



Recomendação de Caminhos de Aprendizagem Baseado em Mineração de Processos

Thales Vaz Maciel, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Sul-rio-grandense (IFSUL), thalesmaciel@ifsul.edu.br,
<https://orcid.org/0009-0002-4815-7712>

Mariele de Almeida Lanes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
marielelanes@unipampa.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-5424-5527>

Leandro Krug Wives, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
leandro.wives@ufrgs.br, <https://orcid.org/0000-0002-8391-446X>

Resumo. A recomendação de caminhos de aprendizagem é o processo de sugerir uma sequência de atividades aos alunos com base em suas metas, necessidades, habilidades, análise de desempenho, etc. visando a conclusão de uma formação. O objetivo deste trabalho foi auxiliar educandos que utilizam ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) na tomada de decisão pelos caminhos de aprendizagem dentre as atividades dos componentes curriculares. A partir de um estudo exploratório, foi construído um subsistema para recomendação de caminhos de aprendizagem com base em mineração de processos e uma extensão do AVA Moodle para acesso ao subsistema nos cenários específicos de armazenamento de caminhos de aprendizagem históricos e busca por recomendações. Um estudo experimental para verificação do impacto no desempenho dos estudantes que utilizam o sistema proposto será realizado em um trabalho futuro.

Palavras-chave: caminhos de aprendizagem, recomendação, mineração de processos

Abstract. Learning path recommendations is the process of suggesting a sequence of activities for students based on their goals, needs, abilities, performance, etc. in sight of concluding a course. Our goal was to assist virtual learning environments (VLE) students in the learning path decision making process. To achieve this, we built a learning path recommendation subsystem that is based on process mining and a Moodle extension to access the subsystems in the specific scenarios of storing historical learning paths and searching for recommendations. An experimental study for the verification of the performance impact on the students that use our system will be conducted in a future work.

Keywords: learning path, recommendation, process mining

1. Introdução

A atuação docente necessariamente implica considerar questões relacionadas à aprendizagem. Nesse sentido, observou-se que o caminho de aprendizagem do aluno em relação a um curso ou componente curricular é tradicionalmente pré-recomendado pelo professor

de determinada área de conhecimento e, usualmente, é o mesmo para todos estudantes. No entanto, os avanços nas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na educação têm permitido que os itinerários de estudo dos estudantes sejam adaptados de acordo com seu nível de conhecimento, velocidade de aprendizagem, disponibilidade de tempo e outras preferências pessoais (Rahayu et al., 2023).

Ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) são produtos de *software* para o gerenciamento da aprendizagem via *web*, sintetizando as funcionalidades da comunicação mediada por computador e métodos de entrega de material didático de forma a reproduzir a sala de aula física para o meio digital, incluindo ainda a mediação docente na promoção da aprendizagem (Dillenburg Teixeira, 2011). Entende-se que é inerente, à sistematização dos processos educacionais, o armazenamento de dados históricos destes processos, o que cria oportunidades diversas para a realização de análises aprofundadas do desempenho acadêmico dos estudantes, por meio da mineração de processos.

A aplicação de técnicas de mineração de processos a dados educacionais, tem o objetivo de compreender e melhorar os processos educacionais (Sypsas Kalles, 2022). Segundo Liu et al. (2022), este método utiliza registros de eventos de um AVA para fornecer informações de apoio à decisão nos processos de ensino e aprendizagem.

Nesse contexto, a recomendação personalizada é considerada importante devido ao seu poder de melhorar a aquisição de conhecimento por meio da recomendação de recursos de aprendizagem e/ou caminhos de aprendizagem apropriados de acordo com as preferências individuais dos alunos.

Nessa perspectiva, o objetivo do presente trabalho é auxiliar educandos que utilizam AVAs na tomada de decisão pelos caminhos de aprendizagem nos componentes curriculares. Em outras palavras, o próprio ambiente irá sugerir ao usuário a próxima atividade a ser realizada, visando a conclusão do curso. A hipótese estudada é que a informação de um caminho de aprendizagem parcial, ou seja, o itinerário de estudos do aluno desde o início de um curso até determinado momento, sendo utilizada como parâmetro contextual de um sistema de recomendação de caminhos de aprendizagem, pode trazer ganhos de desempenho formativo ao aluno alvo da recomendação.

O artigo está estruturado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre recomendação de caminhos de aprendizagem e uma breve síntese de trabalhos relacionados recentes. A seção 3 caracteriza o trabalho metodologicamente. A extensão ao AVA Moodle para construção do protótipo do subsistema de recomendação está detalhada na seção 4. A seção 5 apresenta os resultados obtidos na avaliação do protótipo desenvolvido e a seção 6 apresenta as conclusões do estudo.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta a fundamentação conceitual para a hipótese estudada e cita trabalhos relacionados com a abordagem proposta em face dos objetivos do presente estudo. Ao final, ela é posicionada perante a bibliografia.

De acordo com Huang et al. (2023), são benefícios da utilização de AVAs em instituições educacionais:

- criação de ambientes de aprendizagem imersivos;

- melhora na atenção e na aprendizagem cognitiva;
- interatividade com objetos de aprendizagem virtuais; e
- manutenção da eficácia da aprendizagem em cenários não-presenciais.

Além destes, no contexto deste trabalho, é apreciada uma característica inerente à sistematização em ambiente computacional do ambiente físico de estudos: a possibilidade de persistência de dados para toda e qualquer interação dos usuários (docentes e discentes) com o sistema, seus cursos e atividades.

Conforme Dillenbourg Teixeira (2011), muitos destes sistemas buscam ir além da reprodução do ambiente educacional, usando a tecnologia para propiciar aos estudantes novas ferramentas que facilitam a aprendizagem, considerando diferentes objetivos de formação, estilos de aprendizagem, encorajando a colaboração e promovendo o compartilhamento e reutilização dos recursos de aprendizagem.

O aprendizado personalizado, por outro lado, segundo Mahmoud et al. (2015), permite que os alunos tenham mais controle sobre sua jornada de aprendizado e a adaptem às suas necessidades e interesses específicos de forma que, ao oferecer aos alunos a liberdade de escolher seu próprio caminho, dentro de certos limites, o aprendizado personalizado pode aumentar o envolvimento dos alunos e promover uma compreensão mais profunda.

Caminhos de aprendizagem correspondem ao sequenciamento das atividades desempenhadas pelos estudantes no contexto da realização de um curso formativo (Martínez-Carrascal et al., 2023). A Figura 1 mostra um modelo de caminho de aprendizagem usando um grafo dirigido para representar os percursos dos alunos no AVA, onde recursos e atividades são vértices (V) e a navegação entre eles é representada por arestas (Ramos et al., 2017). O diâmetro dos vértices indica o número de interações e os valores nas arestas mostram a frequência das transições. Arestas verdes indicam a sequência definida pelo professor, azuis mostram avanços diretos dos alunos, e vermelhas indicam retornos a atividades anteriores.

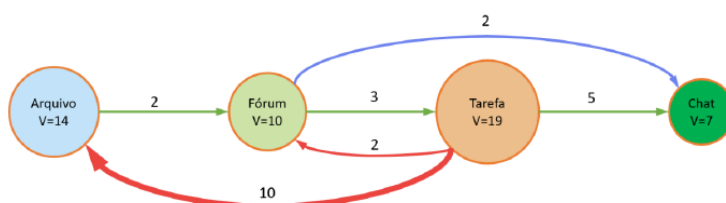


Figura 1. Modelo de caminho de aprendizagem Ramos et al. (2017).

Devido às preferências individuais, o caminho de aprendizagem adequado para cada aluno geralmente é diferente, permitindo que os alunos aprendam em seu próprio ritmo e concluam o material de aprendizado com eficiência em menos tempo (Zhou et al., 2021). Nesse sentido, a construção de caminhos de aprendizagem personalizados podem fornecer meios eficazes para alcançar os objetivos educacionais, permitindo aos alunos a flexibilidade de selecionar o conteúdo de aprendizagem, e as recomendações desses caminhos podem reduzir a sobrecarga de informações, além de motivar e estimular o interesse pelo aprendizado (Zhou et al., 2021).

A recomendação de caminhos de aprendizagem é o processo de sugerir uma

sequência de materiais ou atividades aos alunos com base em suas necessidades e metas individuais (Liu et al., 2023). Conforme Behar (2018), os sistemas de recomendação educacional (SRE) atuam através de mecanismos e algoritmos capazes de mapear as interações, e a trajetória de aprendizagem dos estudantes, podendo indicar desde materiais para os alunos até recomendações para o professor decidir qual a melhor prática pedagógica para determinada situação.

Nesse contexto, a mineração de processos educacionais (MPE) tem sido aplicada na descoberta de caminhos de aprendizagem pela detecção de tendências e perfis de estudantes, no monitoramento de comportamentos discentes, no diagnóstico de gargalos de aprendizagem e no melhoramento de processos de aprendizagem, pela recomendação de itinerários apropriados. Dessa forma, a MPE possibilita mapear o comportamento dos estudantes com base nos seus trajetos ao acessar conteúdos e realizar atividades num curso por meio de um ambiente virtual (da Silva et al., 2020).

O trabalho de Martínez-Carrascal et al. (2023) introduziu uma técnica baseada em mineração de processos para modelagem e avaliação de caminhos de aprendizagem recomendados¹. A abordagem apresentada tem 4 etapas:

1. Abstração de Eventos: os dados brutos do ambiente virtual de aprendizagem são estruturados na forma de um registro de eventos, que é transformado em sequências de atividades que refletem os possíveis caminhos de aprendizagem;
2. Triagem e Seleção: estes caminhos de aprendizagem passam por uma triagem e são selecionados como exemplos representativos que servem como entrada para a descoberta de um modelo de processo educacional;
3. Modelagem do Caminho de Aprendizagem Recomendado: os caminhos de aprendizagem selecionados na etapa anterior são utilizados como entrada para aplicação de técnicas de descoberta de processos baseadas em esqueletização de registro de eventos (Verbeek de Carvalho, 2018)², de forma a apresentar um modelo que generaliza um caminho de aprendizagem para fundamentar a recomendação;
4. Avaliação de Aderência Discente: emprega técnicas de análise de conformidade para avaliar o quanto um caminho de aprendizagem adere ou desvia do caminho recomendado.

Após realização de um estudo de caso em um curso universitário de matemática, o trabalho dos autores Martínez-Carrascal et al. (2023) concluiu que a utilização da mineração de processos, especificamente a esqueletização de processos, é uma forma eficaz para fundamentar a recomendação de caminhos de aprendizagem, e que a análise de conformidade sobre os caminhos realizados pelos estudantes pode melhorar a compreensão do impacto pedagógico da personalização dos caminhos de aprendizagem.

Em Hachicha et al. (2021), foi proposta uma extensão para o AVA Moodle que é capaz de analisar registros de eventos de forma automática a partir de filtragens realizadas

¹Detalhes sobre as etapas de pré-processamento dos dados, especificamente a transformação do registro de eventos em sequências de eventos, os critérios de seleção aplicados, como o algoritmo para descoberta de processos é utilizado e quais algoritmos são aplicados para análise de conformidade não foram apresentados no trabalho.

²A esqueletização de registros de eventos é uma técnica de mineração de processos, especificamente análise de conformidade, que determina se uma sequência de eventos de um modelo está em conformidade com um registro de eventos.

com base em características do perfil do usuário. As etapas do processo de recomendação dos caminhos de aprendizagem são:

1. Agrupamento do Registro de Eventos: o algoritmo *K-means* é utilizado para agrupar discentes com base em seus resultados de aprendizagem e outras características do perfil de usuário;
2. Análise do Registro de Eventos: com base nos agrupamentos realizados, o sistema é capaz de selecionar, automaticamente, os registros de eventos de usuários cujas características de perfil coincidem com aquelas do usuário alvo da recomendação: desempenho de aprendizagem, localização, comportamento social, estilos de aprendizagem, etc.;
3. Descoberta de Processos; é aplicado um algoritmo de descoberta de processos com base no registro de eventos extraído na etapa anterior. Os autores experimentaram com os algoritmos *Alpha*, *Heuristic Miner* e *Inductive Miner*, sendo o *Heuristics Miner* o de melhor desempenho nos experimentos de descoberta de processos realizados;
4. Recomendação: os modelos descobertos são utilizados como base para recomendar recursos educacionais ou modelos do processo educacional ao usuário alvo da recomendação, considerando seus interesses e comportamentos.

No estudo de caso de Hachicha et al. (2021), foram avaliados os modelos de processos educacionais utilizando registros de eventos de 100 estudantes de um curso durante um semestre, totalizando 42.438 registros. Os autores concluíram que a adição da capacidade de descobrir processos educacionais com base em registros de eventos agrupados teve ganho de desempenho nas recomendações de caminhos de aprendizagem em comparação com uma abordagem baseada unicamente nas características de perfil dos usuários.

O trabalho de Wagner et al. (2022) discute uma abordagem híbrida entre mineração de processos e inteligência artificial baseada em regras para recomendação de caminhos de aprendizagem aos estudantes³. As etapas do processo de recomendação são:

1. Análise de Dados: são aplicadas técnicas de mineração de processos para análise dos registros de eventos históricos, caracterização de caminhos de aprendizagem de sucesso e detecção de possíveis desvios dos caminhos idealizados;
2. Análise dos Programas de Estudo: são aplicados cálculo de eventos e programação de conjunto de respostas na modelagem dos programas de estudos a fim de extrair as recomendações idealizadas;
3. Recomendação: os modelos descobertos pela mineração de processos e pela análise dos programas de estudo são combinados para derivação de regras e recomendações que guiam os estudantes aos caminhos de aprendizagem de sucesso;
4. Análise de Conformidade: os modelos de caminhos de aprendizagem recomendados são comparados com aqueles realizados de fato a fim de descobrir desvios e caminhos alternativos;

³O algoritmo de descoberta de processos utilizado na etapa de análise de dados não é explicitamente mencionado no trabalho, mas apenas a utilização de redes de Petri como notação gráfica para apresentação dos modelos descobertos.

5. Suporte: o caminho de aprendizagem é monitorado e sofre intervenção caso detectada inadequação.

Em síntese, o trabalho de Martínez-Carrascal et al. (2023) fundamenta as recomendações na esqueletização de registros de eventos; Hachicha et al. (2021) propõe o agrupamento dos discentes com base em dados do seu perfil de usuário e desempenho discente e Wagner et al. (2022) sugerem uma análise de conformidade do processo educacional em desenvolvimento em face do processo idealizado.

A literatura estudada evidencia a existência de trabalhos cujas implementações são capazes de auxiliar estudantes na tomada de decisão pelos caminhos de aprendizagem num programa de estudos. A proposta ora apresentada, contudo, sugere caminhos para início ou continuidade dos estudos após analisar o progresso do estudante no curso após a realização de cada atividade do curso. Em outras palavras, a recomendação do caminho de aprendizagem é recalculada recorrentemente a fim de apresentar recomendações atualizadas em tempo real.

3. Procedimentos Metodológicos

A presente pesquisa, de natureza aplicada, engloba investigações realizadas com o propósito de solucionar questões identificadas no contexto da educação, especialmente na modalidade Ensino a Distância (EaD), em cenários nos quais os alunos possuem autonomia para decidir suas trajetórias de aprendizagem dentro dos componentes curriculares. Em termos de objetivo, este trabalho se caracteriza como estudo exploratório.

A abordagem metodológica qualitativa foi apreciada no contexto deste trabalho, visto que se propõe a compreensão de mecanismos de recomendação de caminhos de aprendizagem.

Para realização do trabalho, foram efetuadas as etapas:

- Pesquisa por Referencial Teórico: efetuou-se uma busca no repositório de textos científicos *ScienceDirect* por conceitos da educação inerentes à recomendação de caminhos de aprendizagem e aplicações da mineração de processos na recomendação automatizada de caminhos de aprendizagem em ambientes virtuais de aprendizagem;
- Análise de Viabilidade de Prototipação: foi estudada a arquitetura de *software* do AVA Moodle, de forma a compreender a modelagem lógica do banco de dados, a construção de extensões para a camada de aplicação do sistema e como o mesmo se utiliza de gatilhos e ganchos para apresentar as funcionalidades aos usuários de forma oportuna;
- Desenvolvimento do Protótipo: foi desenvolvido o protótipo da funcionalidade de recomendação de caminhos de aprendizagem sobre o AVA Moodle, conforme descrito na seção 4.

4. Desenvolvimento

O banco de dados do AVA Moodle, em sua versão 4.3, possui 470 tabelas, dentre as quais, no contexto desta proposta de mecanismo para recomendação de caminhos de aprendizagem, destacam-se as seguintes:

- mdl_user: armazena as informações dos usuários do ambiente, como nome, senha, e-mail, etc;

- mdl_course: armazena os cursos disponíveis na plataforma;
- mdl_modules: armazena os tipos de atividades disponíveis para os cursos;
- mdl_*: cada tipo de atividade possui uma tabela dedicada para armazenar os enunciados e demais informações das atividades do respectivo tipo, de forma que, para cada registro em mdl_modules, existe uma tabela dedicada a armazenar as instâncias de atividades do respectivo tipo;
- mdl_course_modules: armazena as informações referentes à qual curso pertence uma instância de atividade e de qual tipo ela é;
- mdl_course_modules_completion: armazena as informações de conclusão de atividades pelos alunos dos cursos;
- mdl_course_completion_criteria: armazena os critérios que devem ser cumpridos pelos alunos dos cursos para serem considerados concludentes;
- mdl_course_completions: armazena as informações de conclusão de cursos pelos usuários do ambiente;

A Figura 2 apresenta um modelo de entidades e relacionamentos (diagrama ER) referente à parcialidade do banco de dados do AVA Moodle da lista de tabelas destacadas.

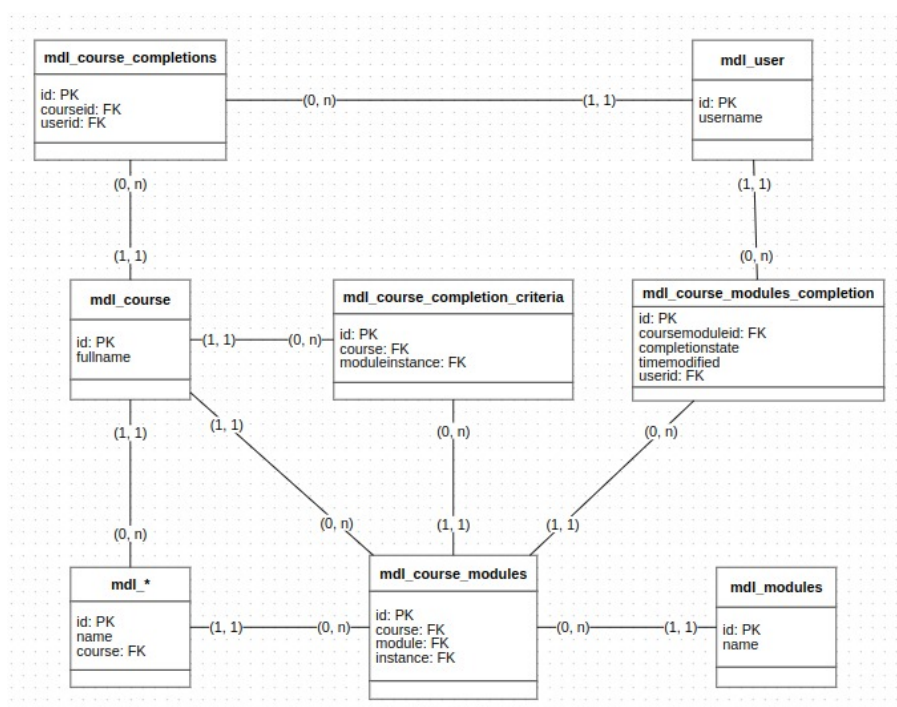


Figura 2. Modelo lógico parcial de Entidades e Relacionamentos (ER) do AVA Moodle.

Conforme o diagrama, a tabela mdl_course_modules tem relacionamentos *N* para *1* com as tabelas mdl_course, mdl_modules e todas mdl_*, denotando que ela é responsável por guardar os relacionamentos de pertencimento de uma atividade a um tipo e a um curso, de forma que um curso pode possuir muitas atividades e uma atividade pode pertencer a vários cursos.

A tabela mdl_course_modules também possui relacionamentos *1* para *N* com as tabelas mdl_course_completion_criteria e mdl_course_modules_completion. A primeira também possui relacionamento *N* para *1* com a tabela mdl_course e a segunda

também possui relacionamento N para I com mdl_user. Portanto, se há um registro em mdl_course_completion_criteria referenciando um curso e uma atividade de curso, sua realização é um requisito para conclusão do mesmo. De forma semelhante, se há um registro em mdl_course_modules_completion referenciando uma atividade de curso e um usuário, o usuário em questão já realizou tal atividade com sucesso. A tabela mdl_course_completions possui relacionamentos N para I com as tabelas mdl_course e mdl_user.

O desenvolvimento da funcionalidade de recomendação de caminhos de aprendizagem no AVA Moodle se deu em duas etapas:

1. Extensão do Moodle para solicitar e receber as recomendações de caminhos de aprendizagem e recomendar tarefas a fim de cumprir um caminho recomendado;
2. Construção do subsistema de recomendação de processos educacionais.

4.1. Extensão do Moodle

Como etapa de desenvolvimento, foi criada uma extensão para o Moodle, escrita em linguagem de programação PHP⁴, cujas responsabilidades são coletar dados no banco de dados local, alimentar o subsistema de recomendação de processos educacionais com dados históricos dos caminhos de aprendizagem dos alunos concludentes, solicitar a recomendação de um caminho de aprendizagem, receber tal recomendação e apresentar a recomendação de uma próxima tarefa a ser realizada pelo aluno alvo da recomendação.

A fim de alimentar o referido subsistema, foi criado um gatilho que é ativado quando o Moodle identifica que um aluno completou todas as atividades obrigatórias de um curso. Ele realiza uma projeção do banco de dados local com a junção das tabelas mdl_course, mdl_course_modules, mdl_course_completion_criteria, mdl_course_modules_completion e mdl_course_completions para o curso e o usuário aluno do curso em questão. Os dados coletados são os identificadores (chaves primárias) dos registros de conclusão das atividades, identificação das atividades, identificação do curso, identificação do usuário do AVA e data e hora da realização das atividades. Este conjunto de dados é, neste momento, enviado ao subsistema de recomendação de processos educacionais via protocolo *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), especificamente no consumo de um serviço web disponibilizado pelo subsistema.

Outro gatilho é ativo quando o usuário visualiza a página de listagem de tarefas de curso a serem realizadas, responsável por apresentar a recomendação de tarefa a ser realizada. Para tal, ele realiza uma projeção do banco de dados local com a junção das tabelas mdl_course, mdl_course_modules, mdl_course_completion_criteria e mdl_course_modules_completion para o curso e o usuário aluno alvo da recomendação, filtrando pelas atividades que foram concluídas até o momento do presente acesso.

Este caminho de aprendizagem parcial é enviado ao subsistema de recomendação de processos educacionais através do consumo de outro serviço web, recebendo um modelo de processo educacional no retorno da requisição HTTP. Este modelo é analisado de forma a recomendar como próxima tarefa aquela que, na ordem cronológica apresentada no modelo, seja a primeira que o aluno não tenha ainda realizado em seu caminho de aprendizagem parcial.

⁴<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7231> - Especificação do protocolo de comunicação HTTP.

4.2. Subsistema de Recomendação de Processos Educacionais

O subsistema de recomendação de processos educacionais é uma aplicação diversa, independente do Moodle e escrita em linguagem de programação *Python*. Ele é responsável por receber e armazenar registros de atividades de caminhos de aprendizagem históricos e recomendar caminhos de aprendizagem.

A fim de armazenar os registros de atividades de caminhos de atividades históricos, o subsistema possui um banco de dados local, que conta com apenas uma tabela, denominada instância, com os campos de identificação do registro (chave-primária), do tipo de atividade, do curso ao qual a atividade pertence, da matrícula do aluno no curso, da atividade realizada, do usuário e do indicador temporal de conclusão da atividade pelo aluno.

Este banco de dados foi projetado de tal forma devido ao formato de dados padrão, que é requisito para tarefas de descoberta de processos. O formato de conjuntos de dados de registros de eventos deve ser estruturado com, no mínimo (Van Der Aalst et al., 2012):

- identificação da instância do processo;
- identificação da atividade realizada;
- indicador temporal de conclusão da atividade.

A identificação da instância do processo é representada pelo identificador da conclusão do curso por um aluno; a identificação da atividade realizada é representada pela chave primária da tabela `mdl_course_modules` e; o indicador temporal de conclusão da atividade é representado pelo campo *timemodified* da tabela `mdl_course_modules_completion`.

A funcionalidade de armazenamento dos registros de atividades de caminhos de aprendizagem históricos não possui interface gráfica do usuário, mas uma interface lógica na forma de um serviço web do tipo *Representational State Transfer (REST)*⁵ que recebe um conjunto de dados em formato *JavaScript Object Notation (JSON)*⁶ referente aos registros de atividades de um caminho de aprendizagem histórico, faz sua interpretação, transformando-o em um objeto complexo da linguagem de programação *Python*, insere os dados recebidos em seu banco de dados local e retorna um status da operação, também em formato JSON, indicando sucesso ou falha na operação.

A funcionalidade de recomendação de caminho de aprendizagem também é disponibilizada por um serviço *web REST/JSON* e espera receber um conjunto de dados referente aos registros de atividades de um caminho de aprendizagem parcial que esteja em andamento. O sistema busca em seu armazenamento local por todos os caminhos de aprendizagem históricos que coincidam com o caminho de aprendizagem parcial desde seu início e os seleciona como entrada para realização de uma etapa de mineração de processos. Este processamento é realizado com o algoritmo *Alpha* (Van der Aalst et al., 2004) para a descoberta de um modelo de processo educacional, no qual é baseada a recomendação de um caminho de aprendizagem.

⁵<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9110.html#REST> - Especificação do padrão arquitetural REST para softwares baseados em redes de computadores.

⁶<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8259.html> - Especificação do formato JSON de representação de dados.

5. Resultados e Discussão

O desenvolvimento da funcionalidade de recomendação de caminhos de aprendizagem para o AVA Moodle ocorreu em duas fases:

- a construção de um subsistema de recomendação; e
- extensão do Moodle para acesso ao subsistema de recomendação.

O subsistema de recomendação de caminhos de aprendizagem é diverso do Moodle e possui duas funcionalidades, disponíveis através de serviços web, sendo acessadas pelo Moodle em cenários oportunos e específicos:

- armazenamento de caminhos de aprendizagem históricos; e
- recomendação de caminhos de aprendizagem.

A funcionalidade de armazenamento de caminhos de aprendizagem históricos é acessada em toda ocasião em que um aluno dos cursos conclui um curso. Neste momento, o Moodle envia ao subsistema de recomendação todo o caminho de aprendizagem realizado pelo aluno concluinte, com dados de matrícula do aluno no curso, identificação do curso, identificação da atividade, tipo da atividade, identificação do usuário e o indicador temporal de conclusão da atividade para cada atividade concluída no caminho de aprendizagem percorrido pelo aluno concluinte do curso.

A funcionalidade de recomendação de caminho de aprendizagem é acessada quando o aluno visualiza a página de tarefas pendentes. Neste momento, todo o caminho de aprendizagem parcial do aluno é enviado ao subsistema de recomendação, que busca por todos os caminhos de aprendizagem históricos cujo percurso parcial foi semelhante àquele alvo da recomendação. A partir destes, é aplicada a mineração de processos para a descoberta de um modelo de processo educacional que seja aderente ao parcial recebido. O modelo descoberto é dado como retorno ao Moodle, de onde foi solicitada a recomendação com base no caminho de aprendizagem parcial. Neste momento, o Moodle apresenta, como recomendação de próxima atividade, aquela de ordem mais preliminar no modelo recomendado que não tenha sido realizada pelo aluno alvo da recomendação.

A aplicação de *software* proposta neste trabalho é aderente à definição de Dillenbourg Teixeira (2011) para AVAs, na forma de que eleva o ambiente de aprendizagem, de apenas um mapeamento do ambiente físico ao virtual, para um ambiente favorável que impulsiona a aprendizagem do aluno.

Através do mecanismo descrito neste trabalho, o aluno passa recorrentemente por recomendações de atividades e, portanto, recomendações de caminhos de aprendizagem, que são calculados a partir do próprio histórico de atividades no curso e o histórico de atividades dos alunos egressos.

Além disso, vale ressaltar que os experimentos estão atualmente em fase de realização como parte de uma pesquisa de doutorado. Este estudo visa não apenas investigar a eficácia do subsistema de recomendação proposto, mas também comparar seu desempenho com outros algoritmos de descoberta de processos no contexto educacional. A coleta quantitativa de dados de desempenho de aprendizagem entre dois grupos distintos está sendo conduzida: um grupo que utiliza o mecanismo de recomendação descrito neste trabalho e outro que não o utiliza, permitindo uma análise robusta das vantagens proporcionadas por essa abordagem personalizada.

6. Considerações Finais

O objetivo do presente trabalho foi auxiliar usuários de AVAs na tomada de decisão pelos caminhos de aprendizagem nos cursos. A realização do suporte para tal tomada de decisão fica evidente pela funcionalidade de apresentar recomendações de próximas atividades aos usuários, visando a conclusão do curso, de forma personalizada, pois elas dependem do percurso parcial do aluno no conjunto de atividades.

Além da utilização do itinerário de estudos do aluno como parâmetro contextual, futuras investigações contemplarão a consideração de outros dados contextuais relevantes para refinamento das recomendações de caminhos de aprendizagem. Apesar de não serem abordadas no presente estudo devido à sincronização com os cronogramas acadêmicos vigentes, tais iniciativas estão planejadas para próximas fases de pesquisa, visando um aprimoramento contínuo e uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam o sucesso educacional dos alunos.

Essas direções de pesquisa podem contribuir significativamente para o campo da tecnologia educacional, oferecendo percepções importantes sobre como otimizar a trajetória de aprendizagem dos alunos em ambientes virtuais de aprendizagem.

Referências

- Behar, P. A. (2018). *Recomendação pedagógica em educação a distância*. Penso Editora.
- da Silva, L. M., Rodrigues, R. L., Silva, J. C. S., de Vasconcelos Medeiros, G. M. C., de Vasconcelos, C., and Ramos, J. L. C. (2020). Uma revisão sistemática da literatura para identificação de lacunas de pesquisa relacionadas a mineração de processos educacionais. *RENOTE*, 18.
- Dillenburg, D. J. and Teixeira, A. C. (2011). Uma proposta de avaliação qualitativa em ambientes virtuais de aprendizagem. : *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, 1.
- Hachicha, W., Ghorbel, L., Champagnat, R., Zayani, C. A., and Amous, I. (2021). Using process mining for learning resource recommendation: a moodle case study. *Procedia Computer Science*, 192, 853–862.
- Huang, T.-C., Limniou, M., and Wu, W.-C. V. (2023). Virtual learning environments in educational institutions.
- Liu, C., Zhang, H., Zhang, J., Zhang, Z., and Yuan, P. (2023). Design of a learning path recommendation system based on a knowledge graph. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 19, 1–18.
- Liu, F., Zhao, L., Zhao, J., Dai, Q., Fan, C., and Shen, J. (2022). Educational process mining for discovering students' problem-solving ability in computer programming education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15, 709–719.
- Mahmoud, C. B., Azaiez, I., Bettahar, F., Abel, M.-H., and Gargouri, F. (2015). A learning semantic web service for generating learning paths. : *2015 IEEE/ACIS 14th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 627–631. IEEE.
- Martínez-Carrascal, J. A., Munoz-Gama, J., and Sancho-Vinuesa, T. (2023). Evaluation of recommended learning paths using process mining and log skeletons: Conceptualization and insight into an online mathematics course. *IEEE Transactions on Learning Technologies*.

- Rahayu, N. W., Ferdiana, R., and Kusumawardani, S. S. (2023). A systematic review of learning path recommender systems. *Education and Information Technologies*, 28, 7437–7460.
- Ramos, D., Monteverde, I., do Nascimento, P., Amaral, G., and Oliveira, E. (2017). Um modelo para trilhas de aprendizagem em um ambiente virtual de aprendizagem. : *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, 28, 1407.
- Sypsas, A. and Kalles, D. (2022). Reviewing process mining applications and techniques in education. *Int. J. Artif. Intell. Appl.*, 13, 83–102.
- Van Der Aalst, W., Adriansyah, A., De Medeiros, A. K. A., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., Bose, J. C., Van Den Brand, P., Brandtjen, R., Buijs, J., et al. (2012). Process mining manifesto. : *International conference on business process management*, 169–194. Springer.
- Van der Aalst, W., Weijters, T., and Maruster, L. (2004). Workflow mining: Discovering process models from event logs. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 16, 1128–1142.
- Verbeek, H. and de Carvalho, R. M. (2018). Log skeletons: A classification approach to process discovery. *arXiv preprint arXiv:1806.08247*.
- Wagner, M., Helal, H., Roepke, R., Judel, S., Doveren, J., Goerzen, S., Soudmand, P., Lakemeyer, G., Schroeder, U., and van der Aalst, W. M. (2022). A combined approach of process mining and rule-based ai for study planning and monitoring in higher education. : *International Conference on Process Mining*, 513–525. Springer.
- Zhou, J., Ma, X., Shan, P., and Wang, J. (2021). Learning path recommendation using lesson sequence and learning object based on course graph. : *2021 13th International Conference on Education Technology and Computers*, 7–12.