technology. Proceedings - 10th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, p. 331-335, jul. 2020.

ILKOU, E.; SIGNER, B. A technology-enhanced smart learning environment based on the combination of knowledge graphs and learning paths. Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education, v. 2, p. 461-468, may. 2020.

JI, S. *et al*. A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition and Applications. Journal Of Latex Class Files, v. 14, n. 8, 2015.

KARA, S.; KONEV, A. Knowledge engineering as a component of the curriculum for medical cybernetics. Studies in Health Technology and Informatics, v. 236, p. 241-247, 2017.

KARIMI, H. *et al*. Online Academic Course Performance Prediction using Relational Graph Convolutional Neural Network. Proceedings of The 13th International Conference on Educational Data Mining, jul. 2020.

LE, D. *et al*. E-Course and its applications in blended-learning environment. Proceedings of the International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government, Las Vegas, NV, United States, jul. 2008.

LE, D. *et al*. Applying pedagogical analysis to create an online course for e learning. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v. 6277, v. part. 2, p. 114-123, 2020.

LI, L. Constant evaluation of L2 students english writing ability. Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE), p. 404-409, jul. 2017.

LIU, Q. *et al*. Exploiting cognitive structure for adaptive learning. Proceedings of the ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD), p. 627-635, jul. 2019.

MA, L.; MA, Y. Automatic question generation based on MOOC video subtitles and knowledge graph. 7th International Conference on Information and Education Technology (ICIET), v. part F148391, p. 49-53, mar. 2019.

MIRHOSSEINI, M.; SEO, J. Wiki'ike: Making Use of Knowledge Graphs in a Classroom. Proceedings of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW), p. 33-36, oct. 2019.

PENG, Y. *et al*. A task-oriented dialogue system for moral education. In: Isotani S., Millán E., Ogan A., Hastings P., McLaren B., Luckin R. (eds) Artificial Intelligence in Education. AIED 2019. Lecture Notes in Computer Science, v. 11626. Springer, 2019.

QIAO, C. *et al*. Automated Construction of Course Knowledge Graph Based on China MOOC Platform. IEEE International Conference on Engineering, Technology and Education (TALE), Yogyakarta, Indonesia, p. 1-7, 2019.

QIN, Y.; CAO, H.; XUE, L. Research and application of knowledge graph in teaching: Take the database course as an example. Journal of Physics: Conference Series, v. 1607, n. 1, aug. 2020.

ROSPOCHER, M. *et al*. Building event-centric knowledge graphs from news. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, v. 37, n. 1, 2016.

SETTE, M.; TAO, L.; JIANG, N. A Knowledge-Driven Web Tutoring System Framework for Adaptive and Assessment-Driven Open-Source Learning. Proceedings - International Computer Software and Applications Conference, v. 2, p. 712-717, sep. 2017.

SHAOXIONG *et al*. A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition and Applications. Journal Of Latex Class Files, v. 14, n. 8, aug. 2015.

SINGHAL, A. Introducing the knowledge graph: things, not strings. Product updates Google® [online], mai. 2012. Disponível em: <http://googleblog.blogspot.com.br/2012/05/introducingknowledge-graph-things- not.html>. Acessado em:

19 fev. 2020.

SU, Y.; ZHANG, Y. Automatic Construction of Subject Knowledge Graph based on Educational Big Data. 3rd International Conference on Big Data and Education (ICBDE), p. 30-36, apr. 2020.

TELNOV, V.; KOROVIN, Y. Machine learning and text analysis in the tasks of knowledge graphs refinement and enrichment. 22nd International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains, v. 2790, p. 48-62, 2020.

XU, J. *et al*. iTest: A novel online testing system based on the WeChat platform. Computer Applications in Engineering Education. v. 27, n. 4, p. 885-893, jul. 2019.

WANG, P. *et al*. Incremental Mobile User Profiling: Reinforcement Learning with Spatial Knowledge Graph for Modeling Event Streams. Proceedings of the 26th International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, p. 853–861, aug. 2020.

WANG, X. *et al*. Knowledge graph quality control: A survey. Fundamental Research, v. 1, n. 5, p. 607-626, ISSN 2667-3258, sep. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.09.003.

WANG, T.; LI, H. Coreference resolution improves educational knowledge graph construction. Proceedings - 11th International Conference on Knowledge Graph (ICKG), p. 629-634, aug. 2020.

WENG, J. *et al*. Construction and Application of Teaching System Based on Crowdsourcing Knowledge Graph. Communications in Computer and Information Science, v. 1134, p. 25-37, aug. 2019.

ZEGARRA, E.; CHANG, S.-K.; WANG, J. Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE), v. 2015, p. 284-289, jan. 2015.

ZHOU, P. *et al*. Automatically Constructing of Association Semantic Link Enabled Subject Cognitive Mapping. International Conference on Identification, Information, and Knowledge in the Internet of Things, Beijing, China, p. 50-53, 2015.

ZOU, X. A Survey on Application of Knowledge Graph. Journal of Physics: Conference Series, v. 1487, 2020.

ZWANEVELD, B. Structuring mathematical knowledge and skills by means of knowledge graphs. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, v. 31, n. 3, p. 393-414, 2000.