

Sistemas de Recomendação Sensíveis ao Contexto aplicados ao domínio *U-Learning*: uma revisão sistemática

Daniel Carvalho de Oliveira¹, Leinyilson Fontinele Pereira¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Estadual do Piauí (UESPI) Parnaíba – PI – Brasil

[oliveiradanielcarvalhode, leinyilson}@gmail.com](mailto:{oliveiradanielcarvalhode, leinyilson}@gmail.com)

Abstract. Recommendation systems are indispensable tools for information overload management, but still incipient in complex environments such as ubiquitous learning (*u-learning*). The main challenge for the delivery of a more precise recommendation in these environments is the adaptation of the algorithms to a tensorial modeling appropriate to the multidimensionality, since they deal with multiple variables and contexts. This research makes a systematic review of literature on recommendation systems specially applied to the *u-learning* domain, resulting in the mapping of the main models and architectures, with the aim of contributing to improve understanding of the domain.

Resumo. Sistemas de recomendação são ferramentas indispensáveis para o gerenciamento da sobrecarga de informação, mas ainda incipientes em ambientes complexos como os de aprendizagem ubíqua (*u-learning*). O principal desafio para a entrega de uma recomendação mais precisa nesses ambientes é a adaptação dos algoritmos a uma modelagem tensorial adequada à multidimensionalidade, pois lidam com múltiplas variáveis e contextos. Esta pesquisa realiza uma revisão sistemática de literatura sobre sistemas de recomendação especialmente aplicados ao domínio *u-learning*, tendo por resultado o mapeamento dos principais modelos e arquiteturas, com o objetivo de contribuir para melhorar a compreensão sobre o domínio.

1. Introdução

Esta pesquisa aborda o tema de sistemas de recomendação sensíveis ao contexto aplicados aos ambientes de aprendizagem auxiliada por tecnologia, apresentando uma revisão sistemática da literatura, o estado da arte e arquiteturas do domínio.

Sistemas de recomendação são ferramentas úteis para o gerenciamento de sobrecarga de informação e constituem uma relevante área de pesquisa para a Ciência da Computação, com aplicação em muitos domínios. São, por exemplo, amplamente empregados no comércio eletrônico, registrando perfis de usuário, histórico de navegação do consumidor e seus termos de busca para entregar uma recomendação de itens mais precisa. Muitos utilizam técnicas de inteligência artificial, processos inferenciais que detectam padrões no passado para prever comportamentos futuros.

Com frequência cada vez maior, tais sistemas são aplicados a ambientes computacionais que lidam com muitas variáveis ou dimensões, como, por exemplo, os de aprendizagem ubíqua sensível ao contexto (*u-learning*). Em virtude da natureza

multidimensional desses sistemas de gestão de aprendizagem, a inferência preditiva de comportamentos e desejos do usuário ganha complexidade, e sua engenharia representa um grande desafio [Costa, Yamin *et al* 2008].

Os sistemas *u-learning* exigem alta disponibilidade, pois entregam serviços acessíveis a qualquer tempo e em qualquer lugar (sala de aula, lar, trabalho, locais públicos, *etc*), podendo fazer uso de tecnologias e avanços da pesquisa em IoT (*Internet of Things* - Internet das Coisas) com sensores instalados de forma transparente aos usuários nos seus ambientes físicos, tais como GPS, RFID, QR Codes, *hardwares* integrados por rede sem fio (Wi-Fi) [Duran, Álvarez *et al* 2017]. Em linhas gerais, um ambiente *u-learning* pode ser entendido como uma rede de dispositivos computacionais projetada com o objetivo de tornar mais adaptativo o processo de ensino-aprendizagem, personalizado às demandas dos usuários e em face de variados contextos. A recomendação nesses ambientes multidimensionais precisa levar em conta n-contextos a serem considerados pelo desenvolvedor, como contexto computacional, de localização, de tempo, dentre outros, com vistas à melhor adaptabilidade e personalização.

Nos domínios multidimensionais, os algoritmos de recomendação tradicionalmente empregados (como os de comércio eletrônico) mostraram-se insuficientes [Verbert, Manouselis *et al* 2012] e devem estar associados a técnicas de fatorização de tensores ou matrizes de alta ordem. Em face da complexidade e das limitações de implantação desses sistemas, a questão da redução máxima de dimensionalidade por meio de modelagem de tensores é de trato obrigatório. Ademais, o processo de engenharia de sistemas pode tirar proveito da programação orientada a agentes, descrita no referencial teórico.

O problema da redução de dimensionalidade é formalizado como um problema de modelagem tensorial. Para efeitos práticos, um tensor pode ser entendido como uma matriz com o número de dimensões maior ou igual a 3 (três), embora qualquer matriz, vetor ou escalar seja, formalmente, um tensor. Cada conjunto de variáveis em um ambiente complexo, como o de aprendizagem ubíqua, corresponde a uma dimensão ou ordem. Tensores são objeto de pesquisa em análise multivariada, álgebra linear, fatorização e cálculo de matrizes. Em ciência da computação, investiga-se a modelagem de tensores enquanto estruturas de dados associadas a algoritmos de inteligência artificial.

Em face da complexidade da problemática acima exposta, são úteis à pesquisa na área revisões sistemáticas que apresentem o estado da arte, principais arquiteturas e algoritmos disponíveis, buscando contribuir como ponto de partida para auxiliar o processo de engenharia de *software*, no domínio de aprendizagem ubíqua sensível ao contexto.

Uma das etapas obrigatórias do processo de desenvolvimento de sistemas reside no aprofundamento do conhecimento das soluções computacionais existentes ao domínio, por meio de pesquisas na literatura especializada, com vistas a conhecer o estado da arte e selecionar o máximo de informações importantes sobre o tema [Lopes, Oliveira *et al* 2017].

O objetivo geral deste trabalho é identificar estudos relevantes sobre sistemas de recomendação com foco em ambientes *u-learning*, qualquer ambiente educacional assistido por tecnologia com alta disponibilidade e dimensionalidade, que esteja atento ao contexto do usuário. Constitui objetivo global desta proposta apresentar um conjunto de informações que possam facilitar a execução das etapas iniciais dos projetos e melhorar a compreensão sobre o domínio.

Especificamente, este trabalho objetiva formar uma amostra representativa de artigos primários de qualidade, que identifiquem o estado da arte, lacunas e as tendências relevantes para a pesquisa, desafios e aplicações inovadoras na área.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, são expostos os trabalhos de mapeamento e revisão relacionados; na seção 3, apresenta-se o referencial teórico necessário para compreensão e entendimento do objeto desta pesquisa, tais como conceitos de sistemas de recomendação, ambientes e contextos *u-learning*, objetos de aprendizagem, ontologias e sistemas multiagente. Na seção 4, o núcleo da revisão sistemática, sua metodologia e os resultados alcançados pelo mapeamento. A seção 5 é dedicada às considerações finais e indicação de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Estudos comparativos de sistemas de recomendação em geral e aplicados ao domínio de ambientes de aprendizagem podem ser encontrados em [Manouselis *et al* 2011], [Verbert *et al* 2012] e [Adomavicius *et al* 2005]. Um mapeamento de ambientes *U-learning* é apresentado em [Lopes *et al* 2017]. Uma análise dos sistemas de recomendação em aprendizagem aprimorada por tecnologia ao longo de uma década segue em [Ricci *et al* 2015]. Vale ressaltar a revisão sistemática de literatura abrangente e bastante criteriosa, voltando-se principalmente a identificar os mecanismos por meio dos quais se extraem informações de contexto, em [Villegas *et al* 2017].

A principal contribuição da presente revisão sistemática é o mapeamento e análise das aplicações de sistemas de recomendação sensíveis ao contexto com foco em ambientes *u-learning*. As principais aplicações desses sistemas concentram-se em recomendação de filmes, pontos de interesse, comércio (varejo) eletrônico, hotelaria e turismo, notícias, shopping, redes sociais, sendo incipientes as aplicações no domínio de aprendizagem assistida por tecnologia [Villegas *et al* 2017].

3. Fundamentação Teórica

3.1. Sistemas de Recomendação

O problema de recomendação consiste na avaliação, por meio de heurísticas ou estimativas, de itens ainda não valorados por um usuário, classificando-os para, então, sugerir os que obtiverem a melhor pontuação [Adomavicius *et al* 2005]. As soluções computacionais para o problema têm por objetivo auxiliar o usuário a ter acesso a materiais relevantes e personalizados filtrados de um grande leque de fontes de informação.

Sistemas de recomendação podem ser entendidos como ferramentas capazes de selecionar informação por meio de tomada de decisões, de modo a entregarem recomendações adaptadas às necessidades e preferências do usuário [Ricci 2010].

Diferem de sistemas de busca ou de simples recuperação de informação, pois não se resumem a apresentar os inúmeros repositórios onde o termo de busca foi encontrado, mas tem o trabalho não trivial de selecionar nesses repositórios a informação mais pertinente em face de um perfil do usuário [Lampropoulos *et al* 2015].

Destacam-se três principais tipos de recomendação [Vieira *et al* 2012]:

a) Recomendação baseada em Conteúdo. A recomendação é realizada tendo por base a recuperação de informações do perfil do usuário, seu comportamento e histórico de escolhas. Os usuários provavelmente têm interesse por itens semelhantes aos que se interessaram no passado, e ao sistema é delegada a tarefa de avaliar a similaridade entre os itens. Exemplos: sistemas de filtragem probabilística, processamento de linguagem natural, sistemas de recomendação booleanos *etc*;

b) Recomendação por filtragem colaborativa. As recomendações são realizadas por outros usuários e enfatiza a troca de experiências entre pessoas de interesses comuns. Um usuário terá interesse por itens que despertaram o interesse de usuários semelhantes, avaliando padrões de comportamento;

c) Recomendação Híbrida. Busca reunir as principais vantagens das técnicas anteriores, para aumentar a possibilidade de êxito no conteúdo recomendado.

Os sistemas de recomendação podem ser de grande utilidade em ambientes u-learning, onde o usuário deve realizar escolhas importantes mas em geral se depara com falta de tempo ou aptidão para realizar as ações requeridas. A partir de ontologias e contextos, o ambiente proporciona-lhe, com comodidade, acesso aos recursos e objetos de aprendizagem mais próximos ao seu perfil.

3.2. Ambientes *U-Learning*

Entende-se como u-learning o domínio de aplicação que aborda os tipos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia com o objetivo de apoiar atividades de ensino e aprendizagem, e considera habilidades metacognitivas e reflexivas como autogerenciamento, automotivação, aprendizagem efetiva informal e autorregulada [Manouselis *et al* 2014].

A expansão das tecnologias de informação e comunicação aplicadas na educação ensejou novos modelos de ensino aprendizagem baseados em diferentes tecnologias e dispositivos computacionais, tais como: aprendizagem virtual eletrônica (*e-learning*), composto por um ambiente virtual de ensino e conexão de rede, normalmente não orientado para percepção dos contextos do usuário; aprendizagem móvel (*m-learning*), que se vale de redes sem fio, sensores de localização e outros embutidos em *smartphones* e *laptops* para oferecerem funcionalidades mais adaptadas ao usuário; e aprendizagem ubíqua (*u-learning*) sensíveis ao contexto, ambientes que devem estar sempre disponíveis a qualquer hora e lugar, caracterizados pela permanência e complexidade da base de dados, agrupando tecnologias de *e-learning*, *m-learning*, sistemas recomendadores e também de dispositivos e sensores desenvolvidos na pesquisa de IoT, com o objetivo de máxima personalização do processo de ensino-aprendizagem [Thiprak *et al* 2015].

Esses sistemas adaptativos oferecem aprendizagem aprimorada por tecnologia (*Technology Enhanced Learning* – TEL), englobando tecnologias de apoio às atividades de ensino e aprendizagem, bem como tecnologias de recomendação sensíveis ao contexto (*Context Aware Recommender Systems* – CARS) destinadas à recuperação de recursos de aprendizagem relevantes [Verbert *et al* 2012].

A ubiquidade (onipresença) desses sistemas advém da combinação de aprendizagem por meio de tecnologias móveis, acessíveis a qualquer tempo ou lugar, e dispositivos ou tecnologias de análise do contexto de forma automática, propiciando aos usuários conteúdos personalizados às suas necessidades [Mandula 2011], como por exemplo atividades, interação com outros usuários e fontes educacionais relativos ao objeto de estudo. As mudanças de contexto englobam diversos aspectos, tais como condições físicas, disponibilidade de recursos computacionais, dentre outros.

Ambientes tecnológicos ganham peso como instrumentos de amparo às práticas pedagógicas, ampliando os horizontes da educação para além dos limites da sala de aula e entregando recursos adequados para a aprendizagem de forma adaptativa, considerando o contexto do aluno [Lopes *et al* 2017]. Entretanto, sua complexidade eleva custos de desenvolvimento, sendo de crucial importância a modelagem com técnicas de inteligência artificial, aprendizagem de máquina e clusterização de dados, para que ofereçam recomendações mais precisas de objetos de aprendizagem.

3.3. Objetos de aprendizagem

Os sistemas de recomendação costumam ser usados em aprendizado auxiliado por tecnologia para recomendar objetos de ensino, seleção de cursos e avaliação de aprendizado por monitoramento do aluno.

Um objeto de aprendizagem é uma entidade que utiliza tecnologia, passível de uso, reuso, referência e compartilhamento por ferramentas colaborativas [Wiley 2000]; são recuperados de repositórios digitais existentes em grande diversidade na rede mundial de computadores, com estruturas de metadados e padrões diferentes. Esses fatores devem ser levados em conta, pois a recuperação de dados nesses repositórios não é tarefa trivial.

O conceito compreende páginas *web*, imagens, recursos de áudio, animações, apresentações em PowerPoint, jogos, texto em PDF, avaliações eletrônicas [Ferreira *et al* 2015]. Estes ressaltam que, para garantir interoperabilidade entre diferentes sistemas, os objetos de aprendizagem devem seguir padrões de atributos e metadados, sendo os principais IEEE 1484 (*Learning Object Metadata* (LOM)), especificado pelo *Institute of Electrical e Electronics Engineers* (IEEE), *Sharable Content Object Reference Model* (SCORM), elaborado pela *Advanced Distributed Learning* (ADL) e *IMS Learning Design* (IMS LD), desenvolvido pelo *IMS Global Learning Consortium*.

3.4. Ontologias

Ontologias são meios de fornecer a semântica para auxiliar a recuperação de informações com base no significado pretendido, em oposição à simples combinação de termos de busca; são usadas na engenharia de *software* como ferramentas para estruturar uma conceituação compartilhada de conceitos fundamentais e relacionamentos de

projetos de desenvolvimento, semântica, mecanismos de comunicação e estruturação de conhecimento [Pakdeetrakulwong *et al* 2013].

As ontologias têm grande utilidade em análise e projeto de sistemas de *software* complexos, para criar um modelo para engenharia de *software* orientada a objeto, e fornecem as regras para o sistema manipular os informes de contexto.

Servem principalmente para possibilitar o compartilhamento da estrutura de uma informação e definir um vocabulário de um domínio, de modo processável por computadores. Uma ontologia deve conter domínio e escopo, forma de reutilização, lista dos termos relevantes, definição de classes e suas hierarquias, propriedades, características e instâncias [Noy *et al* 2001].

3.5. Contextos

Pode-se definir contexto como qualquer informação que possa ser usada para caracterizar a situação de uma entidade (pessoa, lugar ou objeto), considerada relevante para a interação entre um usuário e um aplicativo, incluindo o usuário e os próprios aplicativos [Dey *et al* 2001].

Um sistema adaptativo ou sensível ao contexto é capaz de coletar, interpretar e usar informações e adaptar suas funcionalidades em face do usuário, provendo serviços certos para pessoas, lugares e tempos específicos [Vladoiu *et al* 2011].

As informações contextuais podem ser classificadas como contexto espaço-temporal (localização-tempo); físico; computacional; contexto de objetos, fontes ou repositórios (físicos ou virtuais); contexto de usuário e contexto social [Verbert *et al* 2012].

No domínio dos ambientes u-learning, as informações do contexto são aquelas aptas a se relacionar com alguma situação ligada ao ensino-aprendizagem, por exemplo, informação referente ao conhecimento do aluno, estilo e velocidade de aprendizagem, atividades correntes, tempo gasto na aprendizagem, locais e horários mais adequados ao discente e suas preferências de estudo [Kichenham *et al* 2007]. Assim, são sensíveis ao contexto os sistemas que utilizam informações para prover serviços ao usuário de maneira adaptativa [Vladoiu *et al* 2011].

Fatores como as características e o contexto do aprendiz devem ser considerados a fim de proporcionar aos alunos uma experiência de aprendizado adequada. O gerenciamento de contextos é indispensável para fornecer os melhores serviços de adaptação de recursos [Guabassi *et al* 2016].

Em síntese, contexto é um termo que pode ser compreendido em uma dimensão técnica (interação usuário-sistema) e em uma social (interações dos usuários por meio do ambiente). Logo, o ambiente de aprendizagem deve prover os serviços customizados reduzindo essa multidimensionalidade por meio de modelagem tensorial, o que via de regra não ocorre em sistemas de recomendação tradicionais que operam apenas com a bidimensionalidade usuário-item.

3.6. Sistemas multiagente

Sistemas multiagente têm sido explorados para resolver problemas com funções de inúmeras variáveis, surgidos em uma ampla gama de domínios em um mundo cada vez mais conectado. Sua aplicação ocorre via de regra em domínios complexos, tais como robótica, manufaturas, automação de processos industriais, gerência de redes e sistemas críticos, logística de transporte, e, no que interessa ao presente trabalho, ambientes de aprendizagem ubíqua sensível ao contexto (*u-learning*). Embora não haja uma definição uniforme na literatura para “agente”, principalmente em razão diversidade dos cenários nos domínios de aplicação, um agente pode ser entendido como um sistema computacional situado em um ambiente, capaz de agir de forma autônoma nesse ambiente de forma a atingir seus objetivos [Wooldridge 1999].

A Programação Orientada a Agente (*Agent-Oriented Programming*, AOP) é um paradigma de programação que emprega conceitos dos ramos de inteligência artificial e sistemas distribuídos na engenharia de uma aplicação como uma coleção de componentes computacionais dotados de autonomia, proatividade e capacidade de comunicação, denominados “agentes”; trata-se de um paradigma inovador, pois fundamenta-se na codificação de agentes inteligentes como entidades capazes de: a) realizar tarefas complexas e de longa duração (autonomia); b) tomar a iniciativa de realizar a tarefa sem qualquer estímulo explícito do usuário (proatividade); c) interagir com outras entidades para realizar seus próprios objetivos ou os dos outros agentes (comunicação) [Bellifemine *et al* 2007].

Muitos modelos de sistemas de recomendação sensível ao contexto utilizam a tecnologia de agentes para melhorar a acurácia de seu resultado. Conforme constatado no mapeamento da seção seguinte, o paralelismo e caráter distribuído dessa tecnologia facilitam a implementação de ambientes e arquiteturas *u-learning*.

4. Revisão sistemática de Recomendadores Sensíveis ao Contexto aplicados ao domínio *U-Learning*

4.1. Metodologia

A presente revisão sistemática seguiu a metodologia de análise bibliográfica e documental, fundamentando-se em livros e trabalhos científicos já publicados, artigos, monografias, teses, dissertações e trabalhos correlatos, documentando os principais algoritmos e tecnologias utilizados no desenvolvimento de sistemas de recomendação, com foco no domínio de aprendizagem ubíqua e aprimorada por tecnologia.

Desenvolveu-se em três fases principais [Kichenham *et al* 2007]: de planejamento, executiva e de sumarização. Na fase de planejamento, foi delimitado o tema e definido um protocolo de execução, composto de exposição do objetivo, formulação das questões de pesquisa, estabelecimento dos critérios para seleção das fontes e a forma de extração dos dados das publicações, na forma explicitada a seguir.

4.1.1. Objetivos: identificar e analisar fontes primárias relevantes sobre sistemas de recomendação modelados em ambientes *u-learning*, de forma a apresentar um conjunto de informações que possam facilitar a execução das etapas iniciais dos projetos de engenharia de *software* e melhorar a compreensão sobre o domínio, fornecendo uma amostra representativa de artigos primários de qualidade, que identifiquem o estado da

arte, lacunas e as tendências relevantes para a pesquisa na área, desafios e aplicações inovadoras.

4.1.2. Questões de pesquisa: O mapeamento buscou coletar evidências para responder às seguintes questões:

QP1. Como é formalizado um sistema de recomendação sensível ao contexto?

QP2. Como é realizada a integração de contexto ao processo de recomendação?

QP3. Quais são os tipos de ontologias e contextos comumente incorporados aos sistemas de recomendação sensíveis ao contexto em *u-learning*?

QP4. Quais trabalhos apresentam estratégias para resolução do problema de recomendação em ambientes de aprendizagem assistidos por tecnologia?

4.1.3. Palavras-chave: *context, context-aware, agent, multi-agent, recommender, recommendation, education, ubiquitous, pervasive, learning, u-learning, mobile, e-learning, tensor, recomendação, aprendizagem, contexto.*

4.1.4. Identificação das Fontes: a estratégia de busca automática definida no protocolo consistiu na inserção de strings de palavras chaves nas principais bases digitais, com publicações de qualidade reconhecida, tais como ACM, IEEE, e Science Direct (SD), sem prejuízo de buscas em demais sítios eletrônicos e bibliotecas digitais de monografias, teses e dissertações, bem como busca manual por autores/grupos de pesquisa a partir dos referenciais bibliográficos constantes dos trabalhos selecionados. Outras bases não foram consultadas por indisponibilidade de acesso. As principais strings usadas constam da tabela 1.

Tabela 1. Ciclo de Buscas e Execução do Mapeamento

Strings	Base	Resultados	Selecionados
<i>((context) OR context-aware) OR CARS) AND ((agent) OR multi-agent) AND ((recommender) OR recommendation) AND (((education) OR ubiquitous) OR pervasive) AND (((learning) OR u-learning) OR mobile) OR e-learning)</i>	IEEE	41	10
<i>((context-aware) AND tensor) AND recommender)</i>		15	6
<i>((context) e recommender) AND u-learning)</i>		4	1
<i>((context) OR context-aware) OR CARS) AND ((agent) OR multi-agent) AND ((recommender) OR recommendation) AND (((education) OR ubiquitous) OR pervasive) AND</i>	ACM	47	5

(((<i>learning</i>) OR <i>u-learning</i>) OR <i>mobile</i>) OR <i>e-learning</i>)			
(+ <i>context-aware</i> + <i>tensor</i> + <i>recommender</i>), (+ <i>u-learning</i> + <i>tensor</i> + <i>recommender</i>)		78	27
("recommender" AND "tensor" AND "context-aware" AND "learning")	SD	86	9
“recomendação” + “recommender” + “tensor” + “u-learning” + “aprendizagem” + “contexto” + <i>ubiquitous</i> ”	Outras (Researchgate, Google Scholar, Scielo, arXiv)	58	13
Total		329	71

Foram analisados os metadados, abstracts e conclusões de 71 publicações pré-selecionadas sobre sistemas de recomendação sensível ao contexto, com foco na aplicação ao domínio *u-learning*, e em seguida selecionadas e sistematizadas as obras com informações relevantes para a resolução das questões de pesquisa.

4.1.5. Seleção dos Estudos: a seleção dos artigos ocorreu pela aplicação de filtros ou critérios de inclusão e exclusão, discutidos com ajuda de pares. Como critérios de inclusão no corpus, foram considerados alternativamente:

- CI1. Estudos que analisem, proponham ou usem um modelo de sistema de recomendação com aplicação ao domínio *u-learning* ou de aprendizagem assistida por tecnologia;
- CI2. Estudos que descrevam os processos, algoritmos e estruturas de dados utilizados em sistemas de recomendação;
- CI3. Estudos que forneçam informações sobre estado da arte, lacunas e as tendências relevantes para a pesquisa na área, desafios e aplicações inovadoras.

Como critérios de exclusão:

- XE1. Estudos primários que não versem sobre o tema;
- XE2. Estudos em idiomas diferentes de português ou inglês;
- XE3. Estudos duplicados;
- XE4. Estudos não disponibilizados para download;
- XE5. Trabalhos não publicados sob a forma de artigo, monografia, tese, capítulo de livro ou livro.
- XE6. Trabalhos publicitários ou resumos de conferências.

Para validação do protocolo foi definido como grupo de controle (trabalhos relacionados e bibliografia complementar) um conjunto de estudos secundários

(surveys, mapeamentos, revisões, estudos comparativos, reviews, overviews) sobre ambientes *u-learning* e sistemas de recomendação, reiteradamente consultados durante a condução desta revisão sistemática.

4.2. Resultados

A pesquisa resultou no mapeamento sistemático de 42 (quarenta e dois) estudos sobre sistemas de recomendação sensíveis ao contexto, com foco na aplicação ao domínio de ambientes de aprendizagem, conforme exposto na tabela 2.

Tabela 2. Resultado do Mapeamento

Id	Título	Ano
1	<i>Multi-agent system model for tutor recommendation in ubiquitous learning environments</i>	2018
2	<i>Personalized ubiquitous learning via an adaptive engine</i>	2018
3	<i>Principles to design smart physical objects as adaptive recommenders</i>	2017
4	<i>Characterizing context-aware recommender systems: a systematic literature review</i>	2017
5	<i>Context-aware recommender systems for learning</i>	2017
6	<i>Method for generating expert recommendations to advise students on ubiquitous learning experiences</i>	2017
7	<i>A fuzzy cognitive map like recommender system of learning resources</i>	2016
8	<i>Domain-aware grade prediction and top-n course recommendation</i>	2016
9	Técnicas de aprendizado de máquina aplicadas à identificação de perfis de aprendizado em um ambiente real de ensino	2016
10	<i>Evaluating recommender systems for technology enhanced learning: a quantitative survey</i>	2015
11	<i>Ubiquitous computing technologies and context aware recommender systems for ubiquitous learning</i>	2015
12	<i>Knowledge recommender: an application based on the social knowledge network for knowledge recommendation</i>	2015
13	<i>UbiGroup: a model of ubiquitous recommendation of content for dynamic groups of learners</i>	2015
14	<i>Recommender systems handbook: a complete guide for research scientists and practitioners</i>	2015
15	<i>Further thoughts on context-aware paper recommendations for education</i>	2014
16	<i>Context recommendation using multi-label</i>	2014

	<i>classification</i>	
17	<i>Recommendation of learning objects in an ubiquitous learning environment through an agent-based approach</i>	2012
18	<i>Context-aware recommender systems for learning: a survey and future challenges</i>	2012
19	<i>Adaptive neuro-fuzzy pedagogical recommender</i>	2012
20	Sistema de recomendação de objetos de aprendizagem baseado em conteúdo	2012
21	<i>Context-aware recommendation algorithms for the percepolis personalized education platform</i>	2011
22	<i>Application of context-aware and personalized recommendation to implement an adaptive ubiquitous learning system</i>	2011
23	<i>Issues and considerations regarding sharable data sets for recommender systems in technology enhanced learning</i>	2010
24	<i>Recommender System for Predicting Student Performance</i>	2010
25	<i>Recommendations in online discussion forums for e-learning systems</i>	2010
26	Lorsys– um sistema de recomendação de objetos de aprendizagem SCORM	2010
27	<i>Personalized e-learning and e-mentoring through user modelling and dynamic recommendations for the inclusion of disabled at work and education</i>	2009
28	<i>Context-aware customization e-learning system with intelligent online examination mechanism</i>	2009
29	<i>Multi-model ontology-based hybrid recommender system in e-learning domain</i>	2009
30	<i>Identifying the goal, user model and conditions of recommender systems for formal and informal learning</i>	2009
31	<i>Simulating light-weight personalised recommender systems in learning networks: a case for pedagogy-oriented and rating-based hybrid recommendation strategies</i>	2009
32	<i>Automatic recommendations for e-learning personalization based on web usage mining techniques and information retrieval</i>	2008
33	<i>Ontology-based personalised and context-aware recommendations of news items</i>	2008
34	<i>Personal recommender systems for learners in lifelong learning networks: the requirements, techniques and model</i>	2008

35	<i>Users experience with a recommender system in an open source standard-based learning management system</i>	2008
36	<i>Utilizing physical and social context to improve recommender systems</i>	2007
37	<i>Embedding emotional context in recommender systems</i>	2007
38	<i>Social recommender systems: recommendations in support of e-learning</i>	2005
39	<i>Improving system recommendations using localization feedbacks</i>	2005
40	<i>Context-aware collaborative filtering system: Predicting the user's preference in the ubiquitous computing environment.</i>	2005
41	<i>What do you recommend? Implementation and analyses of collaborative information filtering of web resources for education</i>	2003
42	<i>Building a recommender agent for e-learning systems</i>	2002

4.3. Análise dos Resultados

Em sequência foram agrupados, descritos e analisados quanto a suas principais funcionalidades os trabalhos constantes do mapeamento, com o fim de serem identificadas as informações relevantes do domínio, especialmente as que estão aptas a responder as questões de pesquisa.

Em resposta à questão “Q1. Como é formalizado um sistema de recomendação sensível ao contexto?” verifica-se que enquanto o problema da recomendação na maioria dos sistemas pode ser expresso em duas dimensões (R: Usuários X Itens → Avaliações), em ambientes complexos como os de aprendizagem ubíqua, devem ser considerados n-contextos e incorporados à predição multidimensional (R: Usuários X Itens X Contextos → Avaliações) como ilustrado na figura 1.

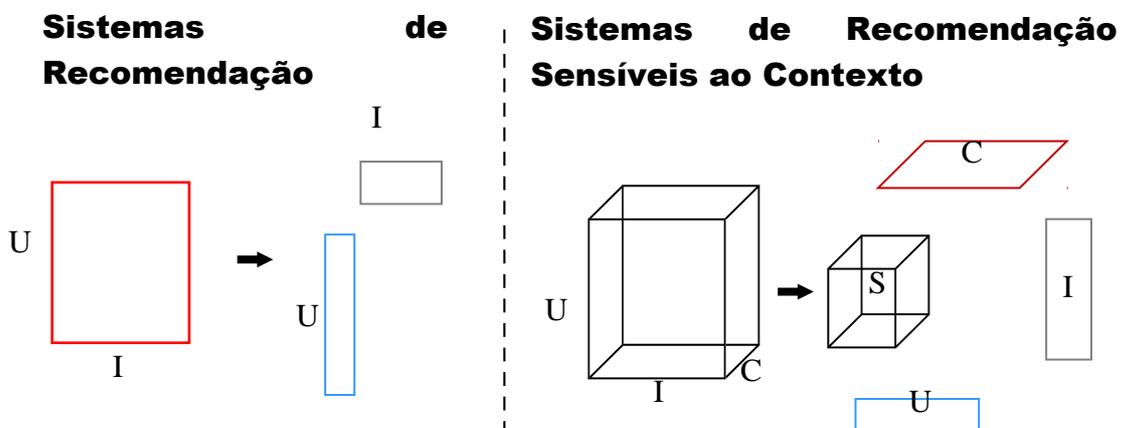


Figura 1. Dimensões na recomendação. Fonte: [16].

Em virtude da amplitude da gama de variáveis a serem consideradas na recomendação, como perfis de aprendizagem, dados do usuário, ontologias, objetos, repositórios de aprendizagem e os mais variados contextos, os algoritmos empregados em sistemas de recomendações tradicionais não são plenamente eficazes no domínio de aprendizagem aprimorada por tecnologia. Tais ambientes *u-learning* possuem características específicas que não são contempladas por aproximações de recomendação de propósito geral [Verbert *et al* 2012].

Sistemas de recomendação são baseados principalmente em avaliações feitas por usuários sobre um conjunto de itens, como produtos, filmes, músicas etc. Essas avaliações são normalmente explícitas e podem ser representadas em uma matriz esparsa, relacionando usuário-item; esparsa, pois um usuário avalia geralmente apenas uma pequena quantidade do total de itens. Tais sistemas lidam ainda com o problema de escalabilidade, pois constantemente podem ser acrescentados novos usuários e itens, afetando a eficácia do algoritmo de recomendação.

A maioria das estratégias em sistemas de recomendação realiza fatorização (ou decomposição) de matrizes. Neste processo, uma matriz é transformada em um produto de matrizes; por meio da decomposição de matrizes é possível inferir associações latentes existentes entre os dois conjuntos relacionados. Em sistemas complexos não há apenas duas entidades na relação; em muitas redes sociais de recomendação há três ou mais entidades, como usuário-item-localização-tags. Nesses sistemas multidimensionais os algoritmos básicos de recomendação modelados para matrizes não são suficientes, sendo necessária a fatorização de tensores.

Um tensor pode ser entendido como a representação de uma generalização de vetores e matrizes com algum relacionamento de alta dimensionalidade. Como visto na seção introdutória, tensores são matrizes com o número de dimensões maior ou igual a 3. Tecnicamente, matrizes, vetores e escalares são tensores de ordem 2, 1 e 0, respectivamente.

Cada conjunto de variáveis em um ambiente complexo, como o de aprendizagem ubíqua, corresponde a uma dimensão ou ordem. O principal desafio encontrado nesses ambientes multidimensionais é processamento computacional de múltiplas variáveis que não podem ser descartadas sob pena de perda de informação relevante, motivo pelo qual a fatoração de tensores por algum método ou algoritmo reconhecido, revela-se indispensável. Para enfrentar a complexidade podem ser utilizadas técnicas de inteligência artificial, processamento paralelo e sistemas distribuídos, em plataforma de agentes.

Em relação à questão de pesquisa “QP2. Como é realizada a integração de contexto ao processo de recomendação?” identificamos informações relevantes em [3], [4], [12], [14], [16], [33], [36], [37], [39] e [40].

Em [3] se apresentam sistemas de recomendação com reconhecimento de contexto que são incorporados em objetos do cotidiano físico, uma nova classe emergente de recomendadores físicos inteligentes. Um modelo conceitual detalhado para projetos com exemplo de aplicação é exposto, fornecendo diretrizes de projeto para uma nova classe crescente de recomendadores que combinam os recursos de agentes

inteligentes, objetos ciberfísicos e sistemas de suporte a recomendações. A contribuição mais interessante desse artigo é apresentar um modelo de objeto físico (ARSPO – Adaptive Recommender Smart Physical Object) capaz de efetuar recomendações e interagir com um usuário.

Constatamos em [4] que existem três paradigmas para se incorporar informação de contexto aos sistemas de recomendação: a) Pré-filtragem: as informações de contexto são usadas como mecanismos de filtragem para os dados, antes da aplicação do modelo de recomendação; b) pós-filtragem: aplicam-se os algoritmos de recomendação a partir dos dados; o conjunto de recomendações é então filtrado pelas informações de contexto; e c) modelagem contextual: ao próprio algoritmo de recomendação são integradas as informações de contexto. O problema de inclusão de contexto em sistemas de recomendação tem solução diversa conforme o tipo de sistema, se baseado em conteúdo, em filtragem colaborativa ou em uma abordagem híbrida (vide referencial teórico, seção 3). A figura 2 descreve o processo de recomendação nesses três tipos de sistemas de recomendação.

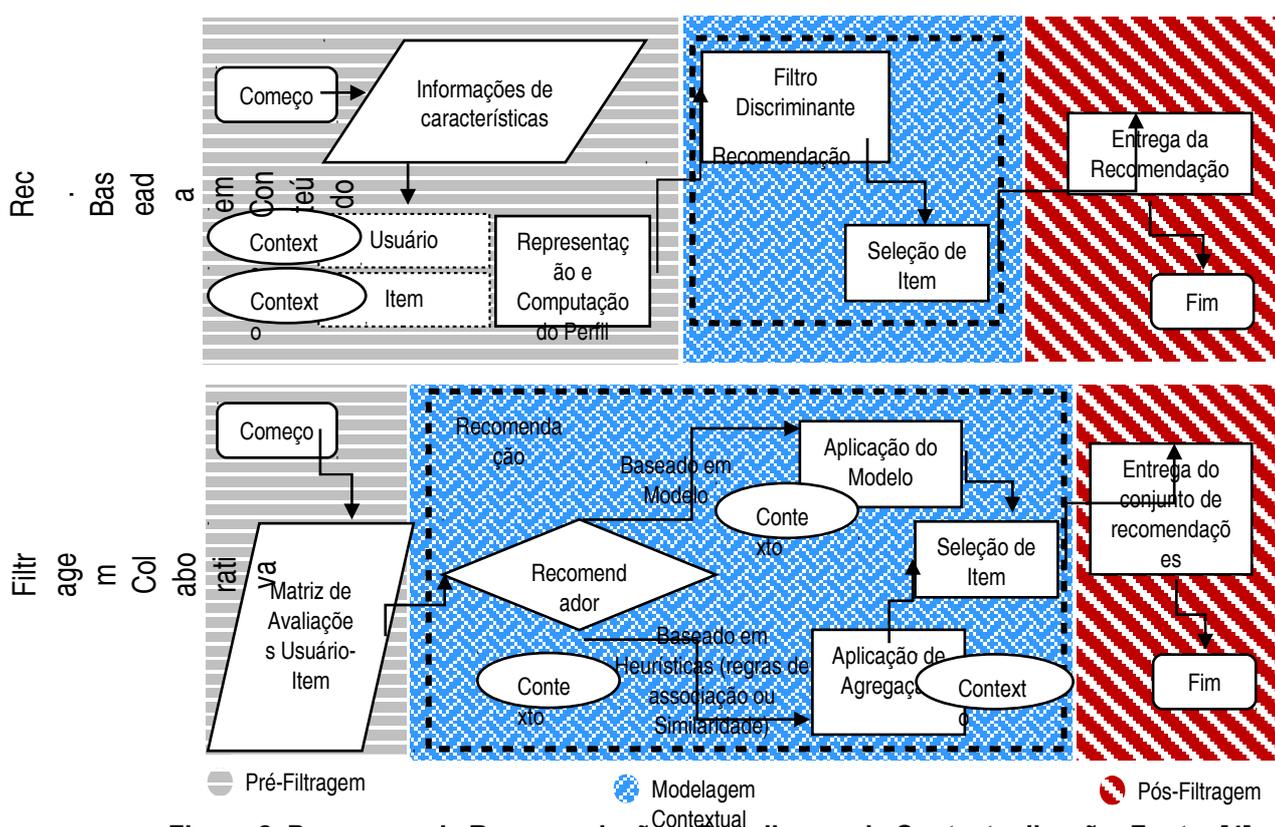


Figura 2. Processos de Recomendação e Paradigmas de Contextualização. Fonte: [4].

[12] fornece uma solução de recomendação de conhecimento, usando dados massivos de uma plataforma de *e-learning* com o objetivo de criar uma rede de conhecimento social que relaciona os alunos a recursos de aprendizagem dinâmicos e enfatiza a integração do conhecimento e dos usuários. Nesses sistemas os nós da rede não são apenas recursos, mas também usuários. A partir de um nó de recursos, podem-se encontrar os recursos e usuários mais relacionados, e é possível obter os usuários e recursos mais relevantes de um nó de usuário.

Uma visão geral dos sistemas de recomendação é fornecida em [14]. O objetivo é apresentar os conceitos fundamentais desses sistemas e os tópicos mais avançados, organizando-os em um repositório coerente e unificado dos principais conceitos, teorias, métodos, tendências, desafios e aplicativos dos sistemas de recomendação. A obra descreve em detalhes os métodos clássicos, bem como extensões e novas abordagens que foram introduzidas mais recentemente.

Em [16] é considerado o problema de recomendar a um usuário os contextos apropriados nos quais um item deve ser selecionado. Os recomendadores de contexto podem ser usados como um conjunto de ferramentas para auxiliar na tomada de decisões dos usuários. São usadas duas classes gerais de algoritmos para resolver este problema: predição de contexto direto e recomendação de contexto indireto. Também são analisados vários algoritmos diretos de predição de contexto baseados na classificação multi-label (MLC). O trabalho conclui que as abordagens propostas superam os métodos de linha de base, e também que a personalização é necessária para aumentar a eficácia de tais recomendadores de contexto.

Em [33] se apresenta um sistema de recomendação que faz uso de tecnologias semânticas para fornecer vários serviços de recomendação de notícias on-line, individualizando a ordem em que os artigos de notícias são mostrados ao usuário, de acordo com seu perfil de interesse de longo prazo; um outro modelo reordena as listas de notícias levando em consideração o atual contexto semântico de interesse do utilizador. O conteúdo de notícias e as preferências do usuário são descritos em termos de conceitos que aparecem em um conjunto de ontologias de domínio, levando em conta as semelhanças entre descrições de itens e perfis de usuários, e as relações semânticas entre conceitos.

Em [36] são discutidos alguns princípios para conscientização do contexto em sistemas de recomendação e proposto um sistema de recomendações híbridas para recomendar aplicativos aos usuários de dispositivos móveis. Demonstra que a recomendação social supera os algoritmos tradicionais de filtragem colaborativa no cenário analisado.

Em [37] são introduzidos os sistemas de recomendação ambiental, capazes de explorar contexto emocional (requisito da próxima geração de sistemas de recomendação), com aplicação prática na plataforma Smart Prediction Assistant (SPA) um guia de aprendizado inteligente com milhões de usuários, baseado na integração de agentes inteligentes com recursos de aprendizado adaptativo e incremental. Busca incorporar a inteligência emocional do usuário em sistemas de recomendação, efetuando recomendações aos usuários com base em informações emocionais coletadas a partir de uma perspectiva interdisciplinar, inspirada em futuros sistemas de recomendação emergentes em cenários de Inteligência Ambiental.

Em [39] apresenta-se um sistema baseado em agentes que atua como um guia turístico especializado para usuários móveis, fornecendo informações diferentes de acordo com o dispositivo, o usuário e o contexto, usando feedbacks provenientes de localização para adquirir o conhecimento necessário para fornecer serviços baseados em localização e para atualizar o modelo de usuário. O sistema UbiquiTO, modelado em arquitetura multiagente, funciona através de regras de produção, composto por um

conjunto de agentes de personalização e módulos de suporte encarregados de gerenciar o modelo de usuário. Um dos principais aspectos inovadores é o uso de feedbacks de localização para prover serviços baseados em localização e a aquisição do conhecimento necessário para a atualização do modelo do usuário. Explora várias técnicas de localização: localização orientada para o usuário, localização de LAN sem fio e GPS.

Por fim, em [40] é proposto um sistema de filtragem colaborativa com reconhecimento de contexto que infere a preferência de um usuário em diversas situações de contexto com fundamento em experiências passadas. Usando técnicas de filtragem colaborativa, idéias semelhantes em contexto semelhante podem ser utilizadas a fim de prever a preferência de um usuário em relação a uma atividade no contexto atual. Esse sistema pode ajudar a prever o comportamento do usuário em diferentes situações sem que o usuário o defina de forma explícita.

Em resposta à questão de pesquisa “QP3. Quais são os tipos de ontologias e contextos comumente incorporados aos sistemas de recomendação em *u-learning*?” são apresentados na tabela 3 e na lista 1 os principais achados desta revisão.

Tabela 3. Ontologias em Sistemas de Recomendação Sensíveis ao Contexto. Fonte: [6].

Ontologias	Descrição
De Domínio	Curso, tópicos, subtópicos, objetivos, pontos de interesse, objetos de aprendizagem;
Do Aprendiz	Dados biográficos e identificação, estilos de aprendizagem, habilidades e níveis de colaboração, papéis, conhecimento prévio
De Especialistas	Identificação, tópicos de <i>expertise</i> , estilos de ensino

Em relação a ontologias, resalte-se que em [23] é abordada a questão da falta de conjuntos de dados de referência para comparar diferentes abordagens de recomendação, em sistemas de recomendação em aprendizagem aprimorada em tecnologia; o artigo discute políticas necessárias para aprimorar o compartilhamento de conjuntos de dados e investiga uma série de etapas que podem ser seguidas para desenvolver esses conjuntos de dados de referência que serão adotados e reutilizados dentro de uma comunidade científica. Além disso, realiza uma elaboração inicial de um formato de representação e troca para conjuntos de dados compartilháveis.

Lista 1. Principais Contextos em Sistemas de Recomendação. Fonte: [4]

Contexto computacional	Contexto de usuário
Rede	Informações pessoais para Identificação
Propriedades estáticas e dinâmicas. Ex.: largura da banda	Biografias
<i>Hardware</i>	Autenticação
Capacidade de processamento e armazenamento dos dispositivos	Habilidades ou limitações

<i>Software</i>	Nível de conhecimento no domínio
APIs, formatos de arquivos, protocolos, sistemas operacionais	Interesses
<i>Standards: W3C CC/PP, UAprofile, UED, MPEG-21 Digital Item Adaptation, WURFL</i>	Termos de busca
Contexto de localização	Comentários
Informações geométricas, espaciais, de pessoas, coisas e dispositivos.	Documentos que criou
Proximidade, acessibilidade, orientação às necessidades do usuário.	Documentos que acessou
Sensoriamento por GPS, rede Wi-Fi	Documentos que avaliou
<i>Standards: ISSO TC/21, Open GIS Consortium</i>	Objetivos de aprendizagem
Contexto de tempo	Outros objetivos a curto e longo prazo
Informações de data, hora, semana, mês, semestre	Hierarquização de objetivos
<i>Timestamp, time span, intervalos de tempo</i>	Estilos de aprendizagem
Contexto físico ou natural	Informações afetivas
Condições do ambiente real do usuário, calor, iluminação, barulho	Modelo OCC (22 categorias de emoções)
Domótica	Modelo de Russel (bidimensional ou circumplexo)
Contexto de atividade	Conhecimento extra-domínio
Tarefas, objetivos, ações do usuário.	Experiências do usuário fora do domínio
Eventos em uma aplicação, informes de sessão e tempo	Características culturais
Permite a inferência de objetivos e interesses do usuário	Trabalhos afins
Contexto de repositórios / objetos de aprendizagem	Contexto artificial
<i>Standard: IEEE LOM, Dublin Core, MPEG-7</i>	Sensores físicos, virtuais e lógicos, Internet das Coisas

Em resposta à questão de pesquisa “QP4. Quais trabalhos apresentam estratégias para resolução do problema de recomendação em ambientes de aprendizagem assistidos por tecnologia?” constatamos que são escassos os sistemas de recomendação sensíveis ao contexto aplicados ao domínio de *u-learning* (menos de 1%) [4], embora a maioria das soluções *e-learning* prevejam alguma forma de recomendação ou personalização. Soluções aplicadas a aprendizagem aprimorada por tecnologia em geral são discutidas a seguir.

[1] propõe gerar recomendações de tutores em um tópico, a partir da experiência desses tutores com outros estudantes, suas disponibilidades e proximidade física. Também propõe um método para detectar problemas de aprendizagem de alunos e recomendar ajuda de maneira personalizada.

[2] fornece um conteúdo de aprendizagem personalizado em aprendizagem ubíqua, considerando as preferências individuais do aluno e a consciência do contexto. Objetiva fornecer material didático apropriado para contextos atuais de cada aluno e baseado em seus estilos de aprendizagem preferidos, estilos cognitivos e estado cognitivo.

[5] apresenta um sistema de recomendação para aprendizagem ubíqua usando o contexto do aprendiz e um modelo de árvore de decisão.

Em [6] verifica-se um método para gerar recomendações de especialistas no assunto que o aluno deseja aprender, considerando as experiências desses especialistas com outros alunos, disponibilidade e proximidade física com o aluno em consulta face a face.

Em [7] são propostos Mapas Cognitivos Difusos para recomendar Recursos de Aprendizagem em uma Sala de Aula Inteligente, ambiente baseado em Sistemas Multiagente, onde um de seus agentes é um sistema de recomendação de Recursos de Aprendizagem. Neste artigo, o sistema tais mapas exploram o conhecimento, trazendo ao sistema a capacidade de aprender, descobrir novas informações e inferir preferências, entre outras coisas. Para tanto, utiliza cinco tipos de conhecimento: alunos, recursos de aprendizagem, tópicos, contexto e críticas. A capacidade de aprendizado é explorada para definir o mapa e, particularmente, os pesos das relações no início. A capacidade de raciocínio foi demonstrada nos estudos de caso, para inferir recomendações, preferências, etc. A capacidade de representação de diversos conhecimentos é definida através dos diferentes conceitos de MFC, que foram organizados em dois níveis, de acordo com seus papéis durante a recomendação.

[9] procurou contribuir com a apresentação de novos resultados quanto à identificação de estilos de aprendizagem e caracterização de perfis de alunos em um ambiente de ensino, sem necessidade de esforço por parte dos alunos. Para fins de experimentação, foram coletados os dados de interação de um grupo de estudantes registrados no sistema Moodle, em operação em uma instituição de ensino superior. A partir de algoritmos de aprendizado de máquina ainda não explorados neste contexto, buscou-se obter um modelo de relações entre os comportamentos no ambiente virtual e os índices identificados a partir de questionários preenchidos pelos estudantes no início do curso.

[11] propõe um sistema de recomendação de contexto para aprendizagem ubíqua que capacita os alunos a acessar materiais de aprendizado utilizando códigos de barras 2D ou QR-Codes usando a abordagem de filtragem colaborativa em sistemas de recomendação, bem como um algoritmo de Cluster para alunos do grupo e o algoritmo de regras de associação (Data Mining), para descobrir relações interessantes entre variáveis disponíveis em grandes bancos de dados. Também são empregados telefones celulares ou tablets com utilização de QR-Codes para obter informações de aprendizado em sites on-line.

Em [13] se apresenta um modelo de recomendação ubíqua educacional destinado a grupos de aprendizes, como forma de auxiliar o professor no processo de busca e seleção de materiais educacionais, o modelo considera os perfis dos alunos, o contexto onde eles estão inseridos, os perfis de um grupo de aprendizes, a dinamicidade na formação destes grupos e o contexto no qual eles se encontram.

[17] propõe uma abordagem baseada em agente para recomendação de objetos de aprendizagem com três tipos de agente, SAg (Agente de Estudante), RAg (Agente de Recomendação) e IAg (Agente de Interface). Os SAg enviam informações de perfil para os RAg, que identificam no repositório os objetos de aprendizagem apropriados ao contexto do estudante; Em sequência, a informação do objeto identificado segue para o IAg, que apresenta o objeto de aprendizagem com a interface mais apropriada, considerando as limitações dos dispositivos de acesso.

Em [18] é proposta uma estrutura para recomendação contextual em aprendizagem aprimorada por tecnologia. Essa estrutura identifica as dimensões de contexto relevantes para aplicativos, que é usada para conduzir uma análise aprofundada de recomendadores sensíveis ao contexto.

Em [19] apresenta-se uma recomendação pedagógica neuro-difusa (NFPR), recomendação adaptativa baseada na inferência neuro-fuzzy, que pode ser usada para criar regras pedagógicas em sistemas de aprendizagem aprimorada por tecnologia. A principal característica é a flexibilidade, permitindo aos professores criar seu próprio conjunto de regras pedagógicas. O modelo proposto foi implementado e testado com dados simulados.

[22] entabula algoritmos de recomendação para desenvolvimento de um sistema *u-learning* sensível ao contexto, o qual contém os seguintes módulos relacionados ao material didático: de apresentação, de gerenciamento, de recomendação.

Em [24] é proposta uma abordagem que emprega técnicas de sistema de recomendação para mineração de dados educacionais, especificamente para previsão sistemática do desempenho dos alunos e mapeamento dos dados educacionais para usuário-item em sistemas de recomendação. A validação da abordagem foi realizada comparando técnicas do sistema de recomendação com os métodos tradicionais de regressão, como a regressão logística, a partir de dados educacionais. Resultados experimentais mostram que a estratégia proposta pode melhorar os resultados da previsão sistemática.

Em [32], são delineados os princípios gerais de uma nova abordagem para personalização, por meio de um sistema de recomendação baseado em técnicas de

mineração e tecnologia de mecanismo de busca escalável. Foram usados metadados de conteúdo educacional padronizados para criar perfis de conteúdo e para criar perfis de usuário técnicas de mineração de uso da Web (clustering e associação de regra). Recomendações híbridas (baseadas em filtragem colaborativa e recomendação baseada em conteúdo) também foram usadas na fase de recomendação. Pretende computar recomendações automáticas on-line para um aluno ativo com base em seu histórico de navegação recente, bem como explorar semelhanças e diferenças entre as preferências do usuário e entre os conteúdos dos recursos de aprendizagem.

Em [34] se apresenta um modelo inicial para o projeto de sistemas em redes de aprendizagem (lidam com qualquer situação de aprendizagem, em todos os níveis de ensino e em todos os contextos, e são orientadas por uma comunidade em que cada membro tem possibilidade de contribuir para o material de aprendizagem) e um roteiro para o seu desenvolvimento demonstrando-se a necessidade de sistemas de recomendação pessoal para orientação dos alunos quanto às atividades de aprendizagem adequadas que devem seguir. Os Sistemas de Recomendação existentes e as técnicas de recomendação usadas para produtos de consumo e outros contextos são avaliados quanto à sua adequação para fornecer suporte de navegação em uma rede de aprendizagem. O artigo aborda a utilização de técnicas de recomendação baseadas em memória, que calculam as recomendações com base no conjunto de dados atual. Leva em conta os objetivos de aprendizagem, o conhecimento prévio, as características do aprendiz, os grupos de aprendizes, as avaliações, os caminhos de aprendizagem e as estratégias de aprendizagem. O artigo conclui que técnicas de recomendação baseadas em memória híbrida têm a capacidade de fornecer as recomendações mais precisas, compensando as desvantagens de técnicas únicas em uma estratégia de recomendação.

[35] modela recomendações em cenários de aprendizagem a partir de resultados empíricos seguindo critérios de usabilidade e acessibilidade. O trabalho integrou um protótipo de um sistema de recomendação e um sistema de gerenciamento de aprendizado baseado em código aberto, sendo o principal objetivo do recomendador melhorar a eficiência da aprendizagem. A lista 2 identifica os principais tipos de serviços ou objetos da recomendação.

Lista 2. Exemplos de serviços ou objetos para recomendação. Fonte: [35]

Estilos de aprendizado
Ajuda
<i>Post message</i> (recomenda responder uma mensagem específica de um fórum)
Mensagem de leitura (recomenda ler uma mensagem específica de um fórum).
Link de <i>Upload</i> : recomenda criar um link interno para um objeto no gerenciador de arquivos ou para um URL externo.
<i>Upload</i> de arquivo: recomenda ao usuário para enviar um arquivo para ele.
Arquivo de leitura.
FAQ
Avaliação de preenchimento.
Postar uma mensagem em um blog

Comentar uma mensagem no blog
Participar de chat
Efetuar uma classificação (MR): sugerir avaliar explicitamente alguns elementos do ambiente, o nível de colaboração de um usuário, o nível de dificuldade de uma atividade, a relevância de uma atividade, etc.
Fazer comentário
Ler comentário
Ler link externo: aponta para um URL externo e diz ao usuário para lê-lo
Insira um curso
Fazer atividade
Recurso de leitura
Trabalhar no objetivo: objetivo de aprendizagem (ou competência), cuja descrição é dada no link.
Colegas on-line: mostra os usuários do mesmo curso atualmente conectados e recomenda uma comunicação síncrona.
Veja modelo de usuário: sugere ver informações inferidas sobre o usuário de suas interações no sistema.
Estatísticas de usuários
Prazos de alerta: lembra um prazo apertado e aponta para as instruções correspondentes
Recursos de acessibilidade do navegador e da plataforma.
Usuário de acompanhamento: sugere seguir as contribuições feitas por um dos alunos.
Texto simples: recomenda textos simples ao usuário, para oferecer mensagens motivacionais

[38] demonstra que os sistemas de recomendação podem desempenhar um papel de extensão na aprendizagem on-line. Nesses sistemas, os alunos podem receber orientação na localização e classificação de referências, bits de conhecimento, itens de teste e assim por diante. As classificações dos usuários podem ser aplicadas a itens, usuários, classificações de outros usuários e, se permitido, avaliadores de avaliadores de itens de forma recursiva. Descreve um sistema de aprendizado on-line - QSIA - um sistema de recomendação ativo para o compartilhamento de perguntas e tarefas interativas, projetado para aprimorar o intercâmbio de conhecimento entre os alunos. O sistema de recomendação do QSIA permite que grupos de usuários compartilhem seus julgamentos e informações de maneira a estimular a colaboração e a confiança.

Em [41] são examinados os resultados de um estudo piloto e dois estudos empíricos do sistema de filtragem colaborativa aplicados a contextos educacionais. A partir de análises de dados desses três estudos, conclui-se que a filtragem é promissora na educação, não só para ajudar alunos e educadores a encontrar recursos úteis para o aprendizado, mas como um meio de reunir pessoas com interesses e crenças semelhantes e, possivelmente, como uma ajuda para o próprio processo de aprendizagem.

Finalmente, [42] propõe o uso de técnicas de mineração na Web para criar um agente recomendador de atividades de aprendizado on-line. Essas técnicas são consideradas mineração de web integrada para descobrir padrões de acesso. É

apresentada uma abordagem para construir um agente de *software* que usa técnicas de mineração de dados, como regras de associação mineração, a fim de construir um modelo que representa comportamentos do usuário e usa esse modelo para sugerir atividades ou atalhos.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi proposta uma revisão sistemática de sistemas de recomendação sensíveis ao contexto com foco em aplicações a ambientes de aprendizagem ubíqua (*u-learning*), bem como apresentadas e analisadas as arquiteturas, técnicas e tecnologias representativas do estado da arte.

A análise dos resultados da revisão permite concluir que situações contextuais apropriadas para certo usuário com referência a um item determinado podem tornar mais eficazes as recomendações e auxiliar tomadas de decisão ou seleção. A integração de múltiplas dimensões de contextos ao processo de recomendação tem o efeito de entregar sugestões mais precisas para os usuários, embora ao custo de uma modelagem tensorial adequada e elevada capacidade de processamento computacional. Como trabalho futuro, objetiva-se a formulação de um modelo de recomendação contextual baseado em plataforma de agentes, com aplicação em um ambiente *u-learning*.

6. Referências Bibliográficas

6.1. Referências mapeadas:

- [1] Reuter, Beatriz Fernandez, Alvarez, Margarita M., Gonzalez, Gabriela e Durán, Elena B. (2018) “*Multi-agent system model for tutor recommendation in ubiquitous learning environments*”, *I Workshop on Advanced Virtual Environments and Education (WAVE2)*.
- [2] Guabassi, Inssaf El, Achhab, Mohammed Al, Jellouli, Ismail, Mohajir e Badr Eddine EL (2018) “*Personalized Ubiquitous Learning via an Adaptive Engine*”, *iJET – Vol. 13, (12)*.
- [3] Cena, Federica, Console, Luca, Matassa, Assunta e Torre, Ilaria (2017) “*Principles to Design Smart Physical Objects as Adaptive Recommenders*”, *IEEE Access*, Volume: 5.
- [4] Villegas, Norha M., Sanchez, Cristian, Diaz-Cely, Javier, Tamura, Gabriel (2017) “*Characterizing Context-Aware Recommender Systems: A Systematic Literature Review*”, *Knowledge Based Systems*. Volume 140, (15).
- [5] Guabassi, Inssanf El, Achhab, Mohammed Al, Jellouli, Ismail, Mohajir, Badr Eddine El (2017) “*Context-Aware Recommender Systems for Learning*” *International Journal of Information Science & Technology – iJIST*, 2550-5114.
- [6] Durán, Elena B., Álvarez, Margarita M. (2017) “*Method for Generating Expert Recommendations to advise students on ubiquitous learning experiences*”, *36th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*.
- [7] Aguilar, Jose, Valdiviezo-Díaz, Priscila, Riofrio, Guido (2016) “*A Fuzzy Cognitive Map like Recommender System of Learning Resources*”, *2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*.

- [8] Elbadrawy, Asmaa, Karypis, George (2016) “*Domain-Aware Grade Prediction and Top-n Course Recommendation*”, *RecSys '16 Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems*.
- [9] Ferreira, L. D. (2016) “Técnicas de aprendizado de máquina aplicadas à identificação de perfis de aprendizado em um ambiente real de ensino”, Monografia (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional), Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.
- [10] Mojisola, Erdt e Fernandez, Alejandro; Rensing, Christoph (2015) “*Evaluating Recommender Systems for Technology Enhanced Learning: A Quantitative Survey*”, *IEEE Transactions on Learning Technologies*.
- [11] Thiprak, Sukanya e Kurutach, Werasak (2015) “*Ubiquitous computing technologies and Context Aware Recommender Systems for Ubiquitous Learning*” *12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*.
- [12] Li, S., Zheng, J. e Jing, Q. (2015) “*Knowledge recommender: An application based on the social knowledge network for knowledge recommendation*”, *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies* 403–404.
- [13] Ferreira, Luis Gustavo A., Gluz, João C., Barbosa, Jorge L. V., e Vicari, Rosa Maria, (2015) “*UbiGroup: A Model of Ubiquitous Recommendation of Content for Dynamic Groups of Learners*”, *Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)* (ISSN: 1414-5685; on-line: 2317-6121).
- [14] Ricci, Francesco, Rokach, Lior e Shapira, Bracha (2015) “*Recommender Systems Handbook, Panorama of Recommender Systems to Support Learning*”, Chapter 12, 421—451.
- [15] Tang, Tiffany Y., Winoto, Pinata, e McCalla, Gordon (2014) “*Further Thoughts on Context-Aware Paper Recommendations for Education*” in Manouselis, Nikos, Drachsler, Hendrik, Verbert, Katrien e Santos, Olga C. (eds.) “*Recommender Systems for Technology Enhanced Learning: Research Trends e Applications*”, Springer-Verlag, New York.
- [16] Zheng, Yong, Mobasher, Bamshad, Burke, Robin (2014) “*Context Recommendation Using Multi-Label Classification*”, *2014 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT)*.
- [17] Silva, Luís Cláudio Vieira da, Neto, Francisco Milton Mendes, Júnior, Luiz Jácome e Muniz, Raphael de Carvalho (2012) “*Recommendation of Learning Objects in an Ubiquitous Learning Environment through an Agent-Based approach*”, G.D. Putnik e M.M. Cruz-Cunha (Eds.): ViNOrg 2011, CCIS 248.
- [18] Verbert, K., Manouselis, N., Ochoa, X., Wolpers, M., Drachsler, H., Bosnic, I., e Duval, E., (2012) “*Context-aware recommender systems for learning: a survey e future challenges*”, *Learning Technologies, IEEE Transactions*, vol. 5, (4).

- [19] Severac, Z., Devedzic, V. e Jovanovic, J. (2012) “*Adaptive neuro-fuzzy pedagogical recommender*”, *Expert Systems with Applications* 39, (10).
- [20] Vieira, F. J. R. e Nunes, M. A. S. N (2012) “Sistema de recomendação de objetos de aprendizagem baseado em conteúdo”, *Scientia Plena*, v. 8, (5).
- [21] Bahmani, Amir, Sedigh, Sahra e Hurson, Ali R. (2011) “*Context-aware recommendation algorithms for the percepolis personalized education platform*”, 2011 *Frontiers in Education Conference (FIE)*.
- [22] Wang, Shu-Lin e Wu, Chun-Yi (2011) “*Application of context-aware and personalized recommendation to implement an adaptive ubiquitous learning system*”, *Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 9*.
- [23] Drachsler, Hendrik, Bogers, Toine, Vuorikari, Riina, Verbert, Katrien, Duval, Erik, Manouselis, Nikos, Beham, Guenter, Lindstaedt, Stephanie, Stern, Hermann, Friedrich, Martin, Wolpers, Martin (2010) “*Issues and considerations regarding sharable data sets for recommender systems in technology enhanced learning*”, *Procedia Computer Science, Volume 1, Issue 2*.
- [24] Thai-Nghe, Nguyen, Drumond, Lucas, Krohn-Grimberghe, Artus, Schmidt-Thieme, Lars (2010) “*Recommender System for Predicting Student Performance*”, 1st *Workshop on Recommender Systems for Technology Enhanced Learning*, Elsevier, 1877-0509.
- [25] Abel, F., Bittencourt, I.I., Costa, E., Henze, N., Krause, D. e Vassileva, J. (2010) “*Recommendations in Online Discussion Forums for E-Learning Systems*,” *IEEE Trans. Learning Technologies*, vol. 3, (2).
- [26] Ferreira, V. H.; Raabe, A. L. 2010 “Lorsys–um sistema de recomendação de objetos de aprendizagem SCORM”. *RENOTE*, v. 8, (2).
- [27] Santos, O. C., Couchet, J. e Boticario, J. G. (2009) “*Personalized E-learning and E-mentoring through User Modelling and Dynamic Recommendations for the Inclusion of Disabled at Work and Education*”, 2009 *Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, Riga.
- [28] Yao Chin-Bang (2009) “*Context-aware customization e-learning system with intelligent on-line examination mechanism*”, *Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human*, 978-1-60558-710-3.
- [29] Zhuhadar, L., Nasraoui, O., Wyatt, R. e Romero, E. (2009) “*Multi-model Ontology-Based Hybrid Recommender System in E-learning Domain*”, 2009 *IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*.
- [30] Drachsler, H., Hummel, H. e Koper, R., (2009) “*Identifying the Goal, User Model and Conditions of Recommender Systems for Formal e Informal Learning*”, *J. Digital Information*, vol. 10, (2).
- [31] Nadolski, R., Van den Berg A., Berlanga, B., Drachsler, H., Hummel, H., Koper, R., e Sloep, P. (2009) “*Simulating Light-Weight Personalised Recommender Systems in*

Learning Networks: A Case for Pedagogy-Oriented e Rating-Based Hybrid Recommendation Strategies”, *J. Artificial Soc. e Social Simulation*, vol. 12, (1).

[32] Khribi, M. K., Jemni, M., Nasraoui, O. (2008) “*Automatic Recommendations for E-Learning Personalization Based on Web Usage Mining Techniques e Information Retrieval*”, in: *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, IEEE Computer Society, 241–245.

[33] Cantador, I., Bellogín, A. e Castells, P. (2008) “*Ontology-Based Personalised and Context-Aware Recommendations of News Items*”, 2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, Sydney, NSW, 2008.

[34] Drachsler, H., Hummel, H., e Koper, R., (2008) “*Personal Recommender Systems for Learners in Lifelong Learning Networks: The Requirements, Techniques e Model*”, *Int J. Learning Technology*, vol. 3, (4).

[35] Santos, O. e Boticario, J. (2008) “*Users Experience with a Recommender System in an Open Source Standard-Based Learning Management System*”, *HCI and Usability for Education and Work*, A. Holzinger, ed., vol. 5298, Springer.

[36] Woerndl, Wolfgang e Groh, Georg (2007) “*Utilizing Physical and Social Context to Improve Recommender Systems*”, 2007 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence e Intelligent Agent Technology.

[37] Gonzalez, G., Rosa, J. L. de la, Montaner, M. e Delfin, S. (2007) “*Embedding Emotional Context in Recommender Systems*”, 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop, Istanbul, 2007.

[38] Rafaeli, Sheizaf, Dan-Gur, Yuval, e Barak, Miri. (2005) “*Social Recommender Systems: Recommendations in Support of E-Learning*”, *IJDET*, 3, 30-47.

[39] Federica Cena, Sonia Modeo, Stefano Anese, Andrea Ghittino, Guido Levi (2005) “*Improving System Recommendations Using Localization*”, *Feedbacks MobileHCI'05*, September 19–22.

[40] Chen, A., (2005) “*Context-aware collaborative filtering system: Predicting the user’s preference in the ubiquitous computing environment*”, In *Location-and Context-Awareness Springer Berlin Heidelberg*, pp. 244-253.

[41] Recker, M.M., Walker, A. e Lawless, K. (2003) “*What do you recommend? Implementation e analyses of collaborative information filtering of web resources for education*”, *Instructional Science*, Vol. 31, (4).

[42] Zaiane, O.R. (2002) “*Building a recommender agent for e-learning systems*”, *Proceedings of International Conference on Computers in Education, Los Alamitos, California, USA*, pp.55–59.

6.2. Referências complementares

Adomavicius, G. e Tuzhilin, A. (2005) “*Toward the Next Generation of Recommender Systems: A Survey of the State-of-the-Art e Possible Extensions*”, *IEEE Trans. Knowledge e Data Eng.*, vol. 17, (6), pp. 734-749.

- Bellifemine, Fabio, Caire, Giovanni e Greenwood, Dominic (2007). “*Developing multi-agent systems with JADE*”, *Wiley Series in Agent Technology*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate.
- Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A. e Alcalá J. (2011) “*Improving collaborative filtering recommender systems results e performance using genetic algorithms*”, *Knowledge Based Systems* 24 (8).
- Caizer, S. e Aickelin, U. (2005) “*A recommender system based on idiotypic artificial immune networks*”, *Journal of Mathematics, Models and Algorithms* 4 (2), 181–198.
- Costa, C. A. da, Yamin, A. C. e Geyer C. F. R. (2008) “*Toward a General Software Infrastructure for Ubiquitous Computing*”, in *MPRV’08 Proceedings IEEE Pervasive Computing*. Vol. 7, (1).
- Dey, A., Abowd, G. e Salber, D. (2001) “*A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications*”, *Human-Computer Interaction*, vol. 16.
- Hwang CH.S., Su Y.CH. e Tseng K.CH. (2010) “*Using genetic algorithms for personalized recommendation*”, *Lecture Notes in Computer Science*, 6422.
- Kitchenham, B. A e Charters, S. (2007) “*Guidelines for performing systematic literature review in software engineering*”, Keele University.
- Lampropoulos, Aristomenis, Tsihrintzis, S. e George, A. (2015) “*Machine Learning Paradigms: Applications in Recommender Systems*”, *Springer International Publishing, Switzerland*.
- Lopes, A. R., Oliveira, D. C., Aguiar, R. C. S. e Braga, R. T. V. (2017) “*Aprendizagem ubíqua sensível ao contexto: mapeamento sistemático da literatura sobre ambientes de aprendizagem ubíqua*”, In *VII encontro do CIED - Centro Interdisciplinar de Estudos Educacionais – III encontro internacional*, Lisboa.
- Mandula, Kumar (2011) “*Implementation of Ubiquitous Learning System Using Sensor Technologies*”, *Conference: Technology for Education (T4E)*, IEEE International Conference.
- Manouselis, Nikos, Drachsler, Hendrik, Verbert, Katrien e Santos, Olga C. (eds.). (2014) “*Recommender Systems for Technology Enhanced Learning: Research Trends e Applications*”, Springer-Verlag, New York.
- Mohammad Yahya H. Al-Shamri, Kamal K. Bharadwaj (2008) “*Fuzzy-genetic approach to recommender systems based on a novel hybrid user model*”, *Expert Systems with Applications*, volume 35, issue 3.
- Noy, N. F. e McGuinness, D. L. (2001) “*Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*”, Stanford University, Stanford, CA, 94305.
- Pakdeetrakulwong, Udsanee e Wongthongtham, Pornpit (2013) “*State of the Art of a Multi-Agent Based Recommender System for Active Software Engineering Ontology*”, *International Journal of Digital Information and Wireless Communications (IJDIWC)*, 3(4): 29-42.

Ricci, Francesco (2010) “*Recommender Systems*”, Springer-Verlag, New York.

Vladoiu, Monica e Constantinescu, Zoran (2011) “*U-Learning within a context-aware multiagent environment*”, *International Journal of Computer Networks & Communications* (IJCNC), vol. 3, (1).

Wiley, D. A. (2000). “*Connecting learning objects to instructional design theory: a definition, a metaphor, e a taxonomy*”, In D. A. Wiley (Ed.), *The Instructional Use of Learning Objects*. Disponível em: <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>.

Wooldridge, Michael (1999). “*Intelligent Agents*”, In: *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence / edited by Gerhard Weiss*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.