

# OSM-V: um Modelo Aberto de Estudante para Visualização de Desempenho em Sistemas Adaptativos e Inteligentes para Educação

Hiran N. M. Ferreira<sup>1,2</sup>, Guilherme P. Oliveira<sup>1</sup>, Rafael D. Araújo<sup>1</sup>,  
Fabiano A. Dorça<sup>1</sup>, Renan G. Cattelan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Computação – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
Uberlândia/MG, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais  
(IFSULDEMINAS) - Passos/MG, Brasil

**Abstract.** *One of the great challenges of computing applied to education lies in its capacity to support environments that are intelligent and adaptable to the needs of students. For this, it is necessary to create effective Student Models, in order to identify and predict the level of knowledge of each student. In addition, it is important that the students themselves know their level of knowledge at a given point in time, so they can self-regulate their learning process. Thus, this work describes the OSM-V, an Open Student Model with Information Visualization capabilities which allows students and instructors to have access to the information inferred in Adaptive and Intelligent Education Systems. In addition to the model's description, this paper presents experiments with real students aiming at evaluating the perception of utility and behavioral changes of the students who used the tool. Results showed that this proposal can positively impact students' learning and also positively influence their behavior.*

**Resumo.** *Um dos grandes desafios da computação aplicada à educação está na capacidade de apoiar ambientes que sejam inteligentes e adaptáveis às necessidades dos estudantes. Para isso, é preciso criar Modelos de Estudantes eficazes, com o intuito de identificar e prever o nível de conhecimento de cada estudante. Além disso, é importante que os próprios estudantes saibam seu nível de conhecimento em um dado instante, para com isso, poderem autorregular seu processo de aprendizagem. Assim, este trabalho descreve o OSM-V, um Modelo Aberto de Estudante com recursos de Visualização de Informação e que permite que estudantes e instrutores tenham acesso às informações inferidas em Sistemas Adaptativos e Inteligentes para Educação. Além da descrição do modelo, este artigo também apresenta experimentos, aplicados a estudantes reais, com o objetivo de avaliar a percepção de utilidade e mudanças comportamentais nos estudantes que utilizaram a ferramenta. Resultados mostraram que esta proposta pode impactar positivamente na aprendizagem dos estudantes e também influenciar positivamente seus comportamentos.*

## 1. Introdução

A utilização da tecnologia como mecanismo para auxiliar o processo de ensino/aprendizagem está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas. Essas tecnologias baseiam-se em diversas técnicas da computação afim de propor estratégias e

abstrações para tornar o ensino mais simples, dinâmico e atrativo aos estudantes. Diversas abordagens são propostas com o intuito de auxiliar na personalização, na integração e na visualização de novas estratégias pedagógicas para apoiar atividades educacionais.

Um dos grandes desafios que são tratados atualmente no contexto dos ambientes virtuais de aprendizagem diz respeito à identificação das capacidades e limitações dos estudantes [Greiff et al. 2016, Nguyen et al. 2017]. Segundo Brusilovsky [Brusilovsky 2001], o processo de ensino teria uma eficácia melhor se fosse possível identificar o real estado de conhecimento de cada estudante individualmente, dessa forma, seria possível aos instrutores buscarem estratégias pedagógicas adequadas para sanar as limitações individualizadas de cada estudante.

Modelos de Estudantes (ME) vêm sendo empregados ao longo dos anos com a proposta de mapear as características cognitivas dos estudantes [Self 1990]. Esse método tem se mostrado eficaz em muitas situações [Mitrovic and Thomson 2009, Li et al. 2011], permitindo assim que sistemas automatizados orientem novas ações para intervir no processo de ensino de cada estudante. No entanto, muitas vezes nem instrutores nem estudantes possuem a capacidade de visualizar as informações propostas por esse modelo, sem contribuir com o processo de personalização das estratégias pedagógicas.

Com o intuito de auxiliar instrutores e estudantes no processo de identificação do conhecimento, Modelos Abertos do Estudantes (MAEs) têm sido propostos como ferramentas para “externalizar” informações manipuladas pelo ME [Hartley and Mitrovic 2002, Mitrovic and Martin 2002, Mabbott and Bull 2006]. Os modelos abertos buscam ampliar a capacidade dos MEs tradicionais, permitindo que a informação, que antes era tratada somente internamente pelo sistema, agora possa ser disponibilizada de forma aberta para todos os envolvidos no processo de ensino. Isso permite uma maior interação entre instrutores e estudantes na forma como novas atitudes são tomadas para melhorar o ensino. Os MAEs têm ganhado popularidade devido a seu forte fundamento psíquico-pedagógico e também por apresentarem resultados positivos do ponto de vista educacional, tais como: suporte metacognitivo [Bull and Wasson 2016], *Persuadable* [Ginon et al. 2016], *self-regulated learning* [Long and Alevan 2017], entre outros.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o OSM-V, um MAE para visualização de desempenho aplicado a Sistemas Adaptativos e Inteligentes para Educação (SAIEs). O modelo proposto atua como uma ferramenta inteligente, combinando informações probabilísticas – por meio de Redes Bayesianas – com informações semânticas – por meio de ontologias. Experimentos com turmas regulares de cursos presenciais foram realizados com o intuito de avaliar o impacto da utilização da ferramenta no comportamento dos estudantes. Durante os experimentos, foram colhidos 139 questionários com estudantes de graduação.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte maneira: na Seção 2, é apresentado um levantamento sobre o estado da arte acerca da utilização de MAEs no contexto educacional; na Seção 3, é descrita a arquitetura do OSM-V, com detalhamento de seus módulos, repositórios e canais de comunicação; na Seção 4, são apresentados experimentos, resultados e discussões sobre o trabalho; e, por fim, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais e potenciais trabalhos futuros.

## 2. Estado da Arte

A sinergia entre as áreas de Computação Gráfica, Interface Humano-Computador e Mineração de Dados alavanca pesquisas em *Visualização da Informação*, voltada para a apresentação de informação de forma gráfica e de modo que o usuário possa utilizar sua percepção visual para melhor analisá-las e compreendê-las. Trata-se de um tema caracterizado pela necessidade de criar mecanismos para transformar dados em informação, e cuja representação deve expressar importantes propriedades dos dados e de como diferentes itens estão relacionados entre si.

Um dos cenários propícios para aplicação dos conceitos de *Visualização da Informação* são os ambientes educacionais. Esses, por sua vez, geram uma quantidade enorme de dados que, muitas vezes, não são compreensíveis aos usuários humanos. Esses dados são inferidos e armazenados com o intuito de auxiliar na adaptação individualizada de conteúdo. Essa capacidade, geralmente, é mantida por meio de um ME.

Tradicionalmente, os dados tratados pelo ME são “fechados” para os usuários, fornecendo informação somente para o próprio sistema realizar a personalização individualizada. Contudo, diversas pesquisas têm proposto ferramentas para “externalizar” essas informações, ou seja, deixar os dados “abertos” para os usuários envolvidos no processo educacional [Long and Alevan 2013, Bull and Kay 2013]. Essa capacidade de “abrir” as informações inferidas pelo ME é conhecida como MAE<sup>1</sup>. Os MAEs exploram a área de *Visualização de Informação* para produzir ferramentas capazes de prover mecanismos para estudantes e instrutores visualizarem, explorarem e até mesmo modificarem a forma como o conhecimento é construído e tratado pelo ME.

Existem diversos mecanismos para visualização de informação, com os mais diversos objetivos. Bull and Kay [Bull and Kay 2013] apresentam um MAE com capacidade de tratar e analisar o processo de metacognição. Outros trabalhos, por sua vez, buscam verificar o impacto dos MAEs no engajamento do estudantes [Hsiao et al. 2013] e questões de auto-regulação e auto-avaliação [Self-Assessment] [Mitrovic and Martin 2007, Guerra et al. 2016]. Existem, ainda, aqueles que verificam questões sobre melhoria da aprendizagem [Bull and Wasson 2016]. Alguns trabalhos se diferenciam pela forma como os dados são apresentados aos usuários-alvo, por exemplo: gráficos [Jacovina et al. 2015], *skillometers* [Mitrovic and Martin 2007] ou mapas de conhecimento [Lindstaedt et al. 2009]. Ao visualizar (e, às vezes, interagir com) sua própria aprendizagem ou representação de desempenho, é dada ao estudante uma poderosa ferramenta de *feedback* e manipulação das suas *expertises* [Guerra et al. 2016].

No entanto, nota-se que grande parte desses trabalhos não exploram técnicas inteligentes para tratamento e estruturação da informação processada, permitindo apenas a apresentação do conteúdo. Um diferencial da abordagem ora proposta reside, justamente, no fato que estratégias inteligentes são empregadas para tratamento de incertezas, por meio de estruturas de probabilidades conjuntas utilizando Redes Bayesianas e, para representação e processamento de inferências, por meio de abordagens semânticas e ontológicas. Com base nisso, este trabalho apresenta um importante avanço para o estado da arte, permitindo a definição de uma arquitetura baseada em ferramentas inteligentes para descrição de um modelo que explora as capacidades dos MAEs.

---

<sup>1</sup>do Inglês *Open Student Model* (OSM) ou *Open Learner Model* (OLM)

### 3. Arquitetura do OSM-V

De acordo com [Guerra et al. 2016], interfaces inteligentes permitem que a aprendizagem seja mais clara e facilitada, possibilitando uma maior interação com as próprias capacidades cognitivas dos envolvidos diretamente no processo, neste caso, os estudantes. A integração de ferramentas de Visualização de Informação ao contexto de adaptação de conteúdo educacional proporciona novas características aos MEs, permitindo assim, o surgimento, além de modelos abertos, também de modelos inteligentes.

Neste trabalho, a arquitetura do OSM-V estende a abordagem proposta em [Ferreira et al. 2017], fornecendo subsídios para que estudantes e instrutores interajam diretamente com as informações processadas e inferidas pelo modelo. São diversas as possibilidades de interação. Instrutores conseguem acompanhar de forma clara e simplificada a evolução do estudante durante um curso. A ferramenta também permite aos instrutores visualizarem, de forma agrupada, os estudantes que possuem melhores e piores desempenhos. Aos estudantes, é possível observar os conteúdos em que possuem mais dificuldades e comparar o seu desempenho ao da turma. Também é permitido acompanharem a sua evolução acadêmica ao longo do tempo em que estão cursando a disciplina. É importante destacar que todas as formas de visualização podem ser personalizadas e adaptadas ao perfil do usuário.

As principais características fornecidas por esse modelo, são:

- Permitir que o instrutor identifique, de forma simplificada, as características educacionais dos estudantes;
- Permitir que o instrutor acompanhe as capacidades e limitações dos estudantes ao longo do tempo;
- Permitir que o instrutor detecte quais são os estudantes com maior chance de sucesso e fracasso;
- Permitir que o estudante conheça suas principais capacidades e limitações em relação a determinada disciplina;
- Permitir que o estudante ajuste seus estudos para priorizar os assuntos em que tem mais dificuldade;
- Permitir que o estudante acompanhe seu desempenho ao longo do tempo.

O MAE proposto não se limita a produzir informações que orientem instrutores e estudantes no intuito de apenas maximizar o sucesso e minimizar o fracasso, mas sim, constitui uma importante ferramenta de auxílio na identificação das reais capacidades e limitações dos sujeitos envolvidos no processo de ensino. A utilização do modelo aberto propicia um melhor desempenho aos estudantes, pois estão sempre concentrados nas suas limitações, melhorando, assim, a eficácia no processo de aquisição de conhecimento.

O modelo aberto disponibiliza recursos suficientes capazes de abstrair a geração de diferentes formas de visualização. Para os experimentos propostos, foram implementadas três formas de visualização: gráfico de linha, gráfico de barra e gráfico de radar. Essas visualizações podem ser disponibilizadas para os diferentes usuários do ambiente.

Para o ambiente do estudante, foram adicionados recursos que permitem a visualização do nível de desempenho em diferentes pontos do sistema. O modelo também fornece subsídios para que o estudante possa comparar o seu desempenho ao dos demais

estudantes matriculados na disciplina. Para o ambiente do instrutor, foram disponibilizadas ferramentas que o auxiliam no acompanhamento do processo de aprendizagem dos estudantes matriculados em sua disciplina, tanto individualmente quanto em conjunto. Além disso, o instrutor consegue também verificar os estudantes com melhor e pior desempenhos, os assuntos que apresentam maiores dificuldades aos estudantes, entre outras informações sobre o desempenho da turma.

A arquitetura do OSM-V é composta, fundamentalmente, por quatro módulos: Módulo Probabilístico, Módulo Semântico, Módulo de Tratamento de Atividades e Módulo de Visualização. Esses módulos se comunicam por meio de troca de mensagens utilizando um protocolo estruturado baseado em JSON<sup>2</sup>. A Figura 3 apresenta a arquitetura do OSM-V.

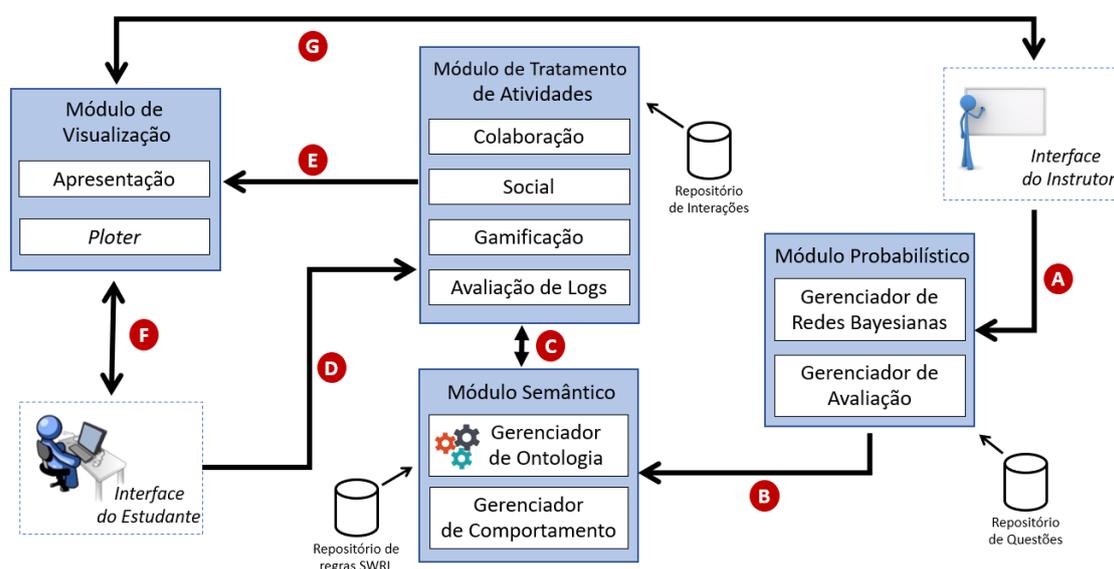


Figura 1. Arquitetura do OSM-V

O processo de inferência da informação inicia no momento em que o professor acessa o ambiente computacional (A) e obtém as informações sobre instrumentos avaliativos disponíveis no repositório de questões. Após essa etapa, as informações tratadas por esse módulo são encaminhadas ao Módulo Semântico (B). O Módulo Semântico é responsável pelo tratamento de inferências com base em regras SWRL (*Semantic Web Rule Language*) disponíveis no repositório. Para essas inferências, o Módulo de Tratamento de Atividades informa as atividades realizadas pelos estudantes (C) a partir das informações sobre o seu comportamento (D). Após todo o processo de inferência, essas informações são encaminhadas para o último módulo (E), responsável pela apresentação das informações, tanto para estudantes (F), quanto para instrutores (G).

#### 4. Experimento e Resultados

Com o objetivo de analisar o impacto causado pela utilização do OSM-V na satisfação e no comportamento dos estudantes, foi conduzido um experimento qualitativo para verificar se o fato dos estudantes conseguirem acompanhar o seu desenvolvimento influenciou

<sup>2</sup><https://www.json.org/>

positiva ou negativamente no seu comportamento (motivação, competitividade, interesse pelos estudos, entre outros fatores). Para tal, foram aplicados questionários com o intuito de verificar a satisfação dos estudantes com a utilização das ferramentas de visualização disponibilizadas pelo OSM-V.

#### 4.1. Método Aplicado

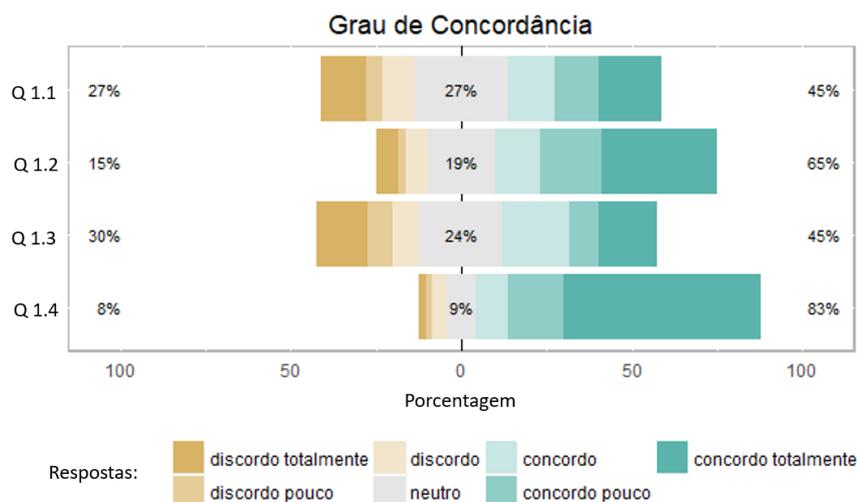
O experimento foi aplicado, ao longo de dois semestres (2017-1 e 2017-2), a quatro turmas do curso de Sistemas de Informação na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), sendo duas da disciplina Interação Humano-Computador e duas da disciplina Arquitetura e Organização de Computadores. No total, foram respondidos 139 questionários.

No início da disciplina, o instrutor apresentou a ferramenta que seria utilizada para apoiar as atividades educacionais, demonstrando suas funcionalidades e explicando como seria sua utilização. Os estudantes, por sua vez, fizeram uso da plataforma durante o semestre e, ao final, respondiam ao questionário.

O questionário apresentava, na maioria das perguntas, uma escala do tipo *Likert* de sete pontos (discordo totalmente a concordo totalmente). As perguntas foram classificadas em três grupos: o primeiro relativo à percepção de utilidade das funcionalidades relacionadas com o MAE, o segundo com o intuito de avaliar sobre a percepção de comportamento referente às interações no ambiente, e um terceiro conjunto de questões para verificar a satisfação na utilização da ferramenta de visualização e quais gráficos permitem uma visualização mais adequada para diferentes situações<sup>3</sup>.

#### 4.2. Resultados e Discussão

Como o experimento realizado incluía questões descritivas, foi necessária também uma avaliação qualitativa para uma melhor interpretação dos resultados. Assim, foi possível identificar que, em todas as questões analisadas relativas à percepção de utilidade, houve maiores concentrações de respostas entre os valores de concordância (Figura 4.2).

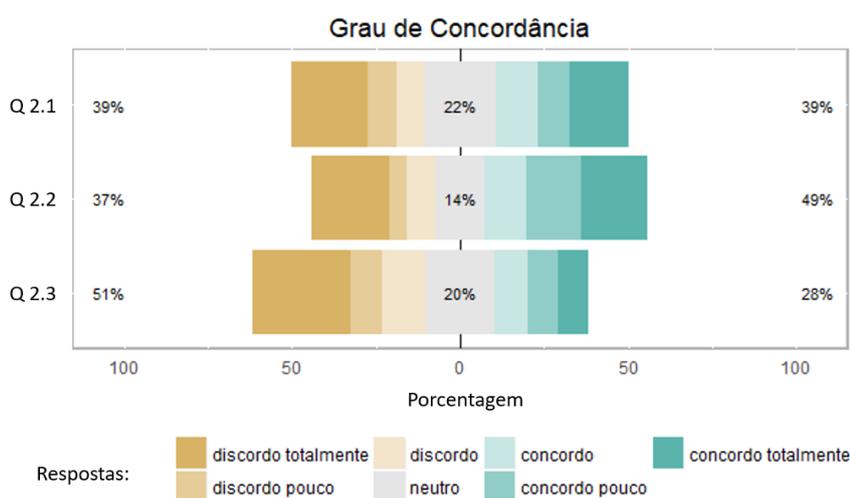


**Figura 2. Grau de concordância sobre a percepção de utilidade.**

<sup>3</sup>O questionário completo está disponível em: <https://goo.gl/forms/SaDoFXRS9NVKSyma2>

Para a Questão 1.1, que considera o nível de satisfação sobre a funcionalidade da visualização de desempenho, é possível perceber maior concentração de respostas positivas, sugerindo que a funcionalidade influenciou positivamente no aprendizado. A mesma interpretação pode ser obtida ao analisar as Questões 1.2 e 1.3, que verificam a utilidade das funcionalidades de *quiz* e de gamificação, respectivamente. Quando questionados se gostariam que a plataforma fosse utilizada em outras disciplinas (Questão 1.4), as respostas dos estudantes foram muito positivas, com mais de 80% de concordância.

No gráfico da Figura 4.2, constata-se maior concentração de estudantes que concordam que os gráficos de desempenho podem influenciar na sua alteração de comportamento do ponto de vista da melhoria de desempenho (Questão 2.2). O fato do estudante poder conhecer os conteúdos em que possui maior e menor desempenho, pode sim, auxiliá-lo a identificar seus pontos fracos e alterar significativamente seu comportamento de estudo.

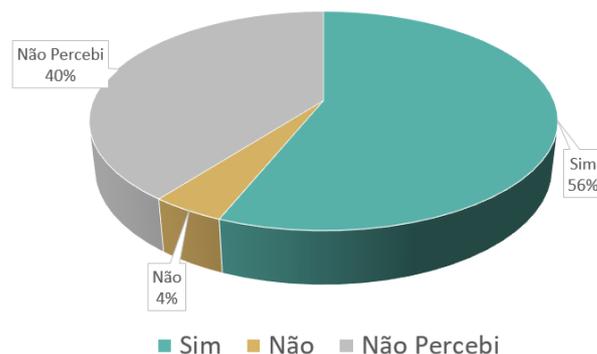


**Figura 3. Grau de concordância sobre a percepção de comportamento.**

Na Figura 4.2, também se percebe um balanceamento para a Questão 2.1 (motivação para estudo), bem como uma maior tendência de discordância para a Questão 2.3 (competitividade). De forma geral, entende-se que os estudantes entendem a funcionalidade de visualização de desempenho mais como um auxílio para identificarem seus pontos fortes e fracos em cada disciplina e não necessariamente como uma ferramenta de competição que explora questões motivacionais.

A Figura 4.2 exibe os resultados da Questão 3, que avalia a satisfação do usuário ao utilizar a ferramenta de visualização: 56% responderam que gostaram da funcionalidade, ao passo que somente 4% responderam que não e 40% responderam que não perceberam a existência da funcionalidade integrada ao SAIE utilizado. Especula-se que tal resultado tenha ocorrido em função do fato de que o ambiente não estabelecia um diálogo explícito com os estudantes, sendo os recursos de visualização de desempenho disponibilizados na forma de um ícone de notificação.

Outro objetivo do experimento foi avaliar quais formas de visualização os estudantes consideram mais eficientes. Nesse caso, a preferência foi pelos gráficos de *Barra*, tanto para a visualização individual quanto para a comparação com o desempenho médio da turma.



**Figura 4. Respostas à questão sobre satisfação na utilização da ferramenta.**

A confiabilidade das respostas dos questionários foi verificada com o teste de Alfa de Cronbach<sup>4</sup>. Esse teste visa analisar a consistência interna das respostas com base na correlação entre diferentes itens para uma mesma escala. Usou-se os mesmos três grupos de questões anteriormente descritos: **CAT1** para influência das funcionalidades na aprendizagem da disciplina, **CAT2** para alteração no comportamento de estudo, e **CAT3** para as preferências na visualização. A Tabela 1 registra os valores de Alfa de Cronbach obtidos.

**Tabela 1. Alfa de Cronbach para as respostas ao questionário.**

Categoria	Questão	Média	Erro desvio	$\alpha^1$
<b>CAT1</b>	Q1.1	4.40	1.93	<b>0.818</b>
	Q1.2	5.22	1.78	
	Q1.3	4.23	1.95	
	Q1.4	6.02	1.48	
	Q6	3.87	1.92	
<b>CAT2</b>	Q2.1	3.91	2.12	<b>0.895</b>
	Q2.2	4.16	2.21	
	Q2.3	3.37	2.00	
<b>CAT3</b>	Q4	1.79	0.71	<b>0.447</b>
	Q5	1.89	0.54	

<sup>1</sup>Consistência interna medida pelo Alfa de Cronbach.

Verifica-se que, para as categorias CAT1 e CAT2, foram obtidas consistências internas quase perfeitas, o que aponta que as respostas dos estudantes foram muito consistentes e seguiram um padrão confiável. Já para a categoria CAT3, foi obtida uma consistência interna moderada, o que indica que houve certas inconsistências entre as respostas. Uma análise mais aprofundada indicou que esta inconsistência está associada a somente uma turma (T3), indicando assim que, caso essa turma fosse suprimida, os resultados seriam mais consistentes.

<sup>4</sup>Para interpretação dos valores do *Alfa de Cronbach*, utilizaram-se os adjetivos propostos por [Landis and Koch 1977], que definem os seguintes intervalos:  $\alpha > 0.80$  = consistência interna quase perfeita;  $0.61 < \alpha < 0.80$  = consistência interna substancial;  $0.41 < \alpha < 0.60$  = consistência interna moderada;  $0.21 < \alpha < 0.40$  = consistência interna razoável;  $\alpha < 0.21$  = consistência interna pequena.

## 5. Conclusões

Este artigo apresenta um novo modelo para Visualização de Informação sobre o desempenho de estudantes em Sistemas Adaptativos e Inteligentes para Educação. O OSM-V explora Modelagem Aberta do Estudante para criar uma abordagem eficiente e inteligente com fundamentações probabilísticas e semânticas, culminando em uma ferramenta que permite acompanhar todo o processo de aquisição de conhecimento pelos estudantes.

Para validação da proposta, foram realizados experimentos com estudantes reais, em que se buscou avaliar o impacto causado pela utilização do modelo na satisfação e no comportamento dos estudantes. Os experimentos mostraram que a ferramenta influenciou positivamente na percepção de utilidade, apontando que, em diversas situações, os estudantes acreditam que a proposta pode impactar de forma positiva na aprendizagem. Além disso, percebeu-se também que, para uma grande quantidade de estudantes, a ferramenta também influencia o comportamento de estudo no ambiente virtual.

Potenciais trabalhos futuros incluem: um estudo sobre a viabilidade e efetividade de novas formas de visualização de dados, como *skillmeters*, mapas de conhecimento, gráficos de área, gráficos de dispersão, entre outros; a criação de mecanismos para recomendação automática de conteúdo para os estudantes com base nas informações processadas pelo MAE; e a recomendação automática de abordagens pedagógicas para o instrutor.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio das agências de pesquisa e instituições CNPq, FAPEMIG, PROPP/UFU, FACOM/PPGCO/PROAP/UFU, IFSULDEMINAS e PET/MEC/SESu, pelo apoio concedido a este trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

- Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2):87–110.
- Bull, S. and Kay, J. (2013). *Open Learner Models as Drivers for Metacognitive Processes*, pages 349–365. Springer, New York, NY.
- Bull, S. and Wasson, B. (2016). Competence visualisation: Making sense of data from 21st-century technologies in language learning. *ReCALL*, 28(02):147–165.
- Ferreira, H. N. M., Araújo, R. D., Dorça, F., and Cattelan, R. (2017). Uma abordagem baseada em ontologias para modelagem e avaliação do estudante em sistemas adaptativos e inteligentes para educação. In *XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2017)*, number 1, pages 1197–1206.
- Ginon, B., Boscolo, C., Johnson, M. D., and Bull, S. (2016). *Persuading an Open Learner Model in the Context of a University Course: An Exploratory Study*, pages 307–313. Springer International Publishing, Cham.
- Greiff, S., Niepel, C., Scherer, R., and Martin, R. (2016). Understanding students' performance in a computer-based assessment of complex problem solving: An analysis of behavioral data from computer-generated log files. *Comp. in Human Beh.*, 61:36–46.

- Guerra, J., Hosseini, R., Somyurek, S., and Brusilovsky, P. (2016). An intelligent interface for learning content: Combining an open learner model and social comparison to support self-regulated learning and engagement. In *Proc. of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '16, pages 152–163, NY, USA. ACM.
- Hartley, D. and Mitrovic, A. (2002). *Supporting Learning by Opening the Student Model*, pages 453–462. Springer Berlin Heidelberg.
- Hsiao, I.-H., Bakalov, F., Brusilovsky, P., and König-Ries, B. (2013). Progressor: social navigation support through open social student modeling. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 19(2):112–131.
- Jacovina, M. E., Snow, E. L., Allen, L. K., Roscoe, R. D., Weston, J. L., Dai, J., and McNamara, D. S. (2015). How to visualize success: Presenting complex data in a writing strategy tutor. In *Proc. of the 8th International Conf. on Educational Data Mining, EDM*, pages 594–595.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1).
- Li, N., Cohen, W. W., Koedinger, K. R., and Matsuda, N. (2011). A machine learning approach for automatic student model discovery. In *Proceedings of the 4th International Conference on Educational Data Mining*, pages 31–40.
- Lindstaedt, S. N., Beham, G., Kump, B., and Ley, T. (2009). *Getting to Know Your User – Unobtrusive User Model Maintenance within Work-Integrated Learning Environments*, pages 73–87. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Long, Y. and Aleven, V. (2013). Supporting students' self-regulated learning with an open learner model in a linear equation tutor. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, pages 219–228. Springer.
- Long, Y. and Aleven, V. (2017). Enhancing learning outcomes through self-regulated learning support with an open learner model. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27(1):55–88.
- Mabbott, A. and Bull, S. (2006). *Student Preferences for Editing, Persuading, and Negotiating the Open Learner Model*, pages 481–490. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mitrovic, A. and Martin, B. (2002). *Evaluating the Effects of Open Student Models on Learning*, pages 296–305. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Mitrovic, A. and Martin, B. (2007). Evaluating the effect of open student models on self-assessment. *Int. Journal of Artificial Intelligence in Education*, 17(2):121–144.
- Mitrovic, A. and Thomson, D. (2009). Towards a negotiable student model for constraint-based itss.
- Nguyen, Q., Rienties, B., Toetenel, L., Ferguson, R., and Whitelock, D. (2017). Examining the designs of computer-based assessment and its impact on student engagement, satisfaction, and pass rates. *Computers in Human Behavior*, pages 703 – 714.
- Self, J. A. (1990). Bypassing the intractable problem of student modelling. *Intelligent tutoring systems: At the crossroads of artificial intelligence and education*, 41:1–26.