



Construção do modelo de estrutura comparativa de semelhanças e diferenças entre veículo (microscópio óptico) e o alvo (smartscópio): Contribuições para o trabalho prático em ciências e biologia

^aR. L. Nagem, ^bF. V. Freitas, ^cG. C. Bontempo

^{a,b}Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

^cUniversidad Federal de Viçosa UFV.

ARTICLE INFO

Received: XX Mes 2014

Accepted: XX Mes 2014

Keywords:

Modelos.
Microscopia.
Trabalho prático.

E-mail:

ronaldonagem@gmail.com
felipevieirafreitas@ymail.com
giniabt@ultimo.com.br

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

This work aims to study a low cost analogical model of the optical microscope, developed by Kenji Yoshino, which works with a smartphone and a smartphone to digital microscope converter. This model, called in this work smartscópio, has great potential for use in science and biology practical work. A model is an analogue that represents an object, process, system or concept. We considered analogy as a process of comparing a known domain (vehicle) with another unknown domain (target). A model implies the analogical relationship between the structure and the function of two domains, thus, it is possible to recognize and understand an unknown domain through a known domain. In this work, the optical microscope was understood as the vehicle and the smartscopio was taken as the target. The optical microscope is usually expensive, its maintenance is difficult, and it is not available in sufficient number to students, these facts led us to the purpose of this research. In this research we developed a Smartscopio Assembly and Use Workshop with eleven undergraduates in Biological Sciences. The Use consisted of observations of histological preparations on the optical microscope and on the smartscópio. Then, each student constructed Comparative Structural Model of Similarities and Differences Between Vehicle (Optical Microscope) and Target (Smartscopio). Data were gathered, classified and used to build a Single MECSDEVA. The results show that participants found more differences than similarities between the target and the vehicle, indicating that the undergraduate students had difficulty in identifying the analogical model (smartscopio) as an optical microscope. Among the differences, some advantages of smartscópio were identified. Some difficulties in the construction and use of the smartscopio were presented by the participants. The results indicate that the analogical model needs a reconstruction to make it more suitable for use in science and biology practical work.

Este trabalho tem por objetivo o estudo de um modelo análogo ao microscópio óptico, de baixo custo desenvolvido por Kenji Yoshino, que funciona a partir de um smartphone e um suporte conversor de smartphone em microscópio digital. Esse modelo, denominado no presente trabalho por Smartscópio, apresenta grande potencial para o uso no trabalho prático em Ciências e Biologia. Definiu-se modelo como um análogo que representa um objeto, processo, conceito ou sistema. Considerou-se a analogia como um processo de comparação entre um domínio conhecido (veículo) e outro desconhecido (alvo). Um modelo implica na relação analógica entre a estrutura ou função de dois domínios. Desse modo, é possível reconhecer e entender um domínio desconhecido por meio de um domínio conhecido. Neste trabalho o microscópio óptico será percebido como veículo e o smartscópio como alvo. O microscópio óptico tem apresentado dificuldades no custo, na manutenção e em número suficiente para o atendimento de alunos, tal fato gerou o propósito desta pesquisa. Para tanto, foi desenvolvida uma Oficina de Montagem e Exploração do Smartscópio junto a onze licenciandos em Ciências Biológicas. A exploração consistiu em observações de lâminas histológicas ao microscópio e ao smartscópio. Em seguida, cada aluno construiu um quadro Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre Veículo (Microscópio Óptico) e Alvo

(Smartscópio) (MECSDEVA). Os dados foram reunidos e classificados e a partir dos mesmos construiu-se um MECSDEVA único. Os resultados mostram que os participantes encontraram mais diferenças que semelhanças entre o veículo e alvo, indicando dificuldade em identificar o modelo análogo (smartscópio) como um microscópio óptico. Entre as diferenças, foram apontadas vantagens do smartscópio em relação ao microscópio óptico. Algumas dificuldades na construção e no uso smartscópio também foram apresentadas pelos participantes da pesquisa. Os resultados indicam a necessidade da reconstrução parcial do modelo análogo de modo a torná-lo mais apropriado para o uso no trabalho prático em Ciências e Biologia.

I. INTRODUCCIÓN

*It is the great prerogative of Mankind above other Creatures that we are not only able to behold the works of Nature, or barely to sustain our lives by them, but we have also the power of considering, comparing, altering, assisting, and improving them to various uses*¹. (Robert Hooke).

O presente texto apresenta os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo o estudo de um modelo análogo ao microscópio óptico denominado *smartscópio* e suas possíveis contribuições para o ensino de Ciências e Biologia mediado pelo trabalho prático.

Robert Hooke inicia o prefácio de sua *magnum opus*, intitulada *Micrographia*, exaltando a habilidade ímpar da humanidade de não apenas contemplar as obras da natureza, mas também modificá-las para diversos usos (Hooke, 2007).

Durante as observações que culminariam na produção dessa obra, o autor foi capaz de identificar, pela primeira vez, estruturas semelhantes a caixas ou **celas** em um corte transversal de cortiça. Atualmente é sabido que as estruturas descritas e cuidadosamente desenhadas por Hooke tratavam-se apenas de paredes celulares vegetais de células mortas, contudo, esta observação, que pode parecer trivial nos dias de hoje, só foi possível pelo intermédio do **microscópio óptico**. A invenção deste equipamento é atribuída a Zacharias Janssen no final do século XVI, mas somente em meados do século XVII foi possível observar as primeiras evidências da existência das células após o desenvolvimento do primeiro microscópio óptico composto dotado de sistema de iluminação por Hooke. Neste mesmo século, Antony Van Leeuwenhoek, com sua habilidade única em polimento de lentes, conseguiu observar microrganismos na água pela primeira vez (Araújo *et al.*, 2012).

Assim como a humanidade é capaz de modificar as obras da natureza e aplicá-las em diferentes usos, também melhora e oferece novas utilidades a materiais e equipamentos desenvolvidos por ela mesma. Desta forma, foi possível o aperfeiçoamento do primeiro microscópio óptico até os mais modernos microscópios eletrônicos. Ainda hoje, novos modelos de microscópio óptico vêm sendo desenvolvidos a partir dos mais diversos materiais. Neste texto apresentamos o modelo análogo de microscópio óptico digital cujo *design* foi elaborado por Kenji Yoshino e funciona a partir de um conversor de *smartphone* em microscópio digital acoplado a um aparelho móvel dotado de câmera digital, como o *smartphone* ou o *tablet* digital (Instructables, 2013). Por essas características este microscópio foi denominado *smartscópio*.

Os microscópios são amplamente utilizados no meio acadêmico e também no meio escolar, mediando o trabalho prático, sobretudo no âmbito das Ciências Naturais, e mesmo com a sua importância reconhecida no ensino de Ciências e Biologia (Weissmann, 1998, Krasilchik, 2011), frequentemente esses equipamentos não estão disponíveis nas escolas ou estão em más condições de uso. Dessa forma, o *smartscópio* pode se apresentar como uma alternativa ao microscópio óptico convencional, tanto em ambientes formais de ensino como nós não formais.

Os modelos são, necessariamente, representações da realidade, podendo retratar ideias, objetos, processos ou sistemas através de analogias (Borges, 1997; Gilbert & Boulter, 1998). As analogias são comparações entre dois

¹ “É a grande prerrogativa da Humanidade sobre as outras Criaturas, que não só somos capazes de contemplar as obras da Natureza, ou apenas para sustentar nossas vidas por meio delas, mas também temos o poder de considerar, comparar, alterar, ajudar e melhorá-los para vários usos”. Tradução dos autores.

domínios, chamados aqui de veículo, o domínio conhecido, e alvo, o menos conhecido. Neste trabalho o microscópio óptico convencional será tomado por veículo enquanto o *smartscópio* o alvo. Giordan & Vecchi (1995) afirmam que muitos modelos usados no ensino podem oferecer fragilidades que ultrapassam seus benefícios e mesmo modelos bem estabelecidos têm demonstrado fracasso, por isso, é necessário que eles sejam repensados e reconstruídos. Diante disto, este texto apresenta os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo o estudo do *smartscópio*, na perspectiva de um modelo análogo ao microscópio óptico, e suas possíveis contribuições para o ensino de Ciências e Biologia mediado pelo trabalho prático. Este estudo foi realizado através da construção e análise do quadro Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças entre Veículo e o Alvo, adaptado de Marcelos & Nagem (2010).

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

II.1 Sobre analogias e modelos

Apesar do reconhecido papel dos modelos para a construção e disseminação do conhecimento científico, a palavra modelo é polissêmica e diferentes autores assumem diferentes definições para o mesmo (Krapas *et al.*, 1998; Duarte, 2005). Eles podem ser considerados como representação de objetos, sistemas, processo ou fenômenos (Borges, 1997; Gilbert & Boulter, 1998). Para Gilbert (2004) eles podem ser usados para tornar entidades abstratas visíveis, fornecer descrições ou simplificações para fenômenos complexos ou ser a base tanto para explicações quanto para predições científicas acerca de um fenômeno.

Neste texto eles serão considerados como representações de uma realidade não acessível e o modelo será estabelecido a partir da relação analógica estrutural entre dois domínios, de acordo com a teoria dos Modelos Mentais de Johnsohn-Laird (Moreira, 1996; Borges, 1997, Krapas *et al.* 1998). As analogias, por sua vez, são comparações entre dois domínios ou conceitos, um conhecido que será aqui denominado de **veículo** (Nagem *et al.*, 2001) e outro menos conhecido, o **alvo** (Duit, 1991). Nagem *et al.* (2001) argumentam que o uso do termo **veículo** para indicar o conceito conhecido é mais indicado pela noção inerente de movimento, que contribui para o entendimento do papel da analogia como processo, direcionando o aprendiz ao **alvo**, conceito a ser aprendido.

Os domínios veículo e alvo coexistem em uma relação horizontal, onde as informações e o conhecimento podem transitar tanto do veículo para o alvo, quanto do alvo para o veículo. Duit (1991) discorda desta ideia e afirma que apesar da semelhança, o modelo não pode ser confundido com a analogia, pois ele é uma representação de algumas partes do domínio alvo.

Existem diversas propostas de classificação das analogias (Ferraz & Terrazan, 2001; Gilbert & Boulter, 1998; Souza *et al.*, 2013) neste texto utilizaremos a classificação proposta por Nagem *et al.* (2003), onde são apresentadas as seguintes tipologias para a vinculação analógica entre o veículo e o alvo:

- i. Estrutural, quando o objeto analógico pode ser comparado ao objeto real em sua forma.
- ii. Funcional, quando o objeto analógico pode ser comparado ao objeto real em seu funcionamento.
- iii. Conceitual ou congelada, quando os termos foram tão extensivamente empregados que os dois domínios se tornam sinônimos.
- iv. Antrópica, quando o discurso atribui racionalidade, egocentrismo ou características humanas ao objeto analógico.
- v. Zootrópica, quando o discurso atribui características zoomórficas, de animais, ao objeto analógico.
- vi. Fitotrópica, quando o discurso atribui características fitomórficas, de vegetais, ao objeto analógico.

De acordo com Gilbert (2004), os papéis dos modelos na educação em ciências não são fáceis de atribuir, isto se deve em grande parte pela vasta diversidade ontológica do termo. Primeiramente existe o **modelo mental** (Moreira, 1996, Borges, 1997, Krapas *et al.* 1998, Gilbert, 2004), ele é uma representação privada e pessoal de um indivíduo, seja só ou em grupo. Por essa característica ele não é acessível diretamente a outras pessoas, mas uma versão simplificada do mesmo pode ser expressa publicamente, recebendo o nome de **modelo expresso**. Se um grupo social aceita esta

representação como um modelo expresso comum, ele se tornará um **modelo consensual**. Quando este modelo consensual passa a ser usado por um grupo social de cientistas com trabalhos de ponta na sua área de atuação, ele começa a ser chamado de **modelo científico**. O modelo científico quando suplantado se torna um **modelo histórico**. Versões simplificadas dos modelos científicos e históricos podem ser produzidos como **modelo curricular** para ajudar no aprendizado, por sua vez, **modelos de ensino** podem ser criados para ajudar no ensino dos modelos curriculares. Por fim, professores podem aplicar modelos curriculares com características de vários modelos históricos, esses recebem o nome de **modelo híbrido** (Gilbert, 2004).

Gilbert (2004) também apresenta uma classificação sobre as formas em que esses modelos podem ser representados, ou **modos de representação** (Tabela I).

TABELA I. Modos de representação de um modelo.

<i>Modo de representação</i>	<i>Características</i>
Modo concreto	Tridimensional e feito de material resistente
Modo verbal	Expresso por meio da descrição das partes e da relação das mesmas em uma representação, ou por exploração das metáforas e analogias nas quais o modelo é baseado. Pode ser verbal ou escrita.
Modo simbólico	Expresso por meio de símbolos, fórmulas, equações, expressões matemáticas, etc.
Modo visual	Expresso por meio de gráficos, diagramas, animações, representações bidimensionais e aquelas produzidas por computação gráfica.
Modo gestual	Expresso por meio do corpo humano e suas partes.

Fonte: Adaptado de Gilbert (2004).

Existem outras tipologias para os modelos, após uma extensa revisão Krapas *et al.* (1998) classifica os modelos em:

- i. Modelo mental: é o que se forma na mente do indivíduo, sendo, assim, pessoal e acessível somente em partes por meio de proposições ou imagens. Este conceito será discutido mais profundamente adiante.
- ii. Modelo consensual: é aquele aceito por um grupo específico, com vias a compreender ou explicar certos conceitos. Dentre eles incluem-se os modelos científicos.
- iii. Modelo pedagógico: construído no sentido didático, transportando os conhecimentos (modelos) científicos em conhecimentos escolares.
- iv. Metamodelo: estruturado com rigor científico, tem como intento a busca da compreensão dos processos de concepção dos modelos consensuais e mentais.
- v. Modelagem como objetivo educacional: refere-se aos processos de construção de modelos no intuito de ensino e divulgação científica.

Nagem & Condé (2011) apresentam uma classificação mais extensa, com 18 tipos de modelos diferentes, eles estão expressos no Tabela II.

TABELA II. Proposta de Classificação de Modelos por Nagem & Condé (2011).

<i>Tipo de Modelo</i>	<i>Descrição</i>
Alternativo	Tem intenção de falsear ou confirmar a conclusão sobre algum fato, é um novo modelo criado a partir de um modelo anterior.
Base	Utilizado como modelo inicial para que novos modelos sejam construídos

Catacrético	Imutável por não existir outro termo específico para caracterizá-lo. ex.: Pé-de-mesa.
Conceitual	Criado por um profissional para facilitar a compreensão e/ou o ensino de sistemas físicos, por meio de apenas uma definição. ex.: um quebra-cabeças que representa as células de um tecido epitelial.
Conceptual	Conjunto de conceitos e não apenas uma definição. ex.: temos um quebra-cabeças montado, que representa o tecido epitelial.
Consensual	Modelo expresso que foi submetido a testes por um grupo social.
Ensino	Representado por uma situação ou um objeto que foi trazido para o contexto do ensino, facilitando a visualização do sistema representado.
Estrutural	Apresenta relação direta com a estrutura que é representada, é baseado na forma do que se intende representar.
Estrutural e Funcional	Relaciona-se à forma e à função de um conceito ou uma concepção.
Físico	Qualquer modelo concreto e perceptível pelos sentidos.
Funcional	Baseado na função do objeto que se deseja representar. ex.: a formação da imagem na película de uma câmera fotográfica representa a formação da imagem na retina do olho.
Histórico	Reúne teorias, ideias, práticas e situações paradigmas relacionadas a processos históricos.
Imagético	Relaciona-se a imagens captadas e registradas momentaneamente, seja por fotocópias, retratos, impressões ou quaisquer imagens reproduzidas em uma superfície.
Matemático	Faz uso do pensamento e da linguagem matemática para representar problemas ou fenômenos reais.
Mental	É abstrato e parte do modelo conceitual, é pessoal e diretamente inacessível.
Pictórico	Constituído por desenhos representativos de estruturas ou funções semelhantes para descrever ideias, fenômenos, estruturas, conceitos ou concepções.
Simbólico	Sintetiza uma concepção, um produto, uma entidade, cujo significado e sentido constroem-se ao longo do tempo
Virtual	Consiste em uma simulação apresentada em um ambiente virtual, computacional ou equivalente.

Fonte: Adaptado de Nagem & Condé (2011)

Moreira (1996) defende a concepção de que as pessoas raciocinam através de modelos mentais, modelos estes que podem ser compreendidos como representações mentais do mundo exterior. Eles funcionam como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados ou recombinaos conforme necessário. Dessa forma, a compreensão dos modelos e analogias é parte importante na educação, principalmente na educação em ciências.

Existe uma ampla gama de metodologias de ensino que envolve o uso as analogias (Duarte, 2005). *Teaching with Analogies* (TWA), desenvolvida por Glyn (1991) é uma das pioneiras e serviu modelo para o desenvolvimento de muitas outras. A Metodologia de Ensino Com Analogias (MECA), desenvolvida por Nagem *et al.* (2001), têm apresentado resultados relevantes no ensino de vários conteúdos quando utilizada em sala de aula (Nagem *et al.*, 2005; Nagem & Padua, 2007; Ferry & Nagem, 2008; Marcelos & Nagem, 2010). Esse método consiste em cinco passos: (1) Apresentação do veículo; (2) apresentação do alvo; (3) análise das semelhanças e diferenças entre o veículo e o alvo; (4) reflexão sobre a validade e limitações da analogia quando utilizada para o entendimento do veículo; (5) avaliação e criação de novas analogias, por parte dos alunos, que contenham o mesmo alvo.

Baseados na MECA, Marcelos e Nagem (2010) propõem a construção de um quadro chamado Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre Veículo e o Alvo para o desenvolvimento do raciocínio analógico tanto para o professor quanto para os estudantes, para o estudo das metáforas presentes nos conteúdos de evolução. O quadro é aberto, o que implica em dinamismo, isto significa que ele está em constante construção e mais informações podem ser adicionadas proporcionando um entendimento mais rico sobre o objeto de estudo. Os autores destacam que o Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre veículo e o Alvo pode ser

utilizado para outros objetos de estudo e após a sua construção o professor pode aplicá-lo a outras situações no ensino de Ciências.

Giordan & Vecchi (1995) ressaltam que, no ensino, objetivo do uso de modelos é permitir aos alunos interagir e propor análises a situações diferentes da apresentada primariamente, por isso, devem ser representados como ferramentas aproximadoras ao conhecimento e não como realidades intangíveis.

III.2 Sobre o trabalho prático e a microscopia no ensino de Ciências e Biologia

Millar (2004) refere-se a trabalho prático como qualquer atividade de ensino e de aprendizagem que em algum ponto envolve estudantes observando ou manipulando objetos e materiais os quais eles estão estudando. O uso do termo trabalho prático em detrimento do termo trabalho laboratorial se deve à consideração de que a localização não é uma característica que define o tipo de atividade, já que a observação e manipulação de objetos podem ocorrer tanto no laboratório escolar quanto em outros ambientes. O referido autor ainda não utiliza o termo experimento ou trabalho experimental, pois esses termos geralmente são usados com o sentido de testar uma hipótese.

De acordo com Axt (1991), uma das principais dificuldades encontradas na implementação do trabalho prático no ensino de Ciências e Biologia nas escolas é a falta de materiais e equipamentos, que geralmente são onerosos e de difícil manutenção. Além disso, a falta de ambientes adequados para a realização destes tipos de atividades, especialmente aquelas relacionadas ao trabalho prático de laboratório, também representa uma barreira para o ensino mediado por este tipo de abordagem. Segundo Krasilchik (2011), embora não sejam imprescindíveis, certamente o ensino será mais eficiente quanto melhor forem as instalações e materiais disponíveis para professores e alunos. A autora ainda recomenda que, em uma sala de laboratório que tenha capacidade para 30 alunos, devem estar disponíveis 10 microscópios ópticos e 5 lupas. Contudo, a situação dos laboratórios nas escolas públicas brasileiras é precária, os laboratórios didáticos de Ciências só estão disponíveis em 10% das escolas públicas que oferecem o Ensino Fundamental e 47% daquelas que ofertam o Ensino Médio (Brasil, 2011).

O *smartscópio* se estabelece como uma possível alternativa para o uso e contextualização de novas tecnologias e tecnologias de informação e comunicação nas escolas, já que funciona a partir de aparelhos móveis de alta tecnologia, como *smartsphone* e *tablets*. A importância dessas novas tecnologias para a educação está ampliada atualmente, visto que vivemos em um mundo globalizado e cada vez mais complexo, há mais para se aprender, mas em contrapartida esses novos recursos oferecem mais e melhores maneiras de se aprender. Papert (2001) salienta que a tecnologia não deve ser vista como uma solução ou uma ferramenta que por si só resulta em boa educação, mas quando ausente implica necessariamente em uma má educação.

Neste contexto, o *smartscópio* pode viabilizar o ensino e o aprendizado através da mobilidade. O aprendizado com mobilidade, ou *m-learning*, envolve o uso de tecnologia móvel, como *smartphones*, *tablets* e *notebook*, tanto sozinhos ou em combinação com outras tecnologias de comunicação e informação, para permitir o aprendizado a qualquer momento e qualquer lugar. O aprendizado pode ocorrer de várias formas: as pessoas podem usar aparelhos móveis para acessar recursos educacionais, conectar-se com outros, criar conteúdo, tanto dentro quando fora da sala de aula (UNESCO, 2013).

Outros microscópios alternativos também têm sido desenvolvidos com diferentes objetivos para o trabalho prático em Ciências e Biologia. Wallau *et al.* (2008) construíram e aplicaram uma réplica do microscópio óptico de Leeuwenhoek junto a graduandos em Biologia com resultados significativos para o ensino de História da Biologia. Este modelo análogo foi reconstruído em uma versão de baixo custo e reapresentado por Sepel *et al.* (2011). Um dos microscópios alternativos que tem ganhado destaque no meio científico é o *Foldscope*, desenvolvido por Cybulski *et al.* (2014). Esse equipamento *ultra-low cost* é construído a partir de estrutura semelhante à dobradoras de origami e possui uma lente especial e um LED como sistema de iluminação.

III. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos foram orientados por uma abordagem qualitativa de pesquisa do tipo exploratória. Este tipo de abordagem é flexível e seu caráter multimetodológico permite a reestruturação do processo de investigação no decorrer do mesmo (Alves-Mazzotti & Gewandznajder, 1998). De acordo com Gil (2002), a pesquisa exploratória é a mais indicada para a investigação de um objeto de estudo recente, como acontece com o *smartscópio*, já que ela permite uma maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito.

A pesquisa foi desenvolvida durante os meses de junho e julho de 2014 no município de Viçosa, localizado no estado de Minas Gerais, Brasil. Os sujeitos participantes da pesquisa foram 11 licenciandos em Ciências e Biologia do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Viçosa. Estes participantes estavam regularmente matriculados na disciplina BIO 494 – Estágio Supervisionado em Ciências e Biologia III. A escolha destes participantes foi baseada nos seguintes fatores: todos os alunos já haviam terminado os três estágios em ensino; já haviam completado a maioria das disciplinas da base curricular da Educação e instrumentação para o ensino; possuíam experiência no manuseio do microscópio óptico convencional. O local de realização da pesquisa se justifica pela existência de pesquisas no município que indicam que muitas escolas públicas não contam com os ambientes para a realização do trabalho prático, tampouco dispõe de microscópios ópticos convencionais para atender a todos os alunos (Freitas *et al.*, 2013). Desse modo a pesquisa pode contribuir para a capacitação de futuros professores, que serão atuantes no município, para o uso de um microscópio alternativo em sala de aula ou laboratório.

Esta pesquisa seguiu as orientações éticas da Resolução 466/12 que determina as diretrizes para o desenvolvimento de pesquisas envolvendo seres humanos direta ou indiretamente, individual ou coletivamente no Brasil (Brasil, 2012).

III.1 Caracterização do objeto da pesquisa

O *smartscópio* foi definido aqui como um modelo análogo ao microscópio óptico convencional. Ele é constituído por duas peças principais: o conversor de *smartphone* em microscópio óptico digital e o *smartphone*. O *smartphone* pode ser substituído por qualquer aparelho eletrônico móvel dotado de câmera digital, como celulares com câmera e *tablets* eletrônicos.

Para fins didáticos, o conversor foi dividido em seis partes: estágio 1, ou estágio do *smartphone*; estágio 2, ou estágio do espécime; base; sistema de iluminação; sistema de focalização; e lentes de acrílico (Figura 1).

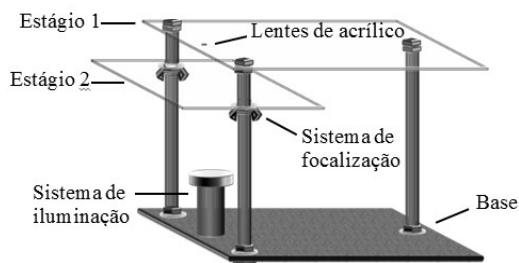


FIGURA 1. Modelo visual do conversor de *smartphone* em microscópio óptico digital.

Fonte: Freitas *et al.* (2014).

Os materiais utilizados para a construção dos conversores usados durante a pesquisa estão discriminados na Tabela I.

TABELA I. Componentes do conversor de *smartphone* em microscópio óptico digital

<i>Quantidade</i>	<i>Material</i>	<i>Especificações</i>
3	Parafusos sextavados	4 x 5/16''
9	Porcas baixas	5/16''
5	Arruelas	5/16''
2	Porcas "borboleta"	5/16''
1	Placa de *MDF	20 x 180x180mm
1	1ª Placa de acrílico	3 x 180 x 180mm
1	2ª Placa de acrílico	3 x 100 x 180mm
1	Pedaço de acrílico	3 x 40 x 80mm
2	Lente focal de acrílico	-
1	Lanterna LED de clique	< 100 mm
*MDF – <i>Medium density fiberboard</i>		

Fonte: Adaptado de Instructables (2013).

Os procedimentos necessários para a realização da montagem do conversor podem ser encontrados no endereço eletrônico <http://www.instructables.com/id/10-Smartphone-to-digital-microscope-conversion>.

As lentes focais de acrílico ideais para a confecção do suporte podem ser encontradas em equipamentos ópticos eletrônicos que funcionam com laser, como apontadores laser, mouses ópticos, leitoras e gravadoras de CD, DVD ou *Blue Ray*. De acordo Sepel *et al.* (2009), uma lente obtida a partir de ponteiras laser permite magnificação óptica de 80 a 100 vezes, enquanto a extraída de leitora de CD é mais potente e atinge até 200 vezes de aumento. O suporte conversor pode ser montado com até duas lentes de acrílico. Quando montado com somente uma lente de apontador laser ele proporciona 175 vezes de ampliação e quando são usadas duas lentes as estruturas são visualizadas com até 375 vezes de aumento (Instructables, 2013). Os números apresentados pelos dois autores diferem principalmente porque o *smartphone* permite a ampliação digital da imagem obtida, fazendo com que o modelo proposto por Yoshino tenha maior poder de magnificação. De todo modo, a qualidade e a ampliação das imagens obtidas pelo *smartscópio* vão depender diretamente das características da câmera digital, do *software* de captura presente no *smartphone* ou *tablete* e das propriedades físicas da lente de acrílico utilizada.

Após montado, o aparelho em exploração é semelhante ao ilustrado na Figura 2. Para o manuseio do espécime no Estágio 2 utiliza-se a placa de acrílico pequena.

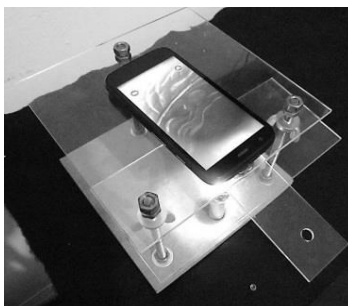


FIGURA 2. *Smartscópio* em funcionamento mostrando parte da face de uma moeda.

Fonte: Freitas *et al.* (2014).

III.2 Desenvolvimento

A atividade de pesquisa foi desenvolvida em três etapas, com a aplicação de um questionário, a realização de uma oficina de montagem e exploração do *smartscópio*, e a construção de um quadro de Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças entre Veículo (Microscópio óptico) e o Alvo (*Smarscópio*), adaptado de Marcelos & Nagem (2010).

Na primeira etapa foi aplicado o Questionário I. Ele foi dividido em duas partes, sendo que a primeira buscava caracterizar os sujeitos. A segunda parte trazia questões que objetivavam recolher informações a respeito das experiências dos sujeitos com trabalho prático em Ciências e Biologia e com a microscopia durante sua trajetória escolar.





Na segunda etapa foi realizada a Oficina de Montagem e Exploração do *Smartscópio*. A oficina teve duração de 190 minutos. Ela foi orientada por um Roteiro de Atividades elaborado pelos pesquisadores, parcialmente adaptado de Instructables (2013). Os participantes foram divididos em 5 duplas. Apenas um aluno trabalhou individualmente. A cada grupo foi disponibilizado o material necessário para a construção de um *smartscópio*. Também esteve disponível, para cada grupo, um microscópio óptico binocular Olympus CX-40 para observações dos espécimes e para comparações com o *smartscópio*. O objetivo da oficina foi permitir aos licenciandos criar um modelo mental do *smartscópio* que os permitisse realizar comparações entre o modelo análogo *smartscópio* e o microscópio óptico.

A oficina foi dividida em três momentos. No primeiro momento foram apresentados os materiais usados para a construção, montagem e exploração do aparelho. No segundo momento, os participantes receberam instruções para a montagem do *smartscópio*. Por fim, sucedeu-se a exploração do modelo análogo e do microscópio óptico. A exploração baseou-se em três momentos:

1. Observação das letras A, H e F, ao microscópio óptico e ao *smartscópio*.
2. Execução, pelos alunos, de uma atividade prática de laboratório de extração da epiderme foliar inferior de *Tradescantia* sp. e observação deste material a fresco ao microscópio e ao *smartscópio*;
3. Observação de outras preparações a fresco (*Allium cepa*, corte transversal de cortiça) e preparações permanentes (pâncreas de rato, corte longitudinal de *Allium cepa*) ao *smartscópio*.

Pelas características inerentes do modelo, para a sua melhor compreensão, optou-se pela construção do Quadro de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças entre Veículo (Microscópio óptico) e o Alvo (*Smartscópio*) adaptado de Marcelos & Nagem (2010) (Quadro III). A construção deste quadro pode permitir aos pesquisadores acessar uma versão expressa do modelo mental dos licenciando e a partir daí, analisa-los e inferir a respeito da reconstrução do *smartscópio*. Cada participante da pesquisa foi orientado a construir um quadro individualmente.

TABELA III. Exemplo do Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre o Veículo (Microscópio Óptico) e o Alvo (Smartscópio).

<i>Semelhanças</i>		<i>Diferenças</i>	
<i>Smartscópio</i>	<i>Microscópio Óptico</i>	<i>Smartscópio</i>	<i>Microscópio Óptico</i>
			
Ex. Fonte luminosa é uma lanterna de LED.	Ex. Possui uma lâmpada alimentada por pilha.	Ex. Precisa de câmera digital para fazer observações.	Ex. Observações realizadas na lente ocular.
*	*	*	*

* Espaços reservados para a adição das relações analógicas.

Fonte: Adaptado de Marcelos & Nagem (2010).

As informações contidas nos 11 quadros construídos pelos licenciandos foram categorizadas e, a partir da tabulação destes dados, foi construído um Quadro Único de Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre Veículo e Alvo. Posteriormente, as relações analógicas provenientes das semelhanças e diferenças entre o *smartscópio* e o microscópio óptico Olympus CX-40 foram classificadas de acordo com a classificação proposta por Nagem *et al.* (2003). O modelo foi classificado de acordo com as categorias propostas por Krapas *et al.* (1998), Gilbert (2004) e Nagem & Condé (2011).

IV. RESULTADOS

Foi verificado no momento da pesquisa que, dentre os 11 licenciandos pesquisados, seis já possuíam experiência como professores de Ciências ou Biologia. Sendo que três deles eram professores a menos de um ano, dois já era professores a dois anos e apenas um tinha mais de três anos de experiência. Somente um dos participantes da pesquisa não possuía *smartphone* ou *tablet* eletrônico.

Durante a Oficina de Montagem e Exploração do *Smartscópio*, os licenciandos observaram e registraram as seguintes preparações histológicas:

- i. Preparação histológica a fresco de epiderme foliar inferior de *Tradescantia* sp, não corado (Fig. 3a).
- ii. Preparação histológica a fresco de corte transversal de cortiça, não corado. (Fig. 3b).
- iii. Preparação histológica a fresco de epiderme foliar do bulbo de *Allium cepa*, não corado. (Fig. 3c).
- iv. Preparação histológica permanente de corte transversal de raiz de *Allium cepa*, hematoxilina férrica. (Fig. 3d).
- v. Preparação permanente de pâncreas de rato, coloração, hematoxilina crômica. (Fig. 3e).

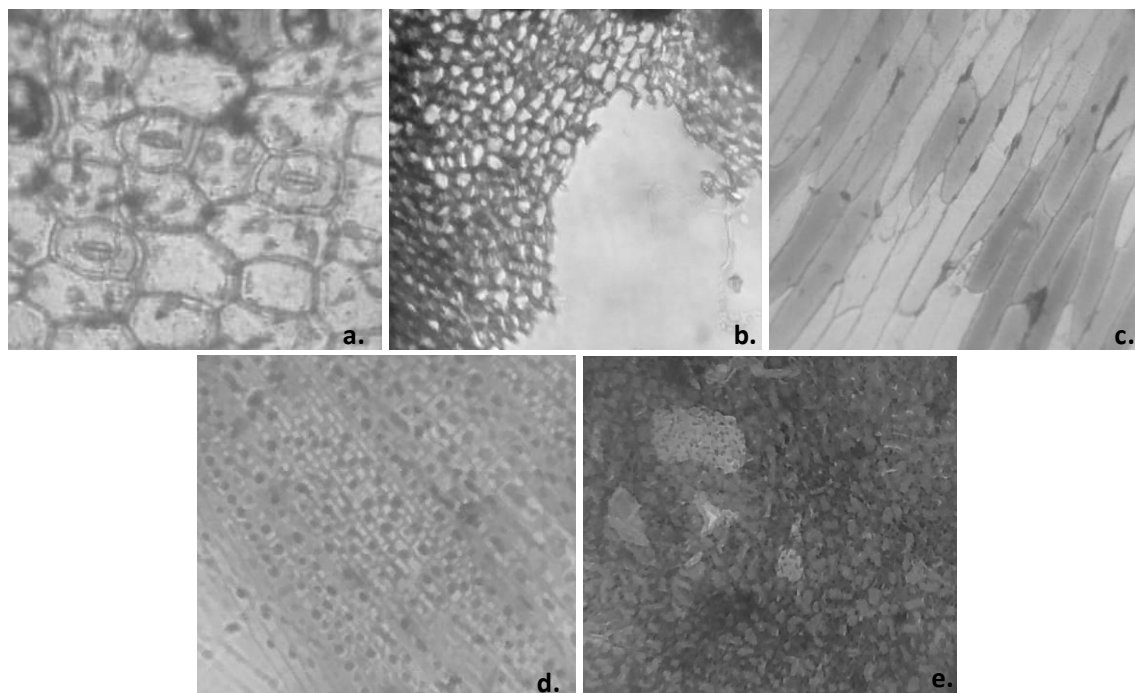


FIGURA 3. Registros fotográficos de espécimes ao *smartscópio* durante a Oficina de Montagem e Exploração do *Smartscópio*. 2014. **a.** epiderme foliar inferior de *Tradescantia* SP. **b** corte transversal cortiça. **c.** epiderme foliar do bulbo de *Allium cepa*. **d.** corte longitudinal de raiz de *Allium cepa*. **e.** corte de pâncreas de rato. Fonte: Fotos originais.

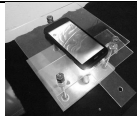

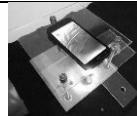

As imagens registradas pelos participantes da pesquisa, organizadas na Figura 3, mostram que o *smartscópio* oferece ampliação suficiente para a observação de células vegetais em preparações a fresco (Fig. 3a e Fig. 3c), assim como para a observação de algumas preparações permanentes de células animais, como o corte histológico de pâncreas de rato (Fig. 3e). O equipamento também traz perspectivas para o ensino de história da biologia, à medida que pode proporcionar a visualização de algumas estruturas semelhantes a aquelas realizadas pelos primeiros microscopistas como Robert Hooke (Fig. 3b).

O quadro de Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre Veículo (microscópio óptico) e o Alvo (*smartscópio*) construído pelos pesquisadores a partir dos onze quadros construídos pelos participantes da pesquisa apresentou o total de 41 semelhanças e 65 diferenças entre o veículo e o alvo. O Quadro IV é uma representação parcial do Quadro Único e apresenta algumas semelhanças e diferenças apontadas pelos participantes da pesquisa em decorrência do grande número de relações analógicas estabelecidas.

As semelhanças e diferenças apontadas pelo licenciandos foram agrupadas de acordo com o seu conteúdo, totalizando 13 tipos de semelhanças e 26 tipos de diferenças. Essas características foram reunidas em dois novos quadros e classificadas de acordo com a vinculação analógica estabelecida entre veículo e alvo, utilizando a classificação proposta por Nagem *et al* (2003). É preciso ponderar sobre o raciocínio analógico desenvolvido pelos colaboradores da pesquisa, pois, frequentemente, observou-se que as comparações feitas entre alguns domínios foram incluídas no campo de semelhanças e também no campo de diferenças, simultaneamente. Logicamente, os modelos mentais dos licenciandos não são diretamente acessíveis (Moreira, 1996) e coube aos pesquisadores interpretar as informações contidas no quadro.

Esta ambiguidade aparente reforça a necessidade da classificação da vinculação analógica entre os domínios veículo e alvo.

TABELA IV. Quadro parcial construído a partir dos dados dos participantes na construção do Modelo de Estrutura Comparativa de Semelhanças e Diferenças Entre o Veículo (Microscópio Óptico) e o Alvo (Smartscópio) 2014.

<i>Semelhanças</i>		<i>Diferenças</i>	
<i>Smartscópio</i>	<i>Microscópio Óptico</i>	<i>Smartscópio</i>	<i>Microscópio Óptico</i>
			
Estrutura do estágio 2 se assemelha à mesa (platina)	Platina semelhante ao estágio 2	Necessidade de celular com câmera boa	Não depende do celular com boa câmera
Sistema de focalização (porca borboleta)	Parafuso macrométrico	Imagem não fica invertida	Imagem fica invertida
Possível observar células	Possível observar células	Não possui tubo	Possui tubo
Parafuso	Braço	Imagem pode ser fotografada facilmente	Imagem não pode ser fotografada facilmente
Estágio 2	Platina	É um aparelho que pode ensinar como funciona basicamente a microscopia	Não é tão fácil ensinar como funciona o microscópio.
Estágio 1	Revólver com objetivas	É leve	É pesado
*	*	*	*
**	**	**	**

* Espaços reservados para a adição das relações analógicas encontradas pelos participantes da pesquisa.

** Espaços reservados para a adição de novas relações analógicas não encontradas pelos participantes da pesquisa.

Fonte: Dados da pesquisa.

As similaridades foram organizadas e classificadas no Quadro V, também está discriminada a frequência de cada vinculação analógica, ou seja, cada vez que foi encontrada a mesma informação.

TABELA V. Quadro de Semelhanças entre Veículo (microscópio óptico) e Alvo (*smartscópio*), Frequência e Classificação da Vinculação Analógica, construído a partir da informação contida no Quadro Único 2014.

<i>Semelhanças</i>		<i>Frequência</i>	<i>Vinculação analógica</i>
<i>Smartscópio</i>	<i>Microscópio óptico</i>		
Câmera	Lente ocular	1	Analogia funcional
Estágio 1	Revólver	2	Analogia funcional
Estágio 2	Platina	6	Analogia Estrutural e funcional
Imagens com detalhes	Imagens com detalhes	3	Analogia estrutural
Lente de acrílico	Lente objetiva	2	Analogia funcional
Estágio 2 ajustável	Platina ajustável	3	Analogia funcional
Parafusos	Braço	2	Analogia estrutural e funcional
Suporte de estabilização	Pé	8	Analogia estrutural e funcional
Placa de acrílico	Platina de plástico	2	Analogia estrutural
Pedaço de acrílico	Pinças	1	Analogia funcional
Ampliação a nível celular	Ampliação a nível celular	2	Analogia funcional
Sistema de focalização	Micrômetro e Macrômetro	8	Analogia funcional
Possui mais de uma lente	Possui mais de uma lente	1	Analogia estrutural
Total		41	

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro V indica uma predominância de analogias funcionais e analogias funcionais e estruturais, com apenas duas analogias estritamente estruturais. As comparações mais recorrentes foram o pé do microscópio com o suporte de estabilização do *smartscópio*; os parafusos macrométricos e micrométricos do microscópio óptico e o sistema de focalização do *smartscópio*; e a Platina do microscópio e o Estágio 2 do *smartscópio*.

No Quadro VI estão presentes as diferenças entre o microscópio óptico e o *Smartscópio* encontradas pelos licenciandos, além da classificação da vinculação analógica estabelecida na comparação. Esse quadro também mostra a frequência com que cada uma foi apontada durante a pesquisa. As diferenças mais indicadas pelos participantes da pesquisa foram a facilidade em registrar as imagens por meio da fotografia com o equipamento alternativo, o que é mais difícil de conseguir com o microscópio convencional; a maior quantidade de lentes objetivas oferecidas pelo microscópio óptico; e a formação da imagem ampliada, que no modelo análogo é direita e na modelo base (Nagem & Condé, 2011) é invertida.

Na classificação da relação analógica das diferenças entre o veículo e o alvo, pode-se constatar que as relações analógicas estruturais foram mais recorrentes que nas relações analógicas das semelhanças. Seis das características listadas não puderam ser classificadas de acordo com a proposta de Nagem *et al.* (2003), pois não foram contempladas por nenhuma das categorias. As comparações estabelecidas que não foram classificadas estão relacionadas ao custo; construção; transporte e peso. Essas comparações antagônicas aproximam-se do conceito de **contra analogia** que é uma comparação na qual se privilegia as diferenças (Ferry & Nagem, 1998), diferentemente do conceito de analogia que valoriza as semelhanças presentes entre as estruturas de dois domínios diferentes.

TABELA VI. Quadro de Diferenças entre Veículo (microscópio óptico) e Alvo (*smartscópio*), Frequência e Classificação da Vinculação Analógica, construído a partir da informação contida no Quadro Único. 2014.

<i>Diferenças</i>		<i>Frequência</i>	<i>Vinculação analógica</i>
<i>Smarstcópio</i>	<i>Microscópio óptico</i>		
Baixo custo	Alto custo	5	<i>A classificar</i>
Desmontável	Não desmontável	5	Analogia estrutural
Difícil focalização	Rápida focalização	3	Analogia funcional
Até duas lentes focais	Até quatro lentes objetivas	6	Analogia estrutural
Fácil fotografar	Difícil fotografar	8	Analogia funcional
Fácil construção	Difícil construção	1	<i>A classificar</i>
Fácil transporte	Difícil transporte	2	<i>A classificar</i>
Lanterna é a fonte luminosa	Lâmpada é a fonte luminosa	1	Analogia funcional
Imagem direita	Imagem invertida	6	Analogia funcional
Lente retirada do laser	Lente objetiva	1	Analogia estrutural
Leve	Pesado	2	<i>A classificar</i>
Campo visual amplo	Menor campo restrito	1	Analogia funcional
Mais acessível em escolas	Menos acessível em escolas	1	<i>A classificar</i>
Menor resolução	Maior resolução	2	Analogia funcional
Modelo didático para microscopia	Não funciona bem como modelo didático	1	Analogia funcional
Não possui diafragma	Possui diafragma	5	Analogia estrutural
Não possui lente objetiva	Possui lente objetiva	1	Analogia estrutural
Não possui pinça	Possui pinça	3	Analogia estrutural
Não possui revólver	Possui revólver	2	Analogia estrutural
Não possui tubo	Possui tubo	2	Analogia estrutural
Não precisa de tomada elétrica	Precisa de tomada elétrica	1	Analogia estrutural
Necessita de câmera	Não necessita de câmera	1	Analogia estrutural
Observável por mais de 1 usuário	Não observável por mais de 1 usuário	1	Analogia funcional
Platina de acrílico	Platina de plástico	1	Analogia estrutural
Possui porcas “borboleta”.	Possui parafusos macro e micrométrico	1	Analogia funcional
Pouca estável	Mais estável	2	<i>A classificar</i>
Total		65	

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados encontrados indicam que os licenciando encontraram mais diferenças do que semelhanças entre o veículo, microscópio óptico, e o alvo, o *smartscópio*. Nagem *et al.* (2001) indica que, para o ensino, devem existir mais semelhanças do que diferenças e que as semelhanças devem ser reforçadas, enquanto as diferenças não devem ser

ênfatisadas de forma a não evadir do objetivo da analogia. Neste trabalho, cujo objetivo repousa no entendimento do modelo para sua reconstrução, os dados sugerem que as diferenças encontradas podem contribuir de forma mais relevante do que as semelhanças, à medida que ressaltam as vantagens do uso do modelo análogo em detrimento do modelo base e apresentam as dificuldades que devem ser melhoradas. Isto sugere que deve ser desenvolvida uma metodologia específica para a reconstrução de modelos para o ensino mediado pelo trabalho prático.

A pouca similaridade apresentada pelo *smartscópio* sugere que os participantes da pesquisa tiveram dificuldade em identificar este equipamento como um microscópio óptico, no entanto, quando analisada a vinculação analógica das características indicadas, é possível observar que dentre as similaridades predomina a relação analógica funcional, em quanto as diferenças são majoritariamente estruturais. Esta nova informação permite inferir que, embora o modelo análogo e o veículo sejam fisicamente diferentes, os dois comungam da mesma função, desempenhando-a de maneiras diferentes.

O modelo *Smartscópio* pode ser classificado na proposta de Krapas *et al.* (1998) como um modelo pedagógico, à medida que é construído e utilizado no sentido didático, transpondo conhecimentos científicos, como o funcionamento do microscópio óptico, por exemplo, em conhecimentos escolares. Na proposta de Gilbert (2004) é um modelo de ensino de representação concreta, pois pode ser usado para o ensino de um modelo curricular, é tridimensional e feito de material resistente. Por fim, pode-se classificá-lo de acordo com Nagem & Condé (2011) como: alternativo, porque é um modelo criado a partir de um modelo anterior; de ensino, quando existe como um objeto trazido para o contexto do ensino, que facilita a visualização de um sistema; estrutural e funcional, pois se relaciona à forma e à função do microscópio óptico convencional; e físico por ser concreto e perceptível aos sentidos.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados permitem considerar que o modelo análogo ao microscópio óptico aqui denominado *smartscópio* possui potencial para ser usado no trabalho prático em Ciências e Biologia. Embora apresente algumas dificuldades estruturais e funcionais, como a aparente dificuldade na focalização, instabilidade das partes móveis e menor capacidade de aumento e resolução, o modelo análogo compartilha muitas similaridades funcionais com o microscópio óptico convencional, dentre elas destacam-se a capacidade de ampliação a nível celular com, pelo menos, duas lentes ópticas e a presença de ajuste para o foco. Além dessas semelhanças, o *smartscópio* apresenta alguns benefícios que superam o microscópio em alguns pontos, como o baixo custo e a facilidade na construção do conversor, a facilidade em registrar imagens dos espécimes estudados; a possibilidade de desmontar o equipamento, para troca de peças ou para o transporte. Outra vantagem evidente é o processo de formação da imagem, que no modelo análogo é direita, enquanto no microscópio é invertida e espelhada. Essa característica proporciona ao observador uma experiência mais próxima da realidade do espécime observado.

Mesmo com todas as vantagens e benefícios citados, o *smartscópio* precisa ser reconstruído e novas estratégias de ensino mediadas por este equipamento devem ser elaboradas antes que ele possa ser utilizado e bem aceito no ambiente escolar. A receptividade deste equipamento para propósitos didáticos também pode ser prejudicada por ele não corresponder fisicamente ao modelo científico do microscópio óptico convencional, modelo esse que serve de base para a construção e manutenção do modelo mental de microscópio óptico de professores e estudantes.

Dentre as perspectivas de trabalho com o *smartscópio* podem ser citadas a sua utilização para a divulgação científica, para o ensino a distância, ensino de história da biologia, assim como o uso junto às tecnologias de informação e comunicação, seja promovendo o aprendizado com mobilidade ou integrando alunos e professores em ambientes virtuais de aprendizagem.

Mais pesquisas são necessárias para entender como os professores e estudantes compreendem esse modelo análogo e, principalmente, como se estabelece a relação professor-aluno diante deste recurso mediacional durante uma

atividade prática. Mais estudos podem ajudar a elaborar estratégias de ensino mediadas por este equipamento juntamente com as tecnologias de comunicação e informação.

Por fim, considera-se que o *smartscópio* tem potencial para substituir o microscópio óptico em algumas atividades, porém ele deve ser entendido como uma ferramenta alternativa e complementar, que oferece formas diferentes de se ensinar e aprender. Por si só o uso do *smartscópio* não implicará em aprendizado, mas sim a abordagem escolhida e desenvolvida pelo professor em sala de aula.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às contribuições do Grupo de Estudos em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia na Educação e na Ciência (GEMATEC), à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pelo apoio. Agradecimentos especiais à Universidade Federal de Viçosa e a Kenji Yoshino pela autorização do uso do design intitulado *\$10 Smartphone to digital microscope conversion* para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alberts, B. et al. (2009). *Essential Cell Biology*. New York: Garland Science.
- Alves-Mazzotti, A. J. & Gewandsznajder, F. (1998). *O método nas ciências naturais*. São Paulo: Pioneira. 111 pp.
- Araújo, M. F. F., Menezes, A. & Costa, I. A. S. (2012). *História da Biologia*. Natal: EDUFERN.
- Axt, R. (1991). O papel da experimentação no ensino de ciências. Em: Moreira, M. A. & Axt, R. (Ed.). *Tópicos em ensino de ciências*. Porto Alegre-BRA: Sagra.
- Borges, T. A. (1997). Um estudo de modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), 207-226.
- Brasil, Ministério da Educação. (2011). *Resumo técnico. Censo escolar 2010*. Brasília: INEP
- Brasil, Governo. (2012). *Resolução N° 466 de 12 de dezembro de 2012*. Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Consultado em: 20 janeiro 2014.
- Cybulski, J. S., Clements, J. & Prakash, M. (2014). Foldscope: Origami-Based Paper Microscope. *Plos One*, 9(6), 1-11. Disponível em: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0098781>. Consultado em: 15 de jun. de 2014.
- Duarte, M. C. (2005). Analogias na Educação em Ciências: Contributos e Desafios. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(1), 7-29.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Ferraz, D. F. & Terrazzan, E. A. (2001). O uso de analogias como recurso didático por professores de Biologia no ensino médio. *Revista da ABRAPEC*, 1(3), 124-135.

Ferry, A. & Nagem, R. (2008). Analogias & contra-analogias: Uma proposta para o ensino de ciências numa perspectiva bachelardiana. *Experiências em Ensino de Ciências, Brasil*, 3, 7–21.

Freitas, F.V., Nagem, R.L. & Couto, P.A. (2014). Reconstrução de um modelo análogo ao microscópio óptico para o ensino de biologia. *IV Seminário Nacional de Educação Profissional e Tecnológica*. 17 de setembro de 2014. Belo Horizonte, Brasil.

Freitas, F. V., Rigolon, G. R. & Bontempo, G. C. (2013). Avaliação e diagnóstico dos laboratórios didáticos das escolas públicas de Viçosa/MG. *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Águas de Lindóia, Brasil. (Online). pp. 1-8. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1180-1.pdf>. Consultado em: 15 de jul. de 2014.

Gil, A. C. (1999). *Métodos e técnicas em pesquisa social*. São Paulo: Atlas.

Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (1998). Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. Em: Coulinvaux, D. (Ed.). *Modelos e educação em ciências*. Rio de Janeiro: Ravil.

Gilbert, J. K. (2004). 'Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education'. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130.

Giordan, A. & Vecchi, G. (1995). *Los orígenes del saber: de las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla: Díada.

Hooke, R. (2007). *Micrographia*. Charleston-USA: Bibliobazaar.

Instructables. (2013). *\$10 Smartphone to digital microscope conversion*. Disponível em: <http://www.instructables.com/id/10-Smartphone-to-digital-microscope-conversion>. Consultado em: 15 de novembro de 2013.

Krapas, S. et al. (1998). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. In: Coulinvaux, D. (Ed.). *Modelos e educação em ciências*. Rio de Janeiro: Ravil.

Krasilchik, M. (2011). *Prática de ensino de Biologia*. São Paulo: EDUSP.

Marcelos, M. F. & Nagem, R. L. (2010). Comparative structural models of similarities and differences between vehicle and target in order to teach darwinian evolution. *Science & Education*, 19, 599-623.

Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. Paper prepared for the Committee: High School Science Laboratories: Role and Vision, National Academy of Sciences.

Nagem, R. L. & Condé, M. L. L. (2011). Analogy and model in the teaching and learning of science. Philosophical and educational aspects. *Science and Education* (no prelo).

Nagem, R. L. et al. (2003). Analogias e metáforas no cotidiano do professor. *XXVI Reunião Anual da ANPEd*. Poços de Caldas, Brasil. Disponível em: 26reuniao.anped.org.br/outrostextos/mc08ronaldonagem.doc. Consultado em: 20 de novembro de 2013.

Nagem, R. L. & Pádua, I. C. A. (2007). A construção do conhecimento por meio da aplicação de analogias: Uma proposta para o trabalho docente no Ensino de Ciências. *XII National Meeting of Science Education*. Vila Real, Portugal. University of Trás-os-Montes and Alto Douro. pp. 637–642.

Nagem, R., Figueroa, A. M. S. & Carvalho, E. M. (2005). Metodologia de Ensino com Analogias: um estudo sobre a classificação dos animais. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(5), 1-9.

Papert, S. (2001). Education for the knowledge society: a Russia-oriented perspective on technology and school. *IITE Newsletter. UNESCO* 1(1), 1-2. Disponível em: <http://iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214592.pdf>. Consultado em: 20 de novembro de 2013.

Sepel, L. M. N., Rocha, J. B. T. & Loreto, E. L. S. (2011). Construindo um microscópio II: bem mais simples e mais barato. *Revista Genética na Escola*, 6(2), 1-5.

Souza, J. R. L. M, Santos, E. D. & Nagem, R. L. (2013). Uma proposta de classificação de analogias para o ensino nas Ciências da Saúde. *IX Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las Ciencias*. Girona, España. Disponível em: http://congres.manners.es/congres_ciencia/gestio/creacioCD/cd/articulos/art_1553.pdf. Consultado em: 15 julho 2014.

UNESCO. (2013). *Policy guidelines for mobile learning*. Paris: UNESCO. Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219641e.pdf?utm_source=Mobile+Learning+Week+2013_v3_CfP&utm_campaign=8885b82361-UNESCO_Mobile_Learning3_28_2013&utm_medium=email. Acessado em: 12 março 2014.

Wallau, G. L. *et al.* (2008). Construindo um microscópio, de baixo custo, que permite observações semelhantes às dos primeiros microscopistas. *Revista Genética na Escola*, 3(1), 1-3.

Nagem, R. L., Carvalhaes, D. O. & Dias, J. A. Y. T. (2001). Uma proposta de metodologia de ensino com analogias. *Revista Portuguesa de Educação*, 14(1), 197-213.

Weissmann, H. (1998). *Didática das ciências naturais: contribuições e reflexões*. Porto Alegre-BRA: Artmed. Affonso Neves, B. (Trad.).