



A LINGUAGEM LATEX E O ENSINO DE FÍSICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

The LaTeX language and Physical Teaching for students with visual impairment

Julio Cesar Queiroz de Carvalho [jcqcarvalho@gmail.com]

*Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências
Universidade de São Paulo*

Sala 204 da Ala Central, Rua do Matão Travessa, n. 1371, Cidade Universitária – São Paulo – SP – Brasil

Sheila Gonçalves do Couto [sgcouth@if.ufg.br]

Instituto de Física

Universidade Federal de Goiás

Avenida Esperança, s/n, campus Samambaia – Goiânia – GO – Brasil

Eder Pires de Camargo [camargoep@dfq.feis.unesp.br]

Departamento de Física e Química

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Avenida Brasil, 56, centro, Ilha Solteira – SP – Brasil

Resumo

Ao pensarmos o Ensino de Física para alunos com deficiência visual, a linguagem matemática mostra-se desafiadora, pois sua sintaxe bidimensional restringe-a a uma “cultura de videntes”. Com o desenvolvimento dos leitores de tela, tornou-se possível o acesso ao computador por pessoas com deficiência visual. No entanto a linguagem matemática convencional oferece certas barreiras à acessibilidade. Nosso objetivo foi investigar as possibilidades e limitações ao se introduzir a linguagem *LaTeX* no contexto ativo de leitura e resolução de exercícios de Física por parte de alunos com deficiência visual, por meio de um computador associado a um leitor de tela. À luz do referencial de Vigotski, em que a linguagem tem um papel central tanto do ponto de vista do processo de mediação simbólica quanto no mecanismo de compensação sócio-psicológica de pessoas com deficiência visual, o trabalho foi estruturado sob as bases da pesquisa qualitativa, sendo a interpretação dos dados baseada na Análise do Discurso em Bakhtin. Ao introduzirmos a Linguagem *LaTeX* no contexto da leitura e resolução de exercícios de Física por um aluno do ensino médio de uma escola pública, a associação entre *LaTeX* e leitor de tela não somente mostrou-se acessível como compreensível, revelando um potencial na diminuição das barreiras da acessibilidade à textos de Física por meio do computador.

Palavras-Chave: Linguagem LaTeX; deficiência visual; Ensino de Física; computador; leitores de tela.

Abstract

When we think about of the Physics Teaching for students with visual impairments, mathematical language proves to be challenging because its two-dimensional syntax restricts it to a "sighted culture". With the development of screen readers, it became possible for the visually impaired people to access the computer. However, the conventional mathematical language offers certain barriers to the accessibility. Our goal was to investigate the possibilities and limitations to introduce the *LaTeX* language in the active context of reading and solving physics problems for students with visual impairment by a computer connected to a screen reader. Based on Vygotsky's theory, in which the language has a central role as the symbolic mediation process view point as the socio-psychological compensation mechanism for the visually impaired people, this research was structured on the basis on qualitative research, and data interpretation based on Bakhtin's discourse analysis. When we introduce the *LaTeX* language in the context of reading and physics problem resolution to a high school student in a public school, the association between *LaTeX* and screen reader proved just not being accessible as understandable, as also has revealed great potential in reducing barriers of accessibility to physics texts via computer.

Keywords: LaTeX language; visual impairment; Physics Education; Computer; screen readers.

INTRODUÇÃO

Tão importante quanto entender os conceitos físicos presentes nos mais diversos fenômenos ao nosso redor, é entender a linguagem matemática que os descrevem. Tanto os conceitos quanto a matemática por trás deles, tratam-se de modelos representativos da realidade observada, em uma relação de complementaridade, de forma que uma Física puramente conceitual se tornaria superficial e uma Física puramente matemática, tornar-se-ia a própria Matemática.

Um grande desafio ao se ensinar Física para alunos com deficiência visual é quando relacionamos conceitos por meio de equações. Karshmer e Bledsoe (2007) diferenciam a leitura e escrita matemática da leitura e escrita de um texto, levando em consideração sua representação gráfica. Enquanto um texto é naturalmente representado de forma linear, por meio da combinação de um número limitado de caracteres, entre letras, números, sinais representativos de pontuação e alguns caracteres especiais, a linguagem matemática é representada de forma bidimensional (sobrescritos, subscritos, frações, sinais representativos de operações como radiciação, somatório, integral, dentre outros) e pode conter todos os elementos de um texto mais um grande número de símbolos especiais, como letras gregas, por exemplo. Essa forma de representação da linguagem matemática convencional é própria de uma “cultura de videntes” (Masini, 1994).

No Braille, tanto o texto quanto a escrita matemática são lineares e partilham do mesmo sistema de representação, “*six-dots*”, por exemplo. Uma diferença entre alunos com e sem deficiência visual está na dinâmica de resolução de problemas que envolvem notação matemática. Segundo Tato (2009) os alunos videntes, ao resolverem um problema, podem perceber todas as variáveis envolvidas com uma simples “varredura” com os olhos. Já para os alunos com deficiência visual, usuários do Sistema Braille, a leitura e escrita é feita caractere a caractere, que para Parry (1997), ao serem simplificadas para a leitura sequencial, principalmente equações fracionárias, dificultam o entendimento do todo e a retomada de alguma parcela da equação.

Com o advento do computador e o desenvolvimento de “letores de tela”, o computador tornou-se mais um aliado na transposição das barreiras da acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Dentre os leitores mais utilizados atualmente temos: *Non Visual Desktop Access* (NVDA), Jaws, Virtual Vision e Orca.

O presente artigo é parte integrante de uma pesquisa de doutorado, um episódio em que o pesquisador acompanhou e mediou o processo tanto de leitura quanto de resolução de um exercício de Física pelo aluno Gustavo (codinome), com deficiência visual, regularmente matriculado no 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Goiânia (GO), com o auxílio de um computador associado a um software leitor de tela (NVDA), utilizando a linguagem LaTeX. A escolha pelo NVDA baseou-se no fato de ser um software livre, gratuito, cujas características se mostraram compatíveis aos softwares licenciados mais populares, como o Jaws e o Virtual Vision. O episódio foi filmado e posteriormente transcrito na forma de diálogos.

Primeiramente realizamos um teste de acessibilidade, em que submetemos os softwares de interface auditiva, dentre eles o NVDA, à leitura de um conteúdo digital de Física, adaptado de um livro didático (Gaspar (2004), p. 336-340), sobre o tema “dilatação térmica”. O conteúdo em questão foi reescrito em formato digital (.doc), porém mantendo a configuração gráfica do texto original, com as expressões matemáticas criadas a partir de um editor de equações. Neste teste, pudemos elencar os principais elementos textuais e gráficos presentes no texto e a resposta do NVDA frente à leitura desses elementos (Quadro 1). Chamamos de “pontos de tensão”, aqueles elementos que ofereceram algum tipo de barreira de acesso ao seu conteúdo.

Quadro 1 – Teste com o NVDA para a leitura de diferentes elementos de um texto de Física. próprios autores

Elementos textuais/gráficos	NVDA
Letras gregas	Leu parcialmente
Expressões geradas por editores de equações	Não leu
Expressões geradas sem auxílio de editores de equações	Leu parcialmente
Unidade de medida (°C)	Não leu
Diferenciação de potência	Não leu
Figuras	Não leu
Tabelas	Leu totalmente
Caixas de texto	Não leu
Sinais representativos de operações matemáticas (+, -, /, =)	Leu totalmente

O quadro 1 mostra que os pontos de tensão estão concentrados em elementos gráficos e principalmente no uso da linguagem matemática convencional.

Quando pensamos no uso do computador no ensino de Física para alunos com deficiência visual, nos referimos tanto ao acesso aos materiais didáticos quanto a produção de textos (notas de aula, relatórios, pesquisa) e resolução de exercícios, no caso, de Física. Ao analisarmos os trabalhos na literatura, a maioria deles apontam soluções para apenas uma via do processo, o da leitura (Teixeira, 2014; Meira et al. (2008); Ferreira & Freitas (2006)). No entanto Baldwin (2011) nos chamou a atenção ao adaptar um curso de Física para uma aluna com deficiência visual utilizando a linguagem JAVA.

Nosso objetivo foi investigar as potencialidades e limitações ao se introduzir uma linguagem que é mais difundida no meio acadêmico, principalmente entre físicos e matemáticos, o *LaTeX*, no contexto de leitura e resolução de exercícios de Física por alunos com deficiência visual, por meio de um computador associado a um software leitor de tela. Diferentemente de outras linguagens, como o *JAVA* e o *MathML*, o *LaTeX* possui uma sintaxe mais intuitiva e própria para a escrita de textos que envolvam expressões matemáticas.

A linguagem LaTeX

Trata-se de uma linguagem de marcação de texto na qual já se escreve com as indicações de sua formatação final. Seu processamento é feito em duas etapas: 1. O texto a ser impresso e os comandos de formatação escritos em um arquivo fonte com o uso de um editor de textos; 2. Em seguida o arquivo fonte é submetido a um software formatador de textos, neste caso o *LaTeX*, que gera um arquivo de saída, que pode ser impresso ou visualizado em tela (Santos, 2011). A estrutura básica de um arquivo fonte pode ser observado no quadro 2.

Quadro 2 – Estrutura básica de um documento em formato LaTeX. Adaptado de Vaz (2001)

PREAMBULO	<code>\documentclass[opções]{classe}</code>	opções – refere-se a formatação do documento em si: tamanho da fonte, tamanho do papel e tamanho da página; classe – determina o tipo de documento a ser processado: <i>article</i> (artigo), <i>report</i> (tese), <i>book</i> (livro) ou <i>slide</i> (apresentação).
	<code>\usepackage{pacote}</code>	Para usar os recursos do <i>LaTeX</i> , é preciso definir os pacotes a serem utilizados no documento.
CORPO DO TEXTO	<code>\begin{document}</code> ... <code>\end{document}</code>	Consiste no texto propriamente dito e comandos de natureza local, como parágrafos e equações.

Focamos no modo como as equações e expressões matemáticas são escritas em um editor de *LaTeX*, sem nos preocupar com a estrutura do arquivo fonte. Queríamos investigar o processo de introdução dessa linguagem, por parte de alunos com deficiência visual, aplicadas em situações de leitura e resolução de exercícios de Física, envolvendo expressões matemáticas. Sendo assim, da estrutura do arquivo fonte, mantivemos apenas o conceito de “ambientes matemáticos”, ou seja, as demarcações que indicam o início e o fim da escrita de uma expressão matemática em um texto. O quadro 3 mostra uma relação com os principais ambientes matemáticos e expressões matemáticas utilizadas em nossa pesquisa. Foi mantido o padrão original da linguagem, cujos códigos são escritos em língua inglesa.

Quadro 3 – Principais ambientes e expressões matemáticas da linguagem LaTeX utilizadas na pesquisa. Próprios autores

Ambientes matemáticos	
Ambiente “cifrões” para escrita de expressões em uma única linha	<code>\$... \$</code> ou <code>\$\$... \$\$</code>
Ambiente “ <i>equation</i> ” para escrita de expressões em uma única linha	<code>\begin{equation} ... \end{equation}</code>
Ambiente “ <i>eqnarray</i> ” Para escrita de expressões multi-linhas	<code>\begin{eqnarray} ... \end{eqnarray}</code>
Operações matemáticas básicas	
multiplicação	asterisco (*)

subtração ou sinal negativo	hífen (-)
soma ou sinal positivo	sinal (+)
potenciação	circunflexo (^)
Letras gregas [barra invertida(\) e o nome da letra por extenso]/caracteres especiais	
delta maiúscula (Δ)	\Delta
alfa (α)	\alpha
grau ($^\circ$)	\circ

O exemplo 1 traz um enunciado escrito em linguagem *LaTeX*, como num arquivo de entrada, e na sua forma compilada (arquivo de saída), em que as expressões matemáticas aparecem em sua forma convencional.

Exemplo1: Processamento de um texto por meio de um editor de *LaTeX*.

[Arquivo de entrada]

No Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRU), a expressão que descreve como o espaço varia em função do tempo, também chamada de função horária do espaço, pode ser escrita como: $S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$. Sendo S o espaço final, S_0 o espaço inicial, v_0 a velocidade inicial e a a aceleração do sistema.

[Arquivo de saída]

No Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRU), a expressão que descreve como o espaço varia em função do tempo, também chamada de função horária do espaço, pode ser escrita como: $S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$. Sendo S o espaço final, S_0 o espaço inicial, v_0 a velocidade inicial e a a aceleração do sistema.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para Vigotski (2007), a relação do homem com a natureza não é direta, mas essencialmente mediada, caracterizando-a por dois elementos: o instrumento, que regula as ações sobre os objetos, e o signo, que regula as ações sobre o intelecto das pessoas.

Vigotski (2010) nos mostra a importância da linguagem nesse processo de mediação, ao dizer que embora tenham raízes genéticas (referindo-se a gênese) diferentes, em certo momento as linhas de desenvolvimento do pensamento e da linguagem, no indivíduo, se cruzam, revelando que “a fala se torna intelectual e o pensamento verbalizado” (p. 131). Em outras palavras, a linguagem se desenvolve de fora para dentro, enquanto o pensamento se desenvolve de dentro para fora e ao cruzarem seus “caminhos”, tanto o pensamento torna-se um instrumento na estruturação da linguagem, como a linguagem se torna um instrumento na estruturação do pensamento. Esse processo começa a se revelar na infância, quando a criança descobre que tudo tem um “nome” e começa a operar com signos, porém acompanha o indivíduo durante todas as suas fases de desenvolvimento, sempre que se depara com uma palavra nova, um conceito novo ou uma linguagem totalmente nova.

Esse processo de interiorização da linguagem, segundo Vigotski (2010), passa por quatro estágios básicos: O primeiro caracteriza-se pela linguagem pré-intelectual e ao pensamento pré-verbal, quando tais operações encontram-se em sua forma original; O segundo refere-se a fase operacional, quando o indivíduo “assimila a sintaxe da linguagem antes de assimilar a sintaxe do pensamento” (p. 138); No terceiro estágio o indivíduo utiliza-se de signos exteriores para resolver problemas interiores; O quarto estágio é conhecido como “crescimento para dentro”, quando já se consegue utilizar signos interiores para resolver problemas interiores, ou seja, a linguagem já foi interiorizada, assimilada (p.138).

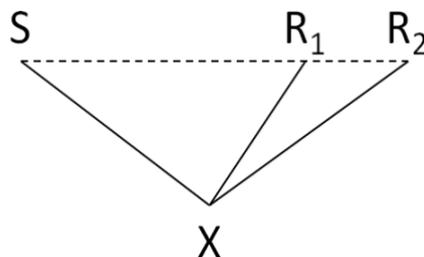


Figura 1 – Estrutura da relação entre estímulo (S) e resposta (R) para uma pessoa com deficiência visual, em que “X” representa o elemento mediador. Adaptado de Vigotski (2007, p. 33).

Quando buscamos compreender as relações do homem com a natureza e o meio social, na perspectiva das pessoas com deficiência visual, o conceito de que tais relações são essencialmente mediadas, fica bastante evidente, ganhando uma dimensão ainda maior, como mostra a figura 1. Para Vigotski (1997) a deficiência visual é mais que um fenômeno biológico, é um fenômeno social, sendo os elementos mediadores caracterizados por um “mecanismo de super compensação” (R₂), cuja origem não é fisiológica, mas sócio-psicológica.

Assim, o cego, ao enfrentar dificuldades socialmente construídas em uma lógica estruturada por videntes, estabelece com as referidas dificuldades uma relação dialética de enfrentamento e entendimento. Nesta relação descobre, pela via social, que é cego (Vigotski, 1997).

Com a tendência de participação plena na vida social, o cego não pretende se adaptar às condições impostas a ele, mas busca modificá-las. Ao transformar o meio social, este o transforma também, surgindo desse processo dialético uma personalidade que aponta no sentido contrário ao do desenvolvimento da cegueira, em termos orgânicos. Portanto, para Vigotski (1997) o desenvolvimento do cego, inserido em uma sociedade de videntes, segue o sentido oposto ao da cegueira. Para ele a maior característica da personalidade de uma criança cega é a contradição entre a falta de condição de sua percepção espacial por meio da visão e sua ampla possibilidade comunicativa por meio da linguagem. Segundo afirma: “a palavra vence a cegueira” (Vigotski, 1997, p. 108).

Portanto, para o cego, o mais importante não seria o desenvolvimento do tato ou uma maior sensibilidade do ouvido, mas a linguagem, a experiência social, a comunicação com os videntes.

METODOLOGIA

O presente artigo foi estruturado sob as bases da pesquisa qualitativa, em que se busca investigar, de forma imersiva, os acontecimentos no contexto a que se referem, cujo pesquisador atua como alguém interno à organização, empregando geralmente mais de um instrumento de coleta de dados (Teixeira, 2011).

Para interpretação dos dados nos pautamos na Análise do Discurso, de vertente bakhtiniana, cuja ideia central, segundo Bauer, Gaskel e Allum (2010) se baseia na rejeição da noção de linguagem como um meio neutro de descrever o mundo e uma convicção do papel central do discurso na construção da vida social.

Linguagem, segundo Bakhtin (2011) é dialógica e ideológica. O processo da comunicação passa pela “compreensão” e posteriormente pela “resposta”, em que os interlocutores saem da condição de somente ouvintes e passam a ter uma postura ativamente responsiva. A voz alterna-se entre o locutor e seus interlocutores. Bakhtin (2011) introduz então o conceito de “compreensão ativamente responsiva” (p. 271), em que os interlocutores buscam a compreensão do que foi falado e em seguida pronunciam sua resposta. É importante considerar como “real unidade da comunicação discursiva”, não a palavra, mas o “enunciado” (p. 274).

Ao compararmos o modelo para o processo de “mediação simbólica” (estímulo – mediação – resposta), proposto por Vigotski (2007), com o modelo de “comunicação verbal” (enunciação – compreensão responsiva ativa – réplica), proposto por Bakhtin (2011), o resultado foi a proposição de um modelo para o processo ativo de resolução de exercícios de Física, mostrado na figura 2.

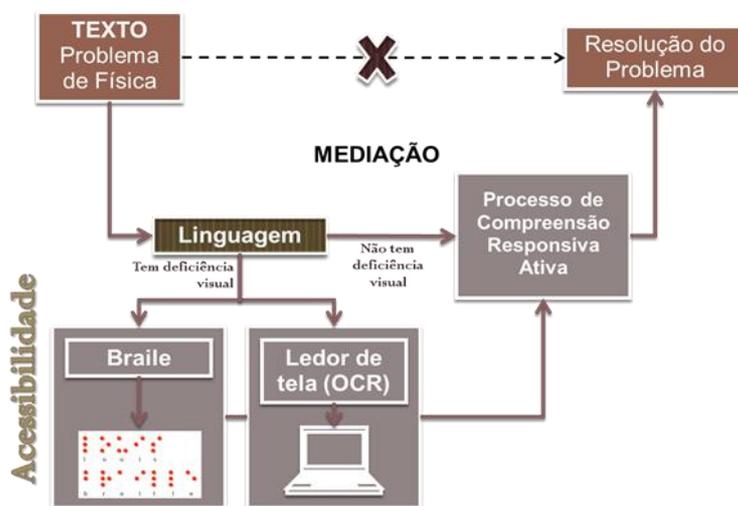


Figura 2 – Modelo para o processo ativo de leitura e resolução de exercícios de Física, baseado nos processos de “mediação simbólica” (Vigotski) e “comunicação verbal” (Bakhtin). Próprios autores.

De acordo com a figura 2, para um aluno sem deficiência visual, o processo de resolução de problemas parte da leitura e compreensão direta da linguagem presente no enunciado do exercício. No entanto, para um aluno com deficiência visual, primeiramente precisamos garantir o seu acesso, por exemplo, por meio do braille ou de um computador associado a um leitor de tela. Para o caso específico da leitura e resolução de exercícios por meio do computador, tanto a leitura e compreensão do exercício quanto à formulação de sua resposta, dependem da escolha de uma linguagem que seja ao mesmo tempo acessível e compreensível.

Nosso sujeito de pesquisa foi um aluno do 2º ano do Ensino Médio, cujo codinome adotado foi Gustavo, de uma escola pública da cidade de Goiânia, GO, que na ocasião iniciava seus estudos sobre “calor e temperatura”. Possuía domínio do braille, porém tinha pouca experiência no uso do computador associado a um leitor de tela. O episódio de que se trata nossa investigação fazia parte de uma atividade solicitada pelo professor de Física de Gustavo, uma lista de exercícios sobre “dilatação térmica”. O mesmo ocorreu cerca de 6 meses após sua introdução à linguagem *LaTeX*, pelo pesquisador, por meio de uma oficina.

No contexto do episódio em que investigamos o processo de leitura e resolução de um exercício de Física por aluno com deficiência visual, utilizando a linguagem *LaTeX*, o mesmo foi dividido em diálogos, que corresponderam as principais etapas do processo de resolução de um exercício por um aluno com deficiência visual. A primeira etapa correspondeu o processo de leitura do exercício por parte do software de interface auditiva (neste caso o NVDA), em que o aluno exerceu o papel de interlocutor nesse processo dialógico, tentando compreender o que foi lido para em seguida emitir alguma resposta, seja ao pesquisador ou iniciar o processo de resolução do exercício propriamente dito. A segunda correspondeu escolha e inserção do ambiente matemático a ser utilizado, no caso, o “*eqnarray*”. A terceira, a escrita da expressão matemática utilizada para resolver o exercício, no caso, a expressão para se calcular a dilatação linear de sólidos. A quarta etapa correspondeu a resolução do exercício propriamente dito.

Uma análise das relações estabelecidas entre os enunciados contidos nos diálogos, olhando para os níveis de compreensão ativamente responsiva adotados pelo aluno Gustavo, nos permitiu, dentro de nossa pesquisa, investigar a introdução da linguagem *LaTeX* no processo ativo de leitura e resolução de exercícios de Física por um aluno com deficiência visual. Neste contexto, a partir dos diálogos analisados, que serão mostrados e discutidos na seção seguinte, foi possível elucidar categorias que traduziram o tipo de relações que foram estabelecidas entre o leitor de tela, o aluno com deficiência visual e a linguagem *LaTeX*. Assim, foram estabelecidas as seguintes categorias de análise:

Categoria I – Acessibilidade da linguagem *LaTeX*. Expressa a relação entre o leitor de tela e a linguagem *LaTeX*, ao ler o enunciado do exercício;

Categoria II – Correspondência entre a Linguagem Matemática convencional (LMc) e a Linguagem *LaTeX* (LLa). Expressa o nível de compreensão do aluno a respeito da Linguagem *LaTeX*, ao “transitar” pelos dois tipos de linguagem. Cada subcategoria está relacionada a um tipo de relação diferente.

Subcategoria II.1 – Fala (LLa) → Escrita (LLa). Reproduz literalmente expressões em *LaTeX*;

Subcategoria II.2 – Leitura (LLa) → Fala (LMc). Compreende o que é lido pelo leitor de tela;

Subcategoria II.3 – Fala (LMc) → Fala (LLa). Compreende a linguagem *LaTeX* oralmente;

Subcategoria II.4 – Fala (LMc) → Escrita (LLa). Compreende a linguagem *LaTeX* oral e escrita.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Acessibilidade da Linguagem *LaTeX*

Analisamos a acessibilidade da linguagem *LaTeX* ao submetermos o software NVDA à leitura do exercício proposto ao aluno Gustavo:

Um agrimensor usa uma trena de aço ($\alpha_{aço} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) de 100m de comprimento a 20 °C. Qual deve ser o valor do comprimento da trena a 10 °C?

Em *LaTeX*

Um agrimensor usa uma trena de aço ($\alpha_{aço} = 1,2 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) de 100m de comprimento a 20 °C. Qual deve ser o valor do comprimento da trena a 10 °C?

um agrimensor usa uma trena de aço abre parêntesis cifraõ barra invertida alfa sublinhado abre chaves aço fecha chaves igual uma vírgula dois asterisco dez circunflexo abre chaves menos cinco fecha chaves [primeira linha]

circunflexo barra invertida erro ortográfico circ c circunflexo abre chaves menos uma fecha chaves cifraõ fecha parêntesis de cem m de comprimento a cifraõ vinte circunflexo erro ortográfico circ c cifraõ ponto qual deve ser o [segunda linha]

valor do comprimento da trena a cifraõ dez circunflexo barra invertida erro ortográfico circ c cifraõ interrogação [terceira linha]

Ao fazer a leitura para o alfa do aço, o NVDA lê como “uma vírgula dois asterisco [...]”. Podemos inferir que a leitura do NVDA para os números 2 e 1 pode estar associada ao gênero do caractere que vem em seguida. De forma que o software lê o “1” como “uma” porque o próximo caractere é “vírgula”, portanto feminino e lê o “2” exatamente como “dois”, pois o caractere seguinte é o “asterisco”, masculino.

Do ponto de vista da acessibilidade aos conteúdos matemáticos presentes no enunciado problema, a linguagem *LaTeX* revelou um grande potencial: Sua sintaxe ser baseada em caracteres de padrão QWERTY, ou seja, àqueles encontrados em modelos padrão de teclados, sejam eles físicos ou virtuais, presentes na maioria dos desktops, laptops e em uma infinidade de dispositivos móveis. Os dispositivos OCR presentes nos softwares leitores de tela foram programados para reconhecer qualquer caractere QWERTY.

O uso da linguagem matemática convencional, por ser dotada de muitos símbolos ilegíveis aos softwares leitores de tela e de difícil reprodução por parte dos alunos com deficiência visual, segundo Vigotski (1997) pode levar a uma falha no processo de mediação, portanto nesse mecanismo de compensação, podendo gerar nos alunos um desestímulo, um sentimento de “fracasso”. No entanto, a acessibilidade não pode ser entendida como uma garantia de sucesso para o mecanismo de compensação, mas um importante passo em direção à “super compensação”.

Para Bakhtin (2011), uma língua, mesmo a materna, não é recebida por um indivíduo como algo pronto a ser usado, mas é assimilada, interiorizada, por meio de processos contínuos de construção social e cultural. Vejamos agora as relações estabelecidas entre o aluno Gustavo e a linguagem *LaTeX*, em processo de interiorização.

Correspondência entre a Linguagem Matemática convencional (LMc) e a Linguagem *LaTeX* (LLa)

O diálogo 1 mostra de um lado o aluno Gustavo bastante ativo, participativo, tentando entender o enunciado do exercício e de outro o pesquisador sanando suas dúvidas, mas deixando que o aluno tirasse suas próprias conclusões. De forma que os enunciados [02] a [05] são apenas instrutivos, pois o aluno não estava entendendo alguns conceitos que tinham aparecido. Nos enunciados de [06] a [09], o pesquisador

solicita ao aluno que retome a leitura do problema pelo NVDA para tentar entender os dados do problema. Os enunciados [10], [12] e [14] revelam o nível de compreensão do aluno Gustavo com respeito ao que foi ouvido, em uma relação do tipo II.2.

Diálogo 1 – Momento de leitura e interpretação do enunciado do problema.

NVDA	[01]	[leitura da primeira linha do problema]
PESQUISADOR	[02]	O que ele falou até agora? Entendeu alguma coisa?
GUSTAVO	[03]	Deixa eu ver... um... um cara aí usa uma trena de aço... o aço tem dois virgula dois vezes dez... é, mais ou menos isso daí...
NVDA	[04]	[leitura da primeira linha do problema]
PESQUISADOR	[05]	Ele fala de um agrimensor... é tipo um agrônomo, um profissional que trabalha no campo. Aí ele fala que ele usa uma trena de aço... trena é aquele instrumento de fazer medida né... Ele te deu uma informação. O alfa do aço que é um vírgula dois vezes dez elevado a menos cinco graus célsius a menos um. Esse é o alfa. Ele fala que a trena é de aço, ele te dá o alfa do aço e aí ele fala que a trena tem cem metros
NVDA	[06]	[leitura da segunda linha do problema].
GUSTAVO	[07]	Como é aí? O que ele quer saber?
PESQUISADOR	[08]	Na primeira linha ele só te deu informação. Aí na segunda linha, vamos ver...
NVDA	[09]	[leitura da segunda linha do problema].
GUSTAVO	[10]	Ele quer saber o comprimento da trena a dez graus célsius, certo?
PESQUISADOR	[11]	Isso. Ele falou que a trena tem...
GUSTAVO	[12]	cem metros.
PESQUISADOR	[13]	cem metros a quantos graus?
GUSTAVO	[14]	vinte graus

O diálogo 2 nos revelou algo interessante. Embora Gustavo tenha recorrido ao pesquisador para ensiná-lo a escrever o comando (enunciado [32]), nos enunciados [28] e [30] o aluno demonstrou tê-lo assimilado. O fato de o aluno não se recordar da escrita do comando não quer dizer que o mesmo não tenha sido interiorizado por ele, pois se analisarmos o processo de desenvolvimento da linguagem, em Vigotski (2010), veremos que o processo de interiorização se dá pelo acúmulo de mudanças estruturais e funcionais, que vão formar a base do pensamento. Neste caso, podemos perceber que primeiramente o aluno se apropriou da palavra do ponto de vista oral, de seu significado dentro da linguagem *LaTeX*, mas a apropriação do conjunto, oral + escrita, virá com a experiência e o uso da linguagem (II.4).

Diálogo 2 – Introdução ao ambiente matemático “`\begin{eqnarray*}`”, anteriormente à resolução do problema.

PESQUISADOR	[27]	Antes de escrever a fórmula como é o ambiente matemático lá...
GUSTAVO	[28]	Ah! Do <code>eqnarray</code> lá?
PESQUISADOR	[29]	Isso. Mas antes do <code>eqnarray</code> tem o que?
GUSTAVO	[30]	tem o... tem... tem o <code>Begin</code> ...
PESQUISADOR	[31]	Hoje você tá com a memória boa... risos. Então vamos lá! Sempre que você vai fazer um comando no <i>LaTeX</i> tem o barra invertida. Barra invertida <code>Begin</code> e depois entre chaves você vai por o <code>eqnarray</code> .
GUSTAVO	[32]	<code>\</code> como escreve <code>Begin</code> mesmo?

PESQUISADOR [33] b – e – g – i – n (soletrando)
 GUSTAVO [34] \begin
 PESQUISADOR [35] Abre chaves...
 GUSTAVO [36] \begin{
 PESQUISADOR [37] E aí como se escreve eqnarray
 GUSTAVO [38] e – q – n – a – r – r – y (soletrando).
 PESQUISADOR [39] Só faltou uma letra, que é depois do r – r – a – y. Então vai lá...
 GUSTAVO [40] \begin{eqnarray
 PESQUISADOR [41] Antes de fechar a chave tem um asterisco... que eu falei lá que como a gente vai escrever... vai resolver o exercício em várias linhas, a gente não quer que ele numere as linhas. Então no código você tem que colocar o asterisco.
 GUSTAVO [42] \begin{eqnarray*}

O diálogo 3 mostra o momento em que o aluno, juntamente com o pesquisador, construíam a expressão algébrica para o cálculo da dilatação linear de sólidos. Percebemos que o aluno Gustavo conhecia a expressão, porém novamente do ponto de vista oral, necessitando que o pesquisador o corrigisse, para que soubesse a forma correta de escrever cada termo ([57], [59] e [61]). Como o pesquisador as pronunciava em LMc e o aluno as escrevia já na linguagem *LaTeX*, caracterizou-se em uma relação com a linguagem do tipo II.4. Podemos comparar essa relação ao quarto estágio no processo de interiorização da linguagem, descrito por Vigotski (2010), pois enquanto a fala se deu no âmbito da linguagem matemática convencional, a escrita na linguagem *LaTeX* exige que o aluno recorra a sua memória lógica, que é interior. Em outras palavras, para que o aluno dialogue em linguagem matemática convencional e escreva em *LaTeX*, é preciso que a linguagem *LaTeX*, ao menos parcialmente, já esteja interiorizada.

Diálogo 3 – Escrita da expressão para o cálculo da dilatação térmica linear proposta pelo problema.

PESQUISADOR [43] Agora como que coloca a expressão?
 GUSTAVO [44] Aí coloca... a expressão da...
 Ah! Pra colocar aqui L₀... não... L igual a L₀ vezes...
 PESQUISADOR [45] Antes do igual faltou só uma coisa!
 GUSTAVO [46] Faltou...
 PESQUISADOR [47] Antes do igual não é delta L?
 GUSTAVO [48] Sim!
 PESQUISADOR [49] Então é L menos...
 GUSTAVO [50] menos L inicial?
 PESQUISADOR [51] Isso. É o L₀. Então L menos L₀.
 GUSTAVO [52] L-L₀=
 PESQUISADOR [53] E agora, o que vem depois do igual?
 GUSTAVO [54] Pode ser... alpha vezes t. Não?
 PESQUISADOR [55] Humm. É que como você colocou o L₀ antes você tá achando que depois não tem de novo, mas L₀ que você colocou antes tem a ver com o delta L, porque delta L é L menos L₀, mas o que vem depois do igual continua sendo L₀ vezes alpha vezes delta t.
 GUSTAVO [56] L-L₀= L₀*alph

- PESQUISADOR [57] Aí como o alpha é uma letra grega e você está escrevendo por extenso, você tem que colocar o barra invertida antes. Só neste caso, para letra grega ou quando é um comando, que nem uma fração... uma raiz, aí você coloca o barra invertida.
- GUSTAVO [58] $L-L_0= L_0*\alpha*t$
- PESQUISADOR [59] Aí como é delta t e não só t, então como tem o delta e é uma letra grega, você tem que colocar barra invertida... e esse delta tem letra maiúscula. Assim como no nosso alfabeto nós temos letras maiúsculas e minúsculas, as letras gregas também e nesse caso que é variação, a letra é maiúscula.
- GUSTAVO [60] $L-L_0= L_0*\alpha*\Delta t$
- PESQUISADOR [61] E esse t também é maiúsculo tá! É porque o t minúsculo em Física está sempre relacionado com o tempo e o t maiúsculo com temperatura.
- GUSTAVO [62] Eu não sabia disso.
 $L-L_0= L_0*\alpha*\Delta T$
- PESQUISADOR [63] Agora vamos lá! Barra invertida barra invertida
- GUSTAVO [64] $L-L_0= L_0*\alpha*\Delta T\backslash$

Após a escrita da expressão algébrica correspondente à dilatação térmica linear de sólido ($L-L_0= L_0*\alpha*\Delta T$, que compilado corresponde a $L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$), o diálogo 4 mostra o processo de resolução do problema propriamente dito. Na substituição dos dados do problema na expressão, o pesquisador a todo instante tentava fazer com que o aluno se lembrasse do enunciado do problema. Quando isso não acontecia, solicitava que o aluno retomasse a leitura do enunciado, buscando sempre o desenvolvimento de sua autonomia. Nos enunciados [81] a [89] tivemos um momento em que o pesquisador perguntou a Gustavo sobre o valor de “alfa” e como ele sabia parcialmente, precisou retornar ao enunciado do problema e bastou apenas ouvir mais uma vez e o aluno respondeu prontamente o valor correto, em uma relação do tipo II.2. Quando se equivocou quanto ao valor da variação de temperatura, entre os enunciados [93] a [100], ao retomar a leitura novamente também conseguiu compreender a leitura feita pelo NVDA, pronunciando o valor correto (II.2). De modo geral houve uma predominância da relação II.4 devido ao fato de o pesquisador ao acompanhar passo a passo a resolução do exercício só dialogava com Gustavo em linguagem matemática convencional, enquanto ele escrevia as expressões em *LaTeX*.

Diálogo 4 – Resolução do problema propriamente dito.

- PESQUISADOR [65] E agora... enter... e tenta resolver! O que que você não conhece aí?
- GUSTAVO [66] Não conhecemos... o L... o delta L
- PESQUISADOR [67] O delta L? Mas do delta L... você não conhece nada do delta L?
- GUSTAVO [68] É vai ser o... não conhecemos o L final,
- PESQUISADOR [69] Isso. Então aí você copia ele de novo... L...
- GUSTAVO [70] L
- PESQUISADOR [71] Aí a expressão não é L menos L0? Só que o L0 mede quanto?
- GUSTAVO [72] cem.
- PESQUISADOR [73] Então você vai colocar menos cem.
- GUSTAVO [74] L-100 [Gustavo pensando em voz alta] vezes... vinte?
- PESQUISADOR [75] faltou um igual aí.
- GUSTAVO [76] L-100=
- PESQUISADOR [77] aí a primeira letra que aparece é... oh, é l menos l zero é igual a l zero vezes alfa vezes delta t. Então o primeiro é l zero.

- GUSTAVO [78] $L-100=100$
- PESQUISADOR [79] vezes...
- GUSTAVO [80] asterisco... $L-100=100^*$
- PESQUISADOR [81] quanto é o alfa?
- GUSTAVO [82] um vírgula dois...
- PESQUISADOR [83] hum! O que mais?
- GUSTAVO [84] um vírgula dois vezes dez elevado a...
- PESQUISADOR [85] você pode voltar com a setinha aqui... volta lá no início do problema
- NVDA [86] [Leitura da primeira linha do problema]
- GUSTAVO [87] pronto!
- PESQUISADOR [88] é um vírgula dois vezes quanto?
- GUSTAVO [89] vezes dez elevado a menos cinco.
- PESQUISADOR [90] isso. [...].
- GUSTAVO [91] $L-100=100*1,2*10^{-5}$
- PESQUISADOR [92] você colocou o alfa. Agora vezes o delta t. quanto que é a variação de temperatura?
- GUSTAVO [93] foi de... deixa eu ver... dez?
- PESQUISADOR [94] É, você só tem que tomar cuidado com o sinal, porque é delta t, então não é sempre final menos inicial? A final foi quanto?
- GUSTAVO [95] vinte.
- PESQUISADOR [96] a final foi vinte?
- GUSTAVO [97] foi não?
- PESQUISADOR [98] volta lá... sempre que você tiver dúvida, volta lá no seu problema. Volta lá.
- NVDA [99] [Leitura da segunda linha do problema]
- GUSTAVO [100] Ah! então tem que ser dez menos vinte?
- PESQUISADOR [101] Ele disse que a trena tem cem metros a vinte graus Celsius. Ele quer saber qual deve ser o comprimento final quando a temperatura for de dez. Então dez é a temperatura final, menos a inicial... vai dar quanto?
- GUSTAVO [102] menos dez.
- PESQUISADOR [103] menos dez. então volta lá com a setinha... Aí ó, você está na linha, só que o cursor não está exatamente no final, aí um jeito de você resolver é... bem aqui em cima tem o END, quer ver, aperta aí... [encaminhando o dedo indicador de Gustavo para ele sentir onde ficava a tecla END].
- NVDA [104] nova linha.
- PESQUISADOR [105] quando ele fala “nova linha” é porque ele já está no final da linha. Então agora você vai continuar resolvendo. Você põe vezes...
- GUSTAVO [106] $L-100=100*1,2*10^{-5}$... menos dez?
- PESQUISADOR [107] Isso, aí você como você vai colocar menos dez, abre um parênteses aí...
- GUSTAVO [108] $L-100=100*1,2*10^{-5}*(-10)$

- PESQUISADOR [109] Aí terminou essa parte. Agora barra barra invertida...
Aí antes do igual está l menos 100. Esse aí não tem como fazer nada agora. Vamos resolver o que está do outro lado do igual, que é... copia de novo aí l menos cem...
- GUSTAVO [110] L-100
- PESQUISADOR [111] igual...
- GUSTAVO [112] L-100=
- PESQUISADOR [113] Aí a gente vai ter cem vezes um vírgula dois... na verdade é cem vezes um vírgula dois vezes dez elevado a menos cinco, mas a potência de dez a gente sempre multiplica ela por último, e tem o menos dez. Vamos ver, se for cem vezes um vírgula dois...
[...]
Então põe aí menos mil e duzentos e põe a potência de dez.
- GUSTAVO [114] L-100=-1200*10^-5
- PESQUISADOR [115] barra barra invertida
- GUSTAVO [116] L-100=-1200*10^-5\\
- PESQUISADOR [117] Aí continua lá L menos cem...
- GUSTAVO [118] L-100=
- PESQUISADOR [119] sempre que você tiver dúvida, volta na linha anterior pra ver o que tem lá...
- NVDA [120] L hífen cem é igual a menos mil e duzentos asterisco dez circunflexo menos cinco barra invertida barra invertida
[...]
- PESQUISADOR [123] Então pensa lá... o número é mil e duzentos... você vai andar cinco casas pra esquerda. Que número que fica?
- GUSTAVO [124] deixa eu ver...
- PESQUISADOR [125] Vai ficar zero vírgula zero doze. Então como que vai ficar, vai ficar menos zero vírgula zero doze.
- GUSTAVO [126] L-100=-0,012
- PESQUISADOR [127] [...] vamos pra próxima linha. Você quer calcular quem é o L, que é o comprimento final, aí você tem L menos cem que é igual a menos zero vírgula zero doze. O que você vai ter que fazer?
- GUSTAVO [128] L=-0,012+100\\
- PESQUISADOR [129] próxima linha...
- GUSTAVO [130] L=
- PESQUISADOR [131] [...]
Na calculadora deu 99,988. Que é um número muito pequeno né? Então de cem, ela vai passar a ter 99,988 metros.
- GUSTAVO [132] L=99,99m
- PESQUISADOR [133] Agora finalizou, você vai pra próxima linha. Aí põe barra invertida end
- GUSTAVO [134] \\end
- PESQUISADOR [135] Aí você abre chaves
- GUSTAVO [136] \\end{

PESQUISADOR [137] eqnarray...
GUSTAVO [138] \end{eqnarray
PESQUISADOR [139] agora asterisco e fecha chaves
GUSTAVO [140] \end{eqnarray*}

Ao analisarmos o papel exercido pela *LaTeX*, enquanto uma linguagem, no processo ativo de leitura e resolução de exercícios de Física, percebemos aspectos tanto do modelo de Vigotski (2007) para o processo de mediação simbólica (estímulo – mediação – resposta), quanto do modelo proposto por Bakhtin (2011), para o processo de comunicação verbal (enunciado – compreensão – resposta), mostrados na figura 2.

Segundo o modelo Vigotski, a linguagem *LaTeX* combinada a um computador associado a um software leitor de tela, representam para os alunos com deficiência visual mais do que um elemento mediador, faz parte de um mecanismo de compensação sócio-psicológica segundo o qual, dependendo do tipo de resposta proporcionada, pode levar os alunos desde um sentimento de fracasso (R_1) até uma condição de supercompensação (R_2) (Figura 1, adaptada de Vigotski, 1997).

Segundo o modelo de Bakhtin, o caráter acessível da linguagem *LaTeX* satisfaz a condição básica para um efetivo processo de comunicação verbal. Por meio da análise das relações estabelecidas pelo aluno com a linguagem *LaTeX* no processo ativo de leitura e resolução de um exercício de Física, foi possível demonstrar o caráter dialógico da Linguagem *LaTeX* (Bakhtin, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o modelo para o processo de mediação simbólica de Vigotski (2007), na perspectiva da pessoa com deficiência visual, em que a mediação tem o caráter de mecanismo de compensação sócio-psicológica, essa inacessibilidade da linguagem matemática convencional aos softwares leitores de tela, pode gerar uma falha no processo de mediação, podendo levar os alunos a um sentimento de fracasso. Da mesma forma, se considerarmos o processo ativo de resolução de exercícios de Física, segundo o modelo para o processo de comunicação verbal de Bakhtin (2011), a acessibilidade da linguagem matemática é o primeiro passo para que haja propriamente um discurso. Percebe-se com isso o papel central exercido pela linguagem em ambos os modelos.

Neste contexto, ao considerarmos a linguagem como o centro do processo de mediação, a mesma deve ser acessível e compreensível. Dessa forma, ao analisarmos a introdução da linguagem *LaTeX* no contexto de leitura e resolução de um exercício de Física por um aluno com deficiência visual, relações do tipo (Leitura (LLa) → Fala (LMc)), em que percebemos o aluno “transitando” de uma linguagem para outra, só são possíveis se a linguagem utilizada for primeiramente acessível e principalmente compreensível. Da mesma forma que relações do tipo (Fala (LMc) → Escrita (LLa) e Fala (LLa) → Escrita (LLa)), em que o aluno aparece operando com a linguagem *LaTeX*, mostram não somente sua acessibilidade e compreensibilidade, como uma linguagem em processo de interiorização. Assim, destacamos como potencialidades da linguagem *LaTeX*, enquanto um elemento mediador no processo de leitura e resolução de exercícios por alunos com deficiência visual, com o auxílio do computador associado a um software leitor de tela:

- ✓ Compor-se de caracteres de padrão QWERTY, pois além de acessíveis aos mais variados softwares leitores de tela, os mesmos formam a base de qualquer dispositivo com teclado, seja ele físico ou virtual. Isso implica que o uso da linguagem *LaTeX* não ficaria restrito ao computador, poderia ser utilizado inclusive em *tablets* e *smartphones*.
- ✓ Sua sintaxe ser baseada em comandos, não dependendo de qualquer dispositivo de edição de equações. Com isso pode ser escrita em qualquer editor de texto, tanto *offline* quanto *online*, ou seja, pode ser estendida às plataformas de Ensino à Distância, no uso de Tecnologias de Informação e Comunicação, como *e-mails* e *chats*, por exemplo. Neste caso seu uso não ficaria restrito somente aos alunos com deficiência visual, beneficiaria a todos, desde que todos tenham conhecimento a respeito da linguagem;
- ✓ Possuir padrão de escrita linear, portanto simplificado;
- ✓ Possuir códigos curtos e intuitivos, facilitando sua memorização e utilização.

No entanto os resultados mostraram algumas de suas limitações:

- ✓ Por utilizar-se de caracteres de pontuação e acentuação em seus comandos, é necessário alterar previamente a configuração do leitor de tela para uma leitura total dos caracteres, o que afeta não somente a leitura de expressões matemáticas, mas o texto como um todo. O resultado dessa alteração é uma leitura exaustiva em termos de pontuações e caracteres especiais por parte dos leitores de tela, com uma grande carga de informações a serem filtradas para que possam compreender o que está sendo lido, podendo gerar um desconforto e até mesmo desestímulo por parte dos alunos;
- ✓ Em se tratando de uma linguagem padronizada, uma dificuldade encontrada pelos alunos foi o fato de os códigos serem escritos em Inglês e as expressões matemáticas dentro de ambientes matemáticos, o que pode dificultar o processo de interiorização e aplicação dessa nova linguagem por parte deles.

A linguagem *LaTeX* demonstrou grande potencial na diminuição das barreiras da acessibilidade à textos de Física, por meio do computador, e mais do que isso, seu caráter dialógico mostrou que pode ser utilizada não somente por alunos com deficiência visual, sua sintaxe intuitiva pode favorecer a relação entre alunos com e sem deficiência visual.

REFERÊNCIAS

- Bakhtin, M. (2011). *Estética da criação verbal*. São Paulo, SP: Martins Fontes.
- Baldwin, R. (2011, n.d). *Accessible physics concepts for blind students*. Recuperado de <http://cnx.org/content/col11294/1.35/>
- Bauer, M. W., & Gaskell, G. (Org.) (2004). *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Ferreira, H., & Freitas, D. (2006). Leitura de fórmulas matemáticas para cegos e amblíopes: A aplicação AudioMath. In *Atas do IV Congresso Ibero-americano de Tecnologia de Apoio*. (p. 137-142). Vitória, ES.
- Gaspar, A. (2004). *Física: Série Brasil*. São Paulo, SP: Ática.
- Karshmer, A. I. ,& Bledsoe, D. F. (2007). *Acess to mathematics by blind students: a global problem*. San Francisco, CA: USF Scholarchip Repository. Recuperado de <http://repository.usfca.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=at>
- Masini, E. F. S. (1994). Impasses sobre o Conhecer e o Ver. In E. F. S. Masini (Org.). *O perceber e o relacionar-se do deficiente visual: orientando professores especializado*. Brasília, DF: Corde.
- Meira, J. N. B. , Ferracini, C. C., Gimenes, A. L. M. Neves, F. H. D. Simonassi, R., & Pimentel, E. P. Uma ferramenta de autoria de materiais instrucionais com símbolos matemáticos acessíveis a deficientes visuais. In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. (p. 756-765.). Fortaleza, CE.
- Parry, M. Brazier, M., & Fischbach, E. (1997). Teaching college Physics to a blind student. *The physics teacher*, 35(8), 470-474.
- Rego, T. C. (2011). *Vygotsky – Uma perspectiva histórico-cultural da educação*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Santos, R. J. (2012). *Introdução ao Latex*. Recuperado de <http://www.mat.ufmg.br/~regi>
- Tato, A. L. (2009). *Material de equacionamento tátil para usuários do sistema braile*. (Dissertação de Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica. Rio de Janeiro, RJ
- Teixeira, E. (2011). *As três metodologias: Acadêmica, da ciência e da pesquisa*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Teixeira, P. (2014). *Software feito na Unicamp ajuda no ensino de matemática para deficientes*. Recuperado de <http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2014/11/software-feito-na-unicamp-ajuda-no-ensino-de-matematica-para-deficientes.html>
- Vaz, C. L. D. (2001). *Aprendendo Latex (Apostila desenvolvida pelo Labmac-UFGA)*. Recuperado de <http://www.lac.inpe.br/~margarete/download/MET200.../apostilalatexpdf.pdf>

Vigotski, L. S. (1997). El niño ciego. In L. S. Vigotski (Org.). *Obras escogidas V – Fundamentos de defectología* (p. 9-113). Madrid: Visor.

_____. (2007). *A formação social da mente*. São Paulo, SP: WMF Martins Fontes.

_____. (2010). *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo, SP: WMF Martins Fontes.

Recebido em: 13.11.2017

Aceito em: 14.08.2018