



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICAS**

SÍLVIO CARLOS FERREIRA PEREIRA FILHO

**INVESTIGANDO ASPECTOS DO MASTERY LEARNING E DA
CAPACIDADE DA MEMÓRIA VISUAL PARA OBJETOS
DINÂMICOS**

**BELÉM
2014**

SÍLVIO CARLOS FERREIRA PEREIRA FILHO

**INVESTIGANDO ASPECTOS DO MASTERY LEARNING E DA
CAPACIDADE DA MEMÓRIA VISUAL PARA OBJETOS
DINÂMICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemáticas do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves.

**BELÉM
2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Pereira Filho, Sílvio Carlos Ferreira, 1981-
Investigando aspectos do mastery learning e da
capacidade da memória visual para objetos dinâmicos /
Sílvio Carlos Ferreira Pereira Filho. - 2014.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do
Pará, Instituto de Educação Matemática e
Científica, Programa de Pós-Graduação em
Educação em Ciências e Matemáticas, Belém, 2014.

1. Ciência - estudo e ensino. 2. Psicologia
cognitiva. 3. Prática de ensino. 4.
Aprendizagem. 5. Metodologia. I. Título.

CDD 22. ed. 507

**INVESTIGANDO ASPECTOS DO MASTERY LEARNING E DA
CAPACIDADE DA MEMÓRIA VISUAL PARA OBJETOS
DINÂMICOS**

por

SÍLVIO CARLOS FERREIRA PEREIRA FILHO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemáticas do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves.

Data de aprovação: Belém, 22 de dezembro de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves - UFPA
Presidente

Prof. Dr. Benedito de Jesus Pinheiro Ferreira - UFPA
Membro Externo

Prof. Dr. Cesar Aléxis Galera - USP
Membro Externo

Profa. Dra. Liane Rockenbach Tarouco - UFRGS
Membro Externo

Prof. Dr. Adilson Oliveira do Espírito Santo - UFPA
Membro Interno

Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves - UFPA
Membro Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela vida, saúde e força necessárias para a realização dos meus sonhos.

Agradeço a minha mãe Nilzete pela criação, pela educação e pelos diversos sacrifícios em prol de meu crescimento.

Agradeço a meus pais, Silvio Carlos e José Luiz, pelo esforço e exemplos para minha vida.

Agradeço a minha esposa Melânia que é a benção viva de DEUS e que tem me trazido felicidade e força nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu amigo e orientador, Danilo Teixeira Alves, que tem sido um verdadeiro modelo intelectual e moral para mim.

Agradeço aos *irmãos acadêmicos* do GETIC Aline Braga, Nelson Coelho Pinheiro de Souza e Daniel Sfair pelas diversas discussões e contribuições para a execução desta pesquisa.

Agradeço ao professor e amigo João Felipe de Medeiros Neto pela colaboração em ceder sua sala para a coleta de dados desta pesquisa.

Agradeço aos *irmãos acadêmicos* Alessandra Braga, Jeferson Danilo e João Paulo pela colaboração na coleta piloto desta pesquisa.

Agradeço aos *irmãos acadêmicos* do Grupo de Casimir da UFPA pela compreensão e paciência.

Agradeço à CAPES e a Editora Paka-Tatu, na pessoa do seu diretor Armando Alves Filho, pelo apoio financeiro durante as pesquisas deste trabalho.

Agradeço à Direção, professores e colegas do PPGECEM pela caminhada conjunta rumo a mais um grau de aperfeiçoamento no desafio contínuo da vida.

Agradeço à direção do PPGF pelo uso das dependências do Laboratório de Física Pesquisa para a coleta de dados desta pesquisa.

A Ciência é mais do que um conjunto de conhecimentos: é uma maneira de pensar.

Carl Sagan

SUMÁRIO

EPÍGRAFE	v
RESUMO.....	viii
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 A aula expositiva tradicional e a baixa taxa de retenção	10
1.2 A avaliação tradicional e a baixa taxa de domínio	10
1.3 O conceito de domínio de fatos e ferramentas, em detrimento ao domínio do pensamento científico	11
1.4 A problemática combinação dos conceitos tradicionais de domínio e de avaliação	13
1.5 Da forma de pensar do iniciante ao pensamento científico experiente	13
1.6 A memória de trabalho e sua importância em Educação	14
1.7 Aumentando a porcentagem de domínio com avaliações formativas... ..	19
1.7.1 O mastery learning de Bloom	19
1.7.2 O sistema personalizado de instrução de Keller	21
1.8 O uso de simulações computacionais	24
1.9 Nossa pesquisa	27
1.9.1 O problema da carga de trabalho na implementação do mastery learning de Keller	27
1.9.2 O problema da redução da carga na memória visual durante o uso de simulações computacionais	27
1.10 Organização do presente trabalho.....	27
2 SOBRE A CARGA DE TRABALHO E DISTRIBUIÇÃO DE NOTAS NO ENSINO INDIVIDUALIZADO DE KELLER.....	29
2.1 Um modelo exato geral.....	29
2.2 Modelos aproximados e aplicações	33
2.3 Comentários	40
3 SOBRE A REDUÇÃO DA CARGA NA MEMÓRIA VISUAL DURANTE O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	41

3.1	Limitações da Memória de Trabalho Visual.....	41
3.2	Metodologia	46
3.2.1	Sujeitos.....	46
3.2.2	Materiais	47
3.2.3	Procedimento	51
3.3	Análise de dados	52
3.3.1	Análise dos objetos estáticos com exibição de 100 ms	54
3.3.2	Análise dos objetos estáticos com exibição de 500 ms	56
3.3.3	Análise dos objetos dinâmicos com exibição de 500 ms.....	58
3.4	Comentários	59
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
5	ANEXOS.....	63
	Anexo A.....	63
	Anexo B.....	64
	Anexo C.....	65
	Anexo D.....	66
6	REFERÊNCIAS	67

RESUMO

O “ensino tradicional” de Ciências apresenta vários aspectos problemáticos, tais como: a baixa taxa de retenção da informação nas - predominantes - aulas expositivas; a baixa taxa de domínio do conteúdo; o conceito de domínio de fatos e ferramentas, em contraposição ao domínio do pensamento científico; o esquema predominante de avaliações classificativas, em detrimento ao de formativas. Estes problemas poderiam ser minimizados levando-se em conta, por exemplo: a necessidade da redução da carga cognitiva; a consideração dos conhecimentos prévios do estudante; práticas que estimulem o engajamento dos estudantes, bem como provê-los com feedback sistemático; o uso da Tecnologia no processo de ensino e aprendizagem.

Dentre as propostas alternativas de ensino, o “mastery learning” (ensino para domínio) de Keller (proposto na década de 60) troca o esquema predominante de aulas expositivas pelo de estudantes realizando avaliações formativas em sala. O método eleva a taxa de domínio do conteúdo, gerando um efeito de inversão de notas finais (a maioria dos estudantes obtendo as melhores notas). No entanto, apesar de todas as evidências descritas na literatura de que essa alternativa de ensino traz resultados positivos, o método perdeu quase toda a popularidade a partir da década de 80. Um dos fatores pode ter sido a alta carga de trabalho requerida para sua aplicação. No presente trabalho, propomos um modelo matemático para descrever o esquema de um curso executado de acordo com o plano Keller. Este modelo prediz a evolução temporal da distribuição de estudantes por unidade de conteúdo, prediz o efeito de inversão nas notas finais e estabelece condições sob as quais este efeito pode ser observado. O modelo também fornece uma quantificação da carga de trabalho despendida na execução de avaliações, de forma que ele pode ser uma ferramenta útil para aqueles que estão planejando ou interessados em investigações adicionais sobre cursos Keller.

Como auxílio na solução dos problemas do ensino tradicional, a Tecnologia, por sua vez, permite o desenvolvimento de ferramentas que podem auxiliar nas práticas que estimulem o engajamento, na identificação de conhecimentos prévios, no provimento de feedback sistemático, na implementação de avaliações formativas e no desenvolvimento do pensamento científico. No presente trabalho, também focamos na questão da sobrecarga da memória de trabalho visual que pode surgir no uso de simulações

computacionais, as quais envolvem objetos cujas características variam no tempo. Investigamos a retenção na memória visual de quadrados com uma característica simples (cor) que pode variar com o tempo. Nossos resultados registram o impacto na capacidade da memória visual gerado pela alteração das características dos objetos com o passar do tempo. Especificamente, mostramos que a memória visual pode armazenar, aproximadamente, até 2 objetos do tipo quadrados com duas cores separadas no tempo, em contraste com o limite de 4 objetos estáticos encontrado na literatura. Nosso trabalho revela que essas variações temporais de características irão aumentar a carga cognitiva visual, o que pode acabar prejudicando a eficácia educacional da simulação. Desse modo, nossa pesquisa indica que não somente a quantidade de objetos estáticos desnecessários deve ser reduzida nas simulações computacionais, mas também a quantidade de dinâmica desnecessária deve ser reduzida, uma vez que essa dinâmica gera carga cognitiva visual.

Palavras-chave: memória de trabalho, memória de trabalho visual, Sistema Personalizado de Instrução de Keller, Mastery Learning.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A aula expositiva tradicional e a baixa taxa de retenção

Sobre a situação geral da aprendizagem de Ciências nas escolas, há evidências de que o ensino - do primário até a universidade - está falhando em prover aos alunos compreensão dessa disciplina (WIEMAN e PERKINS, 2006). Apesar dos avanços nas propostas pedagógicas, a aula expositiva ainda é o formato mais usado no processo de ensino (HREPIC, ZOLLMAN et al., 2007). “Aulas expositivas foram criadas como um meio de transferir informação de uma pessoa para muitas” (WIEMAN, 2007) e, usualmente, consistem em um professor transmitindo informação para um predominantemente “passivo grupo de estudantes” (WIEMAN, 2007). No entanto, pesquisas mostram que imediatamente após aulas tradicionais expositivas de Ciências a retenção de informação é de cerca de apenas 10% (HAKE, 1998; HREPIC, ZOLLMAN et al., 2007; WIEMAN, 2007). Este resultado pode ser explicado como uma consequência da limitada capacidade da memória de trabalho¹ humana (WIEMAN, 2007), uma vez que o “número de novos itens que é requerido que os estudantes lembrem e processem em uma típica aula de Ciências é vastamente maior” do que o que pode dar conta nossa memória de trabalho (WIEMAN, 2007). Voltaremos a essa discussão mais adiante, na Seção 1.6.

1.2 A avaliação tradicional e a baixa taxa de domínio

Além de manter os estudantes, na maior parte de seu tempo de sala, assistindo aulas expositivas, outra característica marcante no processo mais usual de ensino (que passaremos a denominar de “tradicional”) está na proposta de avaliação. Usualmente, conceitos e materiais são divididos em unidades sequenciais de conteúdo, as quais “... correspondem, em muitos casos, a capítulos do livro-texto usado no ensino” (GUSKEY, 1985) (ver Figura 1-a). Usualmente, testes são administrados aos estudantes, cada um cobrindo o conteúdo de uma dada unidade (ver Figura 1-a). Para o professor, um teste é uma ferramenta para identificar quem aprendeu e quem não aprendeu (GUSKEY, 1985). Para os estudantes, cada teste significa “... o fim da instrução sobre a unidade e o fim do tempo que eles podiam gastar trabalhando sobre aqueles conceitos”, e, na maioria das vezes, “... a única chance de demonstrar o que eles aprenderam” (GUSKEY,

¹ O conceito de memória de trabalho é discutido na Seção 1.6.

1985). “Após o teste ter sido administrado e pontuado,..., a instrução recomeça na próxima unidade, e o processo é repetido” (GUSKEY, 1985). O problema é que se, o estudante não obteve “domínio” (cujo significado mais específico será discutido mais adiante) do conteúdo de uma dada unidade, e esse conteúdo é necessário para a obtenção do domínio da unidade seguinte, logo o domínio da unidade seguinte fica comprometido. E (ver Figura 1-a), se isto se sucede ao longo do curso, tem-se uma sequencial queda de domínio dos conteúdos, de modo que ao final tem-se que apenas cerca de 20% dos estudantes conseguem mostrar domínio sobre o conteúdo total do curso (ver Figura 1-a), sendo que a distribuição de estudantes por nível de domínio é dada na forma de uma curva “tipo sino” (GUSKEY, 1985) (ver Figura 1-b).

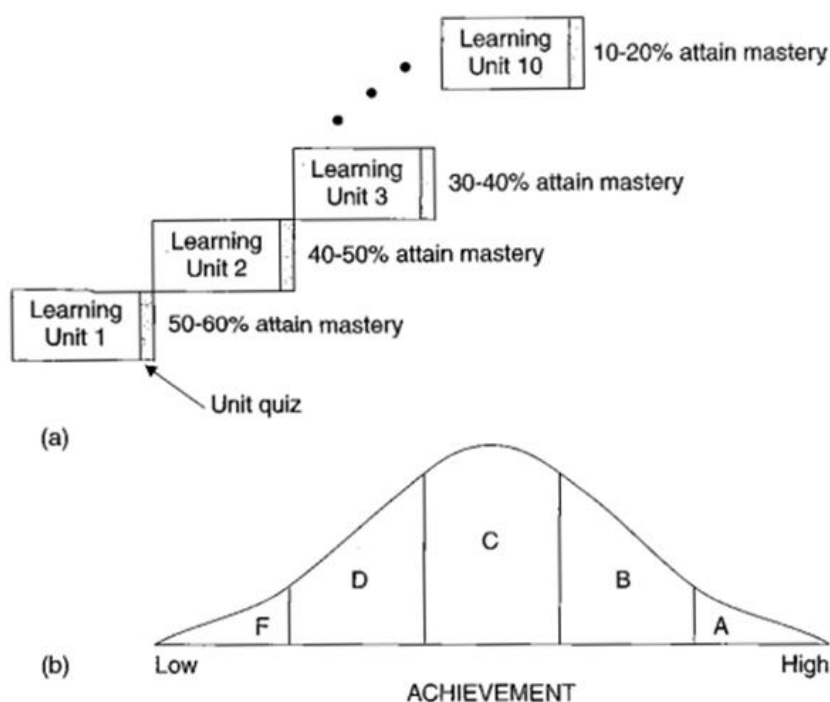


Figura 1: Imagem encontrada na Ref. (GUSKEY, 1985) que ilustra o esquema de avaliação no ensino tradicional. No item (a) está mostrado: o esquema de divisão do conteúdo em unidades de ensino (*learning units*); cada avaliação (*quiz*) feita para cada unidade; porcentagem de estudantes que obtém domínio (*attain mastery*), indicando a queda desse domínio a cada nova avaliação. No item (b) está exibida a distribuição de estudantes por nível de domínio, dada na forma de curva “tipo sino”, sendo que o eixo horizontal indica o nível de sucesso (*achievement*) obtido pelos estudantes no domínio do conteúdo, indo do nível mais baixo (*low*), até o mais alto (*high*).

1.3 O conceito de domínio de fatos e ferramentas, em detrimento ao domínio do pensamento científico

As aulas de Física (e de Ciências em geral) do ensino tradicional carregam, ainda, outra característica: as informações transmitidas, em geral, consistem em

“conhecimento factual” (WIEMAN, 2007). Vale, aqui, citar uma história envolvendo Richard Feynman², que deixou vários registros indicando a influência da educação dada por seu pai - Melville Feynman - na sua forma pensar a ciência. Feynman conta o diálogo dele com um garoto, colega na época da infância:

- “Vês aquele pássaro naquele trigal? Sabes como se chama?” Respondi-lhe: “Não faço a menor ideia.” Obtive então como resposta: “É um tordo-de-papo-castanho. Afinal teu pai não te ensina assim tanta ciência” (FEYNMAN, 1991).

E Feynman prossegue com o comentário:

- Sorri, porque o meu pai já me tinha esclarecido de que o nome de um pássaro não nos ensina grande coisa acerca dele. “Vês ali aquele pássaro?”, dissera-me uma vez. “É um tordo-de-papo-castanho, mas na Alemanha chama-se Halzenplugel e na China é designado por Chung Ling; mesmo que saibas todos os nomes que lhe dão, continuas a saber muito pouco sobre ele. Enfim, saberás alguma coisa acerca das pessoas e do modo como designam o pássaro”. E continuou: “Ora, o tordo canta e ensina os filhos a voar. Voa muitas milhas durante o Verão e ninguém sabe como se orienta”. E continuava assim por diante. Há, efetivamente, uma diferença notável entre o nome da coisa e o que deveras se passa com ela (FEYNMAN, 1991).

A visão do colega de Feynman (se não sabe o nome do pássaro, não sabe a Ciência associada ao pássaro) parece bem alinhada com a visão predominante nas práticas do ensino tradicional, que foca excessivamente, por exemplo, no treino da solução de tipos de problema que não contribuem para formação de uma visão mais profunda da Ciência, ou do pensamento científico. Por exemplo, treinar exaustivamente a transformação de temperaturas em graus centígrados para graus Fahrenheit: “É útil, mas não propriamente ciência. Do mesmo modo, se estivessem a discutir o que é a arte, não diriam que a arte consiste no conhecimento de que um lápis 3-B é mais macio do que um 2-H” (FEYNMAN, 1991). De modo semelhante, saber as datas dos fatos e nomes dos envolvidos é relevante, mas o ensino de História não se resume nisto. É uma

² Richard Feynman, físico, prêmio Nobel de Física, um dos criadores da Eletrodinâmica Quântica. Autor da famosa coleção de Física intitulada “The Feynman Lectures on Physics”.

³ O termo originalmente empregado é *rehearsal*, que também pode ser traduzido como repetição ou ensaio.

⁴ *Chunk* é definido como a unidade da memória de trabalho, podendo se referir a um único elemento de informação, por exemplo, **porta**, ou a um conjunto de elementos, por exemplo, **casa**, que contém tanto o elemento **porta** como outros. O *chunk* é tratado na memória de trabalho como uma unidade, a despeito de quantos elementos internos ele possua, isto é, apesar de sua complexidade.

⁵ Texto didático, vídeo, aula expositiva, simulações computacionais, etc.

boa ideia “... sabermos quando estamos a ensinar as ferramentas da Ciência (por exemplo, as definições) e quando estamos a ensinar a Ciência propriamente dita” (FEYNMAN, 1991). O ensino da Ciência (ou a educação científica) “... transforma como estudantes pensam, de modo que eles podem entender e usar ciência como cientistas fazem” (WIEMAN, 2007). E nós “... precisamos de uma população mais educada em Ciências para abordar os desafios globais que a humanidade enfrenta...” (WIEMAN, 2007).

1.4 A problemática combinação dos conceitos tradicionais de domínio e de avaliação

A combinação de conceitos tradicionais tanto de domínio quanto de avaliação - discutidos nos parágrafos precedentes - é bastante problemática. Os testes aplicados nos cursos tradicionais (no esquema sistematizado na Figura 1-a) testam essencialmente o “conhecimento factual”, e são semelhantes aos exercícios para treinamento das “ferramentas de Ciência”, de modo que os estudantes devem reproduzir nos testes o que foi previamente treinado. Aqueles estudantes que conseguem êxito num teste desse tipo passam a ser classificados - equivocadamente - como tendo domínio da Ciência (ou de uma parte dela), mas na realidade exibem apenas domínio de “conhecimentos factuais” relacionados com “ferramentas da Ciência”. E se o processo de avaliação tradicional segue (ver Figura 1-a), tem-se uma distribuição de domínio dada pela curva mostrada na Figura 1-b, sendo que apenas 20% dos estudantes chega a demonstrar domínio sobre conhecimentos factuais da Ciência, mas não domínio de Ciências ou do pensamento científico.

1.5 Da forma de pensar do iniciante ao pensamento científico experiente

Em geral, estudantes iniciantes veem “... o conteúdo de instrução de Física como peças isoladas de informação... e desconectadas do mundo - que eles podem aprender por memorização” (WIEMAN, 2007). É necessário introduzir práticas de ensino que estimulem novas formas de pensar que cada vez mais aproximem o indivíduo iniciante de um indivíduo que possui o pensamento científico. É importante ressaltar que “novas formas de pensamento são sempre construídas sobre pensamentos prévios do indivíduo” (WIEMAN, 2007), e o nível avançado de domínio é construído quando as “pessoas aprendem criando sua própria compreensão” (WIEMAN, 2007), mas “isto não significa que eles devam ou mesmo possam fazer isto sem assistência”, e que o ensino efetivo

“facilita essa criação estimulando estudantes engajados em pensar profundamente sobre o assunto em um nível apropriado e então monitorar esse pensamento e guiá-lo para um nível mais próximo ao de um especialista” (WIEMAN, 2007). Nesse contexto, o “papel das avaliações deve ser expandido para além do tradicional conceito de teste”, “o uso de frequentes avaliações formativas ajuda a tornar visível o pensamento do estudante para ele próprio, para seus pares, e para o professor”, e isto “... provê feedback que pode guiar a modificação e refinamento no pensamento” (BRANSFORD, BROWN *et al.*, 2000). Avaliações são ditas formativas quando “proveem aos estudantes oportunidades para revisar e conseqüentemente melhorar a qualidade do seu pensamento e aprendizagem” (BRANSFORD, BROWN *et al.*, 2000). Essas avaliações devem atuar como um mecanismo que faça com que a compreensão se aproxime do nível do indivíduo experiente, em vez de meramente estimular no estudante “... a habilidade para repetir fatos ou desenvolver habilidades isoladas” (BRANSFORD, BROWN *et al.*, 2000).

Como, então, passar do ensino tradicional para uma proposta de ensino que conduz o pensamento iniciante na direção do pensamento científico experiente? Algumas estratégias para isso são (WIEMAN, 2007):

- (i) Reduzir a carga cognitiva.
- (ii) Levar em conta os conhecimentos prévios do estudante.
- (iii) “Engajar estudantes, monitorar seu pensamento, e prover feedback” (WIEMAN, 2007).
- (iv) Uso da Tecnologia como ferramenta para a implementação dos três itens anteriores.

No presente trabalho, focaremos nas estratégias (i), (iii) e (iv). Para discutir a estratégia (i), vamos apresentar na Seção 1.6 uma discussão um pouco mais detalhada sobre “memória de trabalho”.

1.6 A memória de trabalho e sua importância em Educação

Vários modelos do funcionamento da memória humana têm sido propostos. Um dos modelos considerado como um dos mais clássicos e influentes (MCLEOD, 2007) foi proposto por ATKINSON e SHIFFRIN (1968), conhecido como *modelo de armazenamento múltiplo*. De acordo com este modelo, a memória é criada a partir dos seguintes estágios de processamento:

- A *memória sensorial* recebe e armazena as informações captadas pelos órgãos sensoriais (estímulo), podendo armazenar esta informação por um intervalo de tempo muito curto (0,25 a 0,5 segundos);
- Se as informações registradas na memória sensorial recebem a atenção, a informação passa para a *memória de curto prazo*, a qual é limitada tanto no tempo durante o qual a informação pode ser mantida (PETERSON e PETERSON, 1959) quanto na quantidade de itens que podem ser mantida (MILLER, 1956). Se não ocorre a *reiteração*³ dessa informação, ela é esquecida;
- Se ocorre o processo de reiteração da informação, ela passa para a *memória de longo prazo*, a qual tem capacidade virtualmente ilimitada tanto em relação ao tempo quanto em relação à quantidade de informação que pode ser mantida.

Hoje, o modelo de armazenamento múltiplo é considerado um modelo muito simplificado da memória, principalmente por considerar que os modos de operação da memória de curto prazo e da memória de longo prazo são uniformes (MCLEOD, 2007), assim como por considerar que a memória de curto prazo é um sistema unitário de armazenamento temporário. No entanto, o modelo de armazenamento múltiplo foi responsável por gerar uma série de novas pesquisas sobre memória. Dentre estas pesquisas, podemos citar a de BADDELEY e HITCH (1974), que traz “uma nova compreensão da memória de curto prazo que foca na consciência, processamento ativo das informações novas, auditivas e visuo-espaciais, e da informação recuperada da memória de longo prazo” (MYERS, 2010, p. 329).

A *memória de trabalho*, proposta por BADDELEY e HITCH (1974), engloba tanto a função de memória de curto prazo, presente no modelo de armazenamento múltiplo, como a função de processador ativo das informações, sendo equiparada à consciência (SWELLER, van MERRIENBOER *et al.*, 1998). Segundo BADDELEY, a memória de trabalho é “um sistema de capacidade limitada que permite o armazenamento temporário e manipulação da informação necessária para tarefas complexas como a compreensão, aprendizagem e raciocínio” (BADDELEY, 2000, p. 418). Ao contrário da memória de curto prazo, a memória de trabalho é constituída de subsistemas (ver Figura 2):

³ O termo originalmente empregado é *rehearsal*, que também pode ser traduzido como repetição ou ensaio.

- *Executivo central*: é o subsistema de controle de atenção, coordenando todo o funcionamento da memória de trabalho e designando as informações para os dois subsistemas escravos, sendo também responsável pelas tarefas cognitivas, como a resolução de problemas matemáticos, por exemplo;
- *Rascunho visuo-espacial*: armazena e processa informações do tipo visual ou espacial;
- *Ciclo fonológico*: armazena e processa informações do tipo verbal (faladas ou escritas);
- *Buffer episódio*: armazena e processa informações de várias fontes através da criação de episódios coerentes. Este subsistema foi incorporado posteriormente ao modelo de memória de trabalho (BADDELEY, 2000).

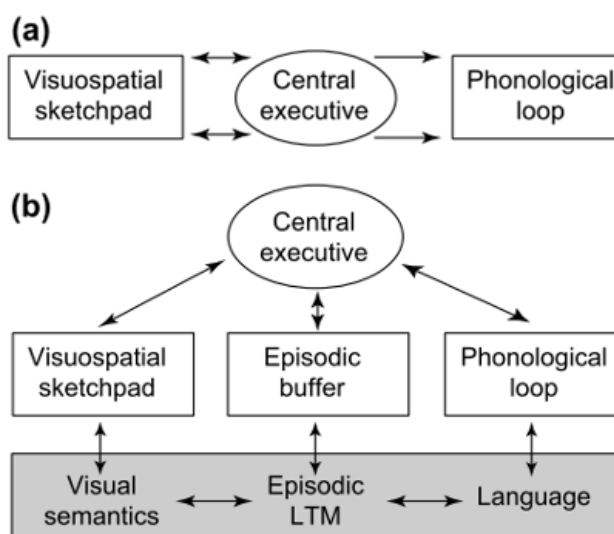


Figura 2: Esquema da evolução do modelo de memória de trabalho de Baddeley e Hitch (retirado de (BADDELEY, 2000)). (a) O modelo inicial de três componentes da memória de trabalho: o executivo central (*central executive*), o rascunho visuo-espacial (*visuospatial sketchpad*) e o ciclo fonológico (*phonological loop*) (BADDELEY e HITCH, 1974). (b) Desenvolvimento adicional do modelo da memória de trabalho, o qual incorporou um sistema escravo adicional, o *buffer episódico* (*episodic buffer*), bem como tratou da interação ente os sistemas escravos e as informações armazenadas na memória de longo prazo (*LTM*).

O modelo da memória de trabalho manteve as limitações já bem conhecidas das pesquisas com a memória de curto prazo, sendo essa limitação um dos traços mais característicos do sistema cognitivo humano (HULME e MACKENZIE, 1992, *apud* POZO, 2002). Assim a memória de trabalho é limitada tanto em relação a quantidade de itens que podem ser armazenados – a qual MILLER (1956) define com o mágico

número 7, mais ou menos 2, se referindo a quantidade de *chunks*⁴ que podem ser memorizados –, quanto em relação ao tempo que um item pode permanecer armazenado (MILLER, 1956; PETERSON e PETERSON, 1959). Caso a quantidade de informação (ou *carga cognitiva*) ultrapasse a capacidade da memória de trabalho, isto é, ocorra a *sobrecarga da memória de trabalho*, a aprendizagem pode ser prejudicada (SWELLER e LEVINE, 1982).

Existem pesquisas sendo realizadas com o intuito de estudar mais profundamente os subsistemas da memória de trabalho. Por exemplo, LUCK e VOGEL (1997) estudaram a capacidade da memória de trabalho visual (MTV) para objetos com características visuais simples ou com conjunções de características visuais, concluindo que a MTV pode armazenar, de modo eficiente, até quatro objetos visuais, independentemente da quantidade de características que estes objetos apresentem. Iremos discutir de forma mais aprofundada as pesquisas sobre MTV na Seção 3.1.

Como estratégia educacional, “qualquer coisa que se possa fazer para reduzir a carga cognitiva melhora a aprendizagem” (WIEMAN, 2007). Conforme ilustrado na Figura 3, “... dar aos estudantes material⁵ para dominar é o equivalente mental de dar a eles pacotes para carregar” (WIEMAN, 2007). Na Figura 3, a linha tracejada é o caminho percorrido pelo indivíduo, e, no processo mental, é mapeada na quantidade de aprendizagem. “Com somente um pacote, estudantes podem fazer grandes e rápidos progressos” (Figura 3-a) (WIEMAN, 2007). Se os estudantes precisam carregar vários pacotes, mas ainda conseguem carregar, não vão tão longe, nem rápido (Figura 3-b). Se a carga é maior do que podem suportar (Figura 3-c), não vão a lugar algum ou, em outras palavras “não podem aprender coisa alguma” (WIEMAN, 2007).

⁴ *Chunk* é definido como a unidade da memória de trabalho, podendo se referir a um único elemento de informação, por exemplo, **porta**, ou a um conjunto de elementos, por exemplo, **casa**, que contém tanto o elemento **porta** como outros. O *chunk* é tratado na memória de trabalho como uma unidade, a despeito de quantos elementos internos ele possua, isto é, apesar de sua complexidade.

⁵ Texto didático, vídeo, aula expositiva, simulações computacionais, etc.

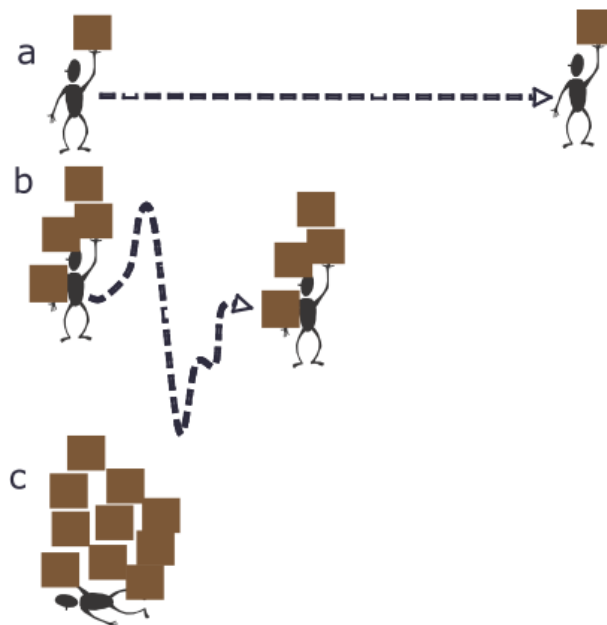


Figura 3: Imagem encontrada na Ref. (WIEMAN, 2007) que ilustra os efeitos da sobrecarga na memória de trabalho sobre a aprendizagem.

Voltamos, então, por exemplo, ao tema do primeiro parágrafo desta tese: em aulas tradicionais expositivas de Ciências, a retenção de informação é de cerca de apenas 10% porque o “número de novos itens que é requerido que os estudantes lembrem e processem em uma típica aula de Ciências é vastamente maior” do que o que pode dar conta nossa memória de trabalho (WIEMAN, 2007). Ou seja, numa aula expositiva típica, ocorre o que é ilustrado na Figura 3-b, ou mesmo na Figura 3-c. Isto não significa suprimir aulas expositivas, mas dosá-las, de modo que envolvam carga cognitiva apropriada, tal como ilustrado na Figura 3-a. Tanto para aulas expositivas, quanto para qualquer material didático, incluindo simulações computacionais (discutidas na Seção 1.8), isto pode ser feito, por exemplo, da seguinte forma (WIEMAN, 2007): (a) buscando clareza e lógica na organização, incluindo “... fazer conexões entre as diferentes ideias apresentadas e conexões com coisas que os estudantes já sabem”; (b) “... usar figuras onde apropriado em vez de basear-se apenas na descrição verbal”⁶; (c) “... minimizar o uso de jargões técnicos”.

É importante destacar que a ação de “fazer conexões entre as diferentes ideias apresentadas e conexões com coisas que os estudantes já sabem”, descrita por

⁶ Conforme discutido na Seção 1.6, a memória de trabalho possui subsistemas (ou canais) para as informações nas modalidades verbal e visual, cada qual com suas limitações individuais de processamento. Portanto, apresentar informações em modalidades diferentes pode ajudar a não sobrecarregar esses canais.

WIEMAN (2007) como uma forma de diminuir a carga cognitiva da aula expositiva, concorda com a Teoria da Aprendizagem Significativa de AUSUBEL (1968), a qual afirma que “o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já conhece”.

A seguir, discutiremos algumas propostas de ensino que implementam estratégias descritas no final da Seção 1.5.

1.7 Aumentando a porcentagem de domínio com avaliações formativas

1.7.1 O mastery learning de Bloom

A proposta de “aprendizagem para domínio” ou “ensino para domínio” (*Mastery Learning*) ganhou força na década de 60 como uma forma, dentre outros propósitos, de tentar corrigir o problema da distribuição de estudantes por nível de domínio mostrada na Figura 1-b. Dois métodos são representativos dessa proposta: aprendizagem para domínio de BLOOM (1968) e o Sistema Personalizado de Instrução (SPI) de KELLER (1968). Várias pesquisas indicam que a aprendizagem para domínio resulta em “efeitos positivos no desempenho dos estudantes em exames da faculdade, ensino médio, e nos graus mais altos do ensino fundamental” (KULIK, C. L. C., KULIK *et al.*, 1990).

Bloom iniciou sua pesquisa que levou à sua “aprendizagem para domínio” identificando o problema de que apenas cerca de 20% dos estudantes obtêm domínio de conteúdo em cursos tradicionais (ver Figura 1-a). Ele considerou que a situação ideal de ensino e aprendizagem é aquela em que “um excelente tutor está ao lado de um único estudante” (Bloom, 1984), “em outras palavras, Bloom tentou determinar que elementos chave na tutoria um-para-um poderia ser transferido para um esquema instrucional em grupo” (GUSKEY, 1985). Bloom chegou a um esquema que pode ser resumido como segue. O conteúdo é dividido em “pequenas” unidades (GUSKEY, 1985) - em geral, menores que as unidades consideradas no ensino tradicional. Após o professor ministrar⁷ o conteúdo da primeira unidade de instrução (ver Figura 4), segue uma avaliação “formativa” para todos os estudantes, no sentido de que “... em vez de significar o fim da unidade, esta avaliação é usada como parte do processo de aprendizagem e é designada primariamente para dar aos estudantes informação, ou feedback, sobre a aprendizagem deles” (GUSKEY, 1985), e Bloom sugeriu que este

⁷ A forma como o conteúdo é “ministrado” não parece ser o ponto central para Bloom.

tipo de avaliação fosse denominada “formativa”, “para informar ou prover informação” sobre o que os estudantes “já aprenderam bem e o que eles precisam aprender melhor” (GUSKEY, 1985). Para os estudantes que não demonstram domínio no conteúdo dessa unidade, são informados os seus pontos fracos e eles são encaminhados para “atividades corretivas individualizadas” que podem contar com fontes alternativas de aprendizagem (GUSKEY, 1985). Após isto, voltam a realizar outra avaliação formativa. Os que demonstram domínio na avaliação da referida unidade são direcionados para “atividades de enriquecimento”, onde o estudante pode ampliar sua experiência de aprendizagem sobre o tema, por meio de atividades como jogos, projetos, atividades que estimulam o pensamento complexo (GUSKEY, 1985). Ambos os grupos de estudantes se juntam na atividade em que o professor ministra o conteúdo da segunda unidade seguinte (ver Figura 4).

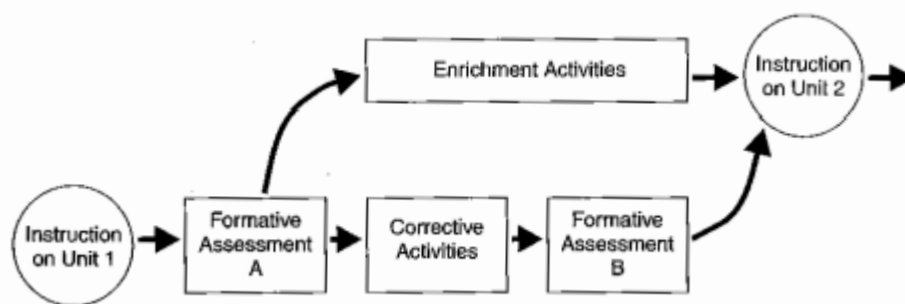


Figura 4: Imagem encontrada na Ref. (GUSKEY, 1985) que ilustra o esquema de avaliação do “ensino para domínio” proposto por Bloom. Após o professor ministrar o conteúdo da primeira unidade de instrução (*Instruction on Unit 1*), segue uma “avaliação formativa A” para todos os estudantes (*Formative Assessment A*). Para os estudantes que não demonstram domínio no conteúdo dessa unidade, estes seguem para atividades corretivas (*Corrective Activities*), e em seguida para outra avaliação formativa (*Formative Assessment B*). Os que demonstram domínio na avaliação “A” são direcionados para “atividades de enriquecimento” (*Enrichment Activities*). Ambos os grupos de estudantes se reencontram na atividade em que o professor ministra o conteúdo da segunda unidade de instrução (*Instruction on Unit 2*).

Em termos de domínio, a aplicação do esquema de Bloom produz uma manutenção da taxa de domínio (ver Figura 5-a) a cada passagem de unidade (e seu correspondente processo de avaliação), resultando em um domínio entre 80-90%. Ao final, Bloom obtém um aumento significativo no domínio em relação ao esquema tradicional (GUSKEY, 1985).

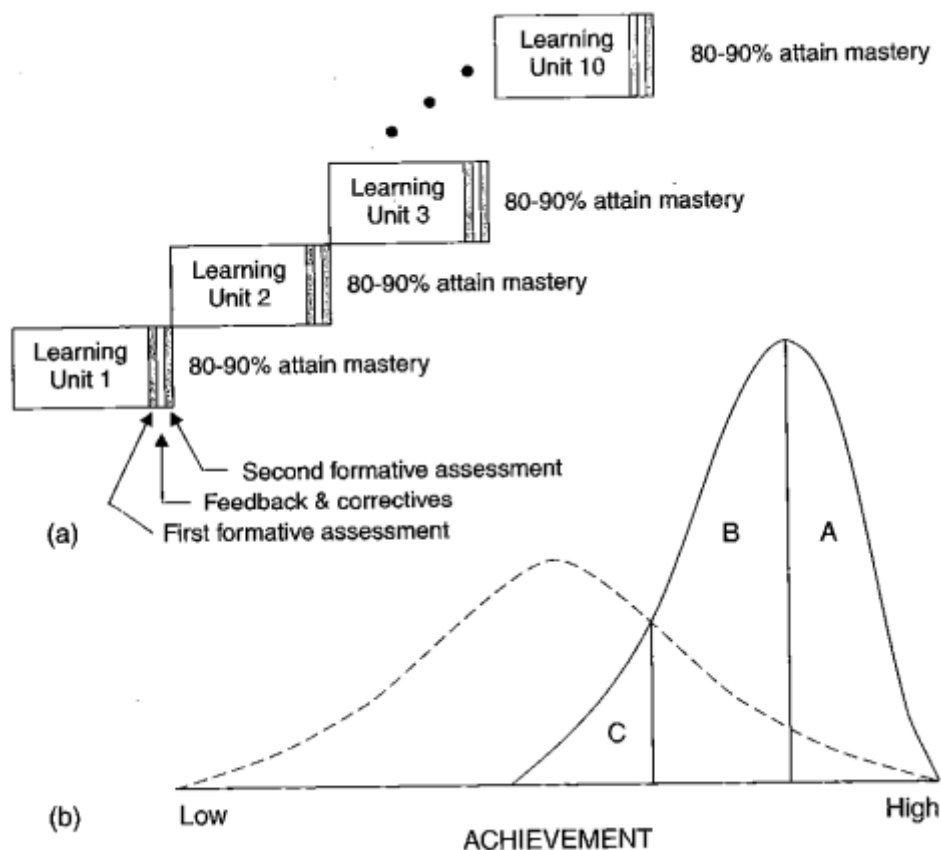


Figura 5: Imagem encontrada na Ref. (GUSKEY, 1985) que ilustra o esquema de avaliação do “ensino para domínio” proposto por Bloom. No item (a) está mostrado: o esquema de divisão do conteúdo em unidades de ensino (*learning units*); o conjunto de avaliações formativas (*Formative Assessments*) feitas para cada unidade; porcentagem de estudantes que obtém domínio (*attain mastery*), indicando a manutenção desse domínio entre 80-90% a cada nova avaliação. No item (b) está exibida a distribuição de estudantes por nível de domínio, obtida com o ensino tradicional (linha tracejada), bem como a nova distribuição obtida com o método de Bloom, sendo que o eixo horizontal indica o nível de sucesso (*achievement*) obtido pelos estudantes no domínio do conteúdo, indo do nível mais baixo (*low*), até o mais alto (*high*).

1.7.2 O sistema personalizado de instrução de Keller

Outro método de ensino que pode ser classificado na classe “mastery learning” é o Sistema Personalizado de Instrução (SPI) de Keller. O SPI originalmente iniciou como um resultado de uma aplicação da teoria do reforçamento, segundo a qual, o processo de instrução deve ser baseado na apresentação, desempenho e consequências, maximizando a frequência do reforço e redução das consequências aversivas dos erros (SKINNER, 1953). Isto levou às principais características do SPI, entre elas: domínio, ritmo próprio, materiais sequenciados em pequenos passos (cada qual relacionado a uma unidade de conteúdo), testes repetidos com feedback imediato e uso de tutores (SHERMAN, 1992). Uma vez que o método Keller será estudado em detalhes no

Capítulo 2 desta tese, não entraremos em mais detalhes sobre ele aqui. Mas é relevante mencionar algumas informações ainda nesta introdução.

No método Keller, as avaliações podem ser vistas como formativas, uma vez que neste método o estudante que não alcança domínio em uma unidade pode fazer outras versões da avaliação desta unidade, sendo este um procedimento visto pelos estudantes como um que ajuda de modo significativo o processo de aprendizagem (ALVES, de SOUZA *et al.*, 2011). O aspecto formativo destas avaliações é “amplificado” pelo feedback sistemático recebido pelo estudante logo após as avaliações (KELLER, 1968; SHERMAN, 1992).

Outra característica interessante de um curso Keller é que os estudantes dependem a maior parte do seu tempo de sala de aula fazendo avaliações, recebendo feedback ou estudando o material instrucional: “ao invés de responder passivamente a uma aula expositiva, os alunos devem ativamente ler, estudar e responder por escrito a questões sobre os materiais textuais” (BUSKIST, CUSH *et al.*, 1991). No SPI, aulas expositivas são “... veículos de motivação, ao invés de fontes críticas de informação” (KELLER, 1968) e são tipicamente curtas (BUSKIST, CUSH *et al.*, 1991).

Outra mudança marcante trazida pelo esquema Keller (e outras estratégias de aprendizagem de domínio) foi o requerer de domínio de uma dada unidade de conteúdo, no caso do SPI deixando “... o estudante avançar para novo material somente após demonstrar domínio daquele que precedeu, antes de ir para o próximo” (KELLER, 1968), a qual está relacionada a outra característica interessante do método Keller: a “produção de uma distribuição de notas invertida” (KELLER, 1968), que significa que, ao invés de uma curva típica em “forma de sino” para as notas finais encontrada nos cursos tradicionais (GUSKEY, 1985; KELLER, 2011), o SPI gera curvas do “tipo exponencial” (a maioria dos estudantes alcançando as notas mais altas) (ver Figura 6).

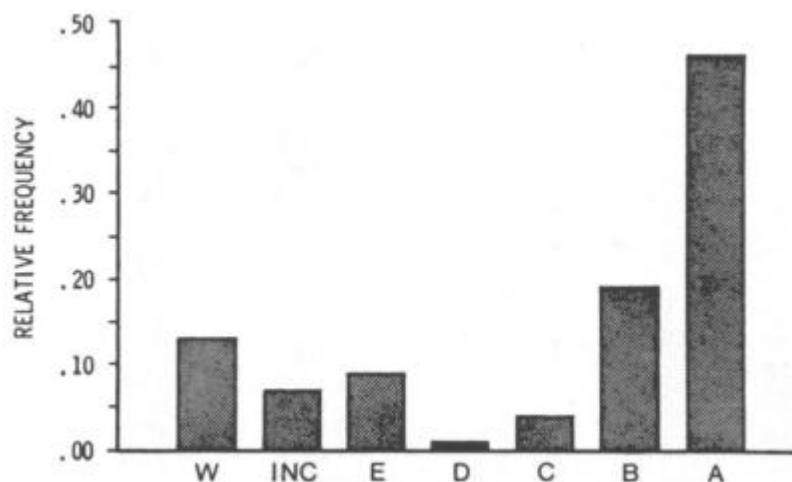


Figura 6: Imagem encontrada na Ref. (KELLER, 1968) mostrando a inversão de notas (conceitos) obtida com a aplicação do método Keller. O eixo horizontal mostra os conceitos, sendo “A” e “B” os mais altos. O eixo vertical indica a porcentagem de estudantes (*relative frequency*) que obtêm esses conceitos.

O método Keller foi aplicado em muitos cursos e os avanços recentes na tecnologia da informação estão sendo considerados para executar e melhorar o esquema Keller (FOX, 2004; EYRE, 2007). Por exemplo, “... características do sistema personalizado de instrução de Keller são elementos chave da filosofia de aprendizagem da Khan Academy” (KHAN, 2014). Especificamente, a descrição de várias aplicações do esquema Keller em cursos de Física podem ser encontradas na literatura (ver, por exemplo, (GREEN, 1971; FRIEDMAN, 1972; TAVEGGIA, 1976)). Também podem ser encontrados relatos na literatura de que o método Keller geralmente produz obtenção de desempenhos superiores pelos estudantes quando comparado com o esquema tradicional (KULIK, J. A., CARMICHAEL *et al.*, 1974; KULIK, J. A., KULIK *et al.*, 1979; FOX, 2013). KULIK, J. A., KULIK *et al.* (1979), baseados em uma meta-análise de 72 estudos, revelaram não somente que estudantes em um curso SPI superaram cursos tradicionais em medidas da satisfação do estudante, mas também revelaram que os estudantes do SPI realmente obtêm melhores notas (FOX, 2013).

Embora evidências decorrentes de observações indicassem o sucesso do esquema Keller em vários aspectos, ele começou a declinar em popularidade durante a década de 1980. Entre outras, a alta carga de trabalho (SILBERMAN, 1978; EYRE, 2007) associada à execução de um curso Keller foi uma das possíveis razões para este declínio: “Treinar e supervisionar monitores juntamente com o desenvolvimento do material do curso e avaliação de várias tentativas de testes para cada estudante foi um

processo oneroso e muitos desistiram dele em favor de métodos mais tradicionais” (EYRE, 2007).

O SPI de Keller será investigado em detalhes no Capítulo 2.

1.8 O uso de simulações computacionais

O uso de simulações computacionais está incluído na estratégia (iv), mencionada na Seção 1.5. Por sua vez, o uso destas simulações foca na implementação das estratégias mencionadas no item (iii) da mesma seção.

A questão fundamental é: como essas simulações podem contribuir para a compreensão de Ciência pelos estudantes? Segundo WIEMAN, ADAMS *et al.* (2008), somente simulações educacionalmente efetivas levam:

“(...) os estudantes a verem estas simulações do mesmo modo que os cientistas vêm suas experiências de pesquisa (...) uma oportunidade agradável para explorar conceitos básicos, assim como para desafiar, corrigir e adicionar ao conhecimento dele ou dela compreensão de como o mundo funciona”. (p. 682)

Cabe então investigar como elaborar simulações com essas características. De fato, com o crescimento do uso de simulações computacionais com fins educativos, têm aumentado também o número de pesquisas sobre o impacto que elas exercem na aprendizagem (ver, por exemplo: (FINKELSTEIN, ADAMS *et al.*, 2005; WIEMAN e PERKINS, 2006)). Uma questão em aberto, no entanto, é como simulações computacionais podem ser construídas de modo a aumentar sua efetividade educacional.

Segundo DE JONG e VAN JOOLINGEN (1998), simulações computacionais são programas de computador que contêm o modelo de um sistema que pode ser natural ou artificial. Um exemplo de um sistema natural modelado em uma simulação seria uma lei da Física, como a Lei de Conservação de Energia. Um exemplo de um sistema artificial modelado em uma simulação poderia ser um equipamento, como, por exemplo, um circuito de corrente contínua. Nesse contexto, DE JONG e VAN JOOLINGEN (1998), consideram que as simulações podem apresentar dois tipos de modelagem:

- *Modelagem conceitual*: a simulação aborda o sistema simulado através de seus princípios ou conceitos básicos. Este tipo de modelagem se aplica, principalmente, às simulações de sistemas naturais. Assim, a descrição matemática do modelo

define o comportamento da simulação (RIEBER, 2005; REY, 2011). Podemos usar como exemplo de simulação que usa esse tipo de modelagem a ilustrada na Figura 7 ou a da Figura 8, se esta última estiver sendo utilizada para estudo da Lei de Conservação de Carga;

- *Modelagem operacional*: a simulação aborda o sistema simulado através de sequências de procedimentos (operações cognitivas ou não cognitivas). Este tipo de modelagem se aplica, principalmente, às simulações de sistemas artificiais. Podemos usar como exemplo de simulação que usa esse tipo de modelagem a ilustrada na Figura 8, se esta estiver sendo utilizada para práticas de construção de circuitos elétricos.

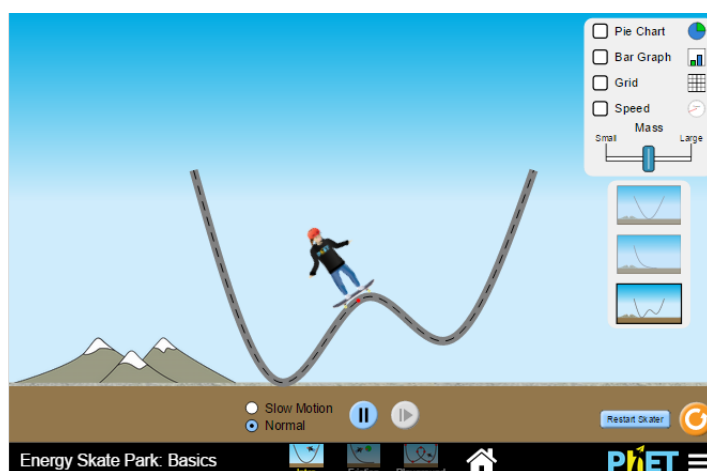


Figura 7: Simulação *Energy Skate Park* do projeto *Physics Education Technology* (PhET) (WIEMAN, 2010). Esta simulação pode ser utilizada, por exemplo, no estudo da Lei de Conservação de Energia.

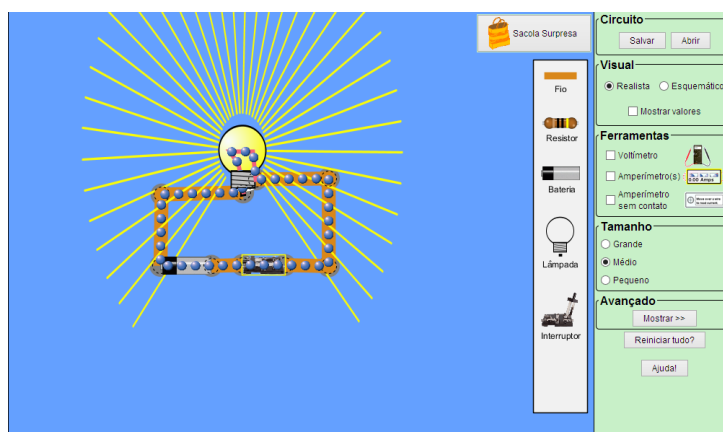


Figura 8: Simulação *Circuit Construction Kit* do projeto *Physics Education Technology* (PhET). Esta simulação pode ser utilizada, por exemplo, para estudar a Lei de Conservação de Carga ou para a prática de montagem de circuitos elétricos.

As simulações permitem ao usuário executar experimentos virtuais, em situações controladas, para compreender o funcionamento do modelo subjacente (DE JONG e VAN JOOLINGEN, 1998; RIEBER, 2005; van der MEIJ, 2007; REY, 2011). Essa execução dos experimentos se dá através da manipulação do valor de algumas variáveis, os *parâmetros de entrada*, e a observação do comportamento de outras variáveis, os *parâmetros de saída* (SIMS, 1997; de JONG, 2006). Geralmente através de uma interface gráfica com o usuário, onde são exibidos os controles dos parâmetros de entrada e os elementos gráficos que representam os parâmetros de saída.

Nesse contexto, podemos discutir algumas características de uma simulação computacional que podem ter impacto direto em sua efetividade educacional. CLARK e MAYER (2003) enfatizam que todos os elementos (controles e elementos gráficos) devem ser diretamente relacionados aos objetivos de aprendizagem da simulação, excluindo-se as informações estranhas⁸, pois estas podem interferir com a aprendizagem de várias maneiras. Destacamos aqui duas formas que a informação estranha pode interferir com a aprendizagem: (i) desviando dos aspectos relevantes para a aprendizagem os recursos limitados da memória de trabalho do estudante; (ii) interrompendo a construção de conexões entre os aspectos relevantes devido a presença de aspectos irrelevantes. ADAMS, REID *et al.* (2008) afirmam terem “repetidamente confirmado a necessidade de limitar as características das simulações para somente os itens que são diretamente necessários para alcançar os objetivos de aprendizagem da simulação”.

Esta abordagem para a construção de simulações computacionais está diretamente ligada à limitada capacidade da memória de trabalho, que se refere à quantidade de informação que podemos processar simultaneamente. Desse modo, uma simulação que esteja carregada de controles e de elementos gráficos, mesmo que todos sejam importantes para a aprendizagem, pode não ser educacionalmente efetiva por sobrecarregar a memória de trabalho do estudante e, assim, prejudicar a aprendizagem. Existem pesquisas que mostram que existem limitações da memória de trabalho em relação às informações visuais que podem ser gerenciadas, o que tem impacto direto sobre o uso educacional efetivo de simulações computacionais, pois os elementos gráficos que são usados nas simulações para exibir o comportamento dos parâmetros de

⁸ Carga cognitiva desnecessária.

saída são informações visuais que precisam ser eficientemente processadas para que haja aprendizagem. Aspectos das limitações da MTV serão investigados na Seção 3.1.

1.9 Nossa pesquisa

1.9.1 O problema da carga de trabalho na implementação do mastery learning de Keller

Neste trabalho, propomos um modelo matemático para descrever o esquema de um curso executado de acordo com o plano Keller. Este modelo prediz a evolução temporal da distribuição de estudantes por unidade de conteúdo, prediz o efeito de inversão nas notas finais e estabelece condições sob as quais este efeito pode ser observado. O modelo também fornece uma quantificação da carga de trabalho despendida na execução de avaliações, de forma que ele pode ser uma ferramenta útil para aqueles que estão planejando ou interessados em investigações adicionais sobre os cursos Keller.

1.9.2 O problema da redução da carga na memória visual durante o uso de simulações computacionais

Uma vez que simulações computacionais envolvem objetos cujas características variam no tempo, investigamos a retenção na MTV de objetos (quadrados) com uma característica simples (cor) que pode variar com o tempo. Tal dinâmica permite aumentar a complexidade visual do objeto, aumentando suas características individuais, sem, no entanto, alterar suas características geométricas, o que é inédito na literatura científica. Os resultados mostram que é possível reter na MTV informação de aproximadamente 5 objetos com cor que não varia no tempo, para exibições de 100 ms e de 500 ms (resultado que é condizente com a literatura ((LUCK e VOGEL, 1997), e outros). Já com os objetos com cor variando no tempo, mostramos que a MTV pode reter menos informação: de aproximadamente 2 objetos. Os resultados indicam que a MTV não armazena objetos integrados a despeito de suas características individuais. Tal conclusão discorda de LUCK e VOGEL (1997), mas concorda com outros autores, como (ALVAREZ e CAVANAGH, 2004; ENG, CHEN *et al.*, 2005).

1.10 Organização do presente trabalho

O trabalho segue como o descrito: no capítulo seguinte discutiremos o estudo do SPI de Keller e o modelo matemático para estudar o nível de domínio dos estudantes ao

final do curso e a carga de trabalho para execução deste esquema de instrução. No Capítulo 3, estudaremos as limitações da MTV e a pesquisa realizada nesse sentido. No Capítulo 4 faremos as considerações finais do presente trabalho.

2 SOBRE A CARGA DE TRABALHO E DISTRIBUIÇÃO DE NOTAS NO ENSINO INDIVIDUALIZADO DE KELLER

No presente capítulo, apresentamos um modelo matemático para descrever um curso feito de acordo com o plano Keller. Com esta ferramenta, investigamos a evolução temporal de uma distribuição de estudantes por unidade de conteúdo, as situações nas quais podemos observar o efeito de inversão nas notas, a carga de trabalho despendida com cada avaliação e a carga de trabalho total com as avaliações.

O capítulo é organizado como segue. Na Seção 2.1, discutimos um modelo matemático para descrever um curso SPI bastante geral. Na Seção 2.2, propomos algumas aproximações que permitem a visualização de vários aspectos interessantes dos cursos SPI. Na Seção 2.3 fazemos nossos comentários.

2.1 Um modelo exato geral

Em cursos tradicionais, conceitos e materiais são divididos em N_u unidades de conteúdo, as quais “... correspondem, na maioria dos casos, a capítulos no livro texto usados no ensino” (GUSKEY, 1985). Usualmente, N_a (sendo $N_a \geq N_u$) testes são administrados aos estudantes. Normalmente, cada teste cobre o conteúdo de uma dada unidade, então podemos dizer que em cursos tradicionais $N_a \approx N_u$. Para o professor, um teste é “... um dispositivo de avaliação que determina quem aprendeu estes conceitos e quem não aprendeu” (GUSKEY, 1985). Para os estudantes, cada teste significa “... o fim da instrução de uma unidade e o fim do tempo que eles têm que gastar trabalhando nestes conceitos” e, a maioria das vezes, “... a única chance para demonstrar que eles aprenderam” (GUSKEY, 1985). “Depois que o teste é administrado e corrigido, as notas são registradas em um livro de classe, e a instrução começa na próxima unidade, onde o processo é repetido” (GUSKEY, 1985). A estrutura de um curso de acordo com o plano Keller (KELLER, 1968) é muito diferente e pode ser modelado como segue.

O conteúdo do curso é dividido em N_u unidades, organizadas em uma ordem numérica definida $(1, \dots, N_u)$, e os estudantes tem de mostrar domínio em cada uma das unidades passando por avaliações (testes, trabalhos e etc.). Vamos considerar que existem N_a oportunidades totais de tais avaliações relativas a estas N_u unidades, de modo que, se o estudante não consegue passar em uma avaliação na primeira oportunidade, pode haver outras oportunidades a serem usadas. Pode-se notar que, em

curso Keller típicos $N_a \gg N_u$, ao passo que, em cursos tradicionais $N_a \approx N_u$. Adicionalmente, em um curso Keller podem ser aplicados N_e exames finais (mas, comumente $N_e = 1$), cada um deles aplicado ao mesmo tempo para todos os estudantes. Usualmente, certa percentagem λ_u da nota final do curso é baseada no número de unidades completadas com sucesso durante o prazo, uma porcentagem λ_f é baseada nos exames finais, ao passo que a porcentagem $1 - (\lambda_u + \lambda_f)$ é associada a exercícios (trabalhos de laboratório, etc.). Isto significa que deve haver um número mínimo N_c de unidades de conteúdo que devem ser completadas com sucesso pelos estudantes para serem aprovados.

Vamos considerar um curso baseado no plano Keller, com N_s estudantes. Na Figura 9 representamos em um plano cartesiano o esquema de avaliações de um curso Keller, com $N_u = 9$, $N_c = 5$ e $N_a = 14$. No eixo horizontal definimos um número para cada oportunidade de avaliação, ao passo que no eixo vertical definimos um número para cada unidade de conteúdo. Desta maneira, o ponto (1,1) significa que, na primeira oportunidade de avaliação, os estudantes podem estar tentando passar a avaliação relacionada à primeira unidade de conteúdo. O ponto (2,1) significa que na segunda oportunidade de avaliação, os estudantes estão tentando passar a avaliação relacionada à primeira unidade de conteúdo, ao passo que o ponto (2,2) mostra que na mesma oportunidade de avaliação existem estudantes tentando passar a avaliação relacionada à segunda unidade de conteúdo. Os outros pontos tem significado análogo. Considerando $N_{(i,j)}$ como o número de estudantes na i -ésima oportunidade de avaliação, tentando passar a avaliação relativa à j -ésima unidade de conteúdo, pode-se estabelecer relações para descrever a propagação do número de estudantes de um ponto para outro:

$$N_{(i+1,1)} = \alpha_{(i,1)} N_{(i,1)} \quad (i \geq 1), \quad (1)$$

$$N_{(i,i)} = \beta_{(i-1,i-1)} N_{(i-1,i-1)} \quad (i > 1), \quad (2)$$

$$N_{(i+1,j)} = \alpha_{(i,j)} N_{(i,j)} + \beta_{(i,j-1)} N_{(i,j-1)} \quad (i \geq j > 1), \quad (3)$$

onde i e $j = 1, 2, \dots$, os coeficientes α são relacionados a falha em passar uma avaliação, ao passo que os coeficientes β são relacionados ao sucesso (domínio em uma dada unidade de conteúdo).

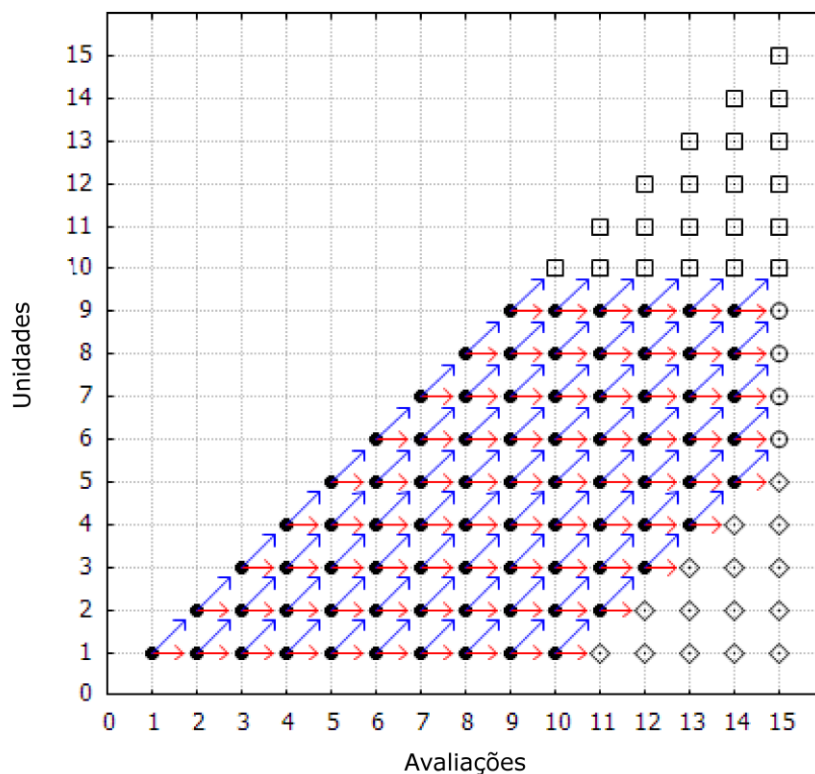


Figura 9: O esquema de avaliações de um curso Keller com $N_u = 9$, $N_c = 5$ e $N_a = 14$. No eixo horizontal, definimos um número para cada oportunidade de avaliação, ao passo que no eixo vertical definimos um número para cada unidade de conteúdo. Os pontos indicados por círculos escuros significam possíveis situações reais de avaliação. Os pontos indicados por quadrados, diamantes e círculos significam situações virtuais.

Na Figura 9, as setas horizontais (vermelhas) representam a propagação - mediada pelos coeficientes α - do número de estudantes que falharam uma dada avaliação, ao passo que as setas diagonais (azuis) representam a propagação - mediada pelos coeficientes β - do número de estudantes que obtêm sucesso. Os pontos indicados por círculos escuros significam possíveis situações reais de avaliação, ao passo que os pontos indicados por quadrados, diamantes e círculos são pontos virtuais, que significam que não existem avaliações reais relacionadas a estes pontos. Estes pontos virtuais estão inseridos porque eles serão úteis (ver Seção 2.2) na análise da evolução temporal do número de estudantes em cada unidade: aqueles que já concluíram todas as unidades N_u reais irão “ocupar” unidades virtuais (quadrados); aqueles estudantes que não concluíram o número mínimo de unidades N_c irão ocupar os pontos diamantes; e

aqueles que concluíram entre N_u e N_c unidades ocuparão os pontos círculos. Isto pode ser ilustrado através dos seguintes exemplos: (i) estudantes no ponto (14,9) que passam esta avaliação completam todas as unidades, não tendo mais avaliações para passar, alcançando o ponto “virtual” (15,10); (ii) aqueles no ponto (14,9) e que não passam esta avaliação vão para o ponto virtual (15,9); (iii) e aqueles no ponto (14,5) e que passam esta avaliação alcançam o ponto “virtual” (15,6).

De acordo com KELLER (1968), o instrutor tem as seguintes responsabilidades: (a) “a seleção de todo o material de estudo usado no curso”; (b) “a organização e o modo de apresentação deste material”; (c) “a construção de testes e exames”; (d) “a avaliação final do progresso de cada estudante”; (e) “oferecer palestras, demonstrações e oportunidades de discussão...”. Os monitores avaliam rapidamente testes como satisfatórios ou não satisfatórios (KELLER, 1968). Aqui estamos interessados em estimar a carga de trabalho do plano Keller com avaliações, assim como estamos interessados no tempo gasto com as atividades descritas nos itens (c) e (d), e também com o tempo gasto pelos monitores.

A carga de trabalho total W com avaliações de um curso Keller é escrita como

$$W = U + V \quad (4)$$

onde U é a carga de trabalho relacionada com as avaliações das unidades de conteúdo, ao passo que V é a carga de trabalho relacionada com os exames finais. As cargas de trabalho U e V podem ser dadas por

$$U = \sum_{i=1}^{N_a} U_i, \quad V = \sum_{i=1}^{N_e} V_i \quad (5)$$

onde U_i é a carga de trabalho relacionada com as avaliações na i -ésima oportunidade, e V_i é a carga de trabalho relacionada com a i -ésima avaliação final. Vamos considerar os seguintes valores: $\tilde{\tau}_{(i,j)}$ é o tempo gasto com a elaboração da avaliação relacionada com a unidade j , executada na i -ésima oportunidade de avaliação; $\tau_{(i,j;k)}$ é o tempo gasto com a correção (e feedback) de uma avaliação relacionada ao k -ésimo estudante executando a j -ésima unidade na oportunidade de avaliação número i ; $\tilde{t}_{(i)}$ é o tempo gasto com a elaboração do i -ésimo exame final; $t_{(i;k)}$ é o tempo gasto

com a correção (e feedback) relacionado com o i -ésimo exame final do k -ésimo estudante.

Temos que

$$U_i = \sum_{j=1}^{\mathcal{F}(i)} \left[\left(\sum_{k=1}^{N_s} \tau_{(i,j;k)} \right) + \tilde{\tau}_{(i,j)} \right], \quad (6)$$

onde $\mathcal{F}(i) = i$ se $i \leq N_u$, e $\mathcal{F}(i) = N_u$, se $i > N_u$.

A carga de trabalho com o i -ésimo exame final é dada por

$$V_i = \left(\sum_{k=1}^{N_s} t_{(i;k)} \right) + \tilde{t}_{(i)}. \quad (7)$$

Usando as equações (6) e (7) em (4), temos uma fórmula exata para a carga de trabalho total com avaliações, dando conta de um possível curso Keller bastante geral ou variações dele.

2.2 Modelos aproximados e aplicações

Daqui em diante, vamos nos concentrar em ter um comportamento médio aproximado de um curso baseado no plano Keller. Em seguida, apresentamos algumas aproximações (marcadas com números romanos), com a intenção de gerar um modelo mais tratável para uma descrição geral deste sistema. Nossa aproximação considera que: (i) não existe abandono do curso, assim, que o número N_s de estudantes será sempre o mesmo a qualquer momento; (ii) todos os estudantes usam todas as oportunidades de avaliação disponíveis; (iii) em cada oportunidade, um dado estudante tenta passar em apenas uma das N_u unidades de conteúdo; (iv) $\tilde{\tau}_{(i,j)} = \tilde{\tau}$; (v) $\tau_{(i,j;k)} \approx \tau$; (vi) $\tilde{t}_{(i)} \approx \tilde{t}$. Considerando estas aproximações, podemos escrever:

$$\alpha_{(i,j)} + \beta_{(i,j)} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^{N_s} \tau_{(i,j;k)} \approx N_{(i,j)} \tau, \quad (9)$$

$$\tilde{\tau}_{(i,j)} \approx \theta(N_{(i,j)}) \tilde{\tau} \quad (10)$$

onde $N_{(i,j)}$ é o número de estudantes na posição (i,j) , e $\theta(N_{(i,j)}) = 1$ se $N_{(i,j)} > 0$ e zero em outros casos. A função degrau θ é usada aqui para indicar que o tempo gasto com a elaboração de uma avaliação (para uma dada unidade) só deve ser considerado se existir um número de estudantes diferente de zero na posição (i,j) .

A partir de agora, iremos considerar o modelo aproximado onde

$$\alpha_{(i,j)} = \alpha, \beta_{(i,j)} = \beta \quad (11)$$

com α e β constantes. Usando estes nas equações (1), (2) e (3) temos que $N_{(2,1)} = \alpha N_s$, $N_{(2,2)} = \beta N_s$, $N_{(3,1)} = \alpha^2 N_s$, $N_{(3,2)} = 2\alpha\beta N_s$, $N_{(3,3)} = \beta^2 N_s$, e assim por diante, de modo que os coeficientes para $N_{(2,j)}$ estão relacionados a $(\alpha + \beta)^{2-1}$, e os para $N_{(3,j)}$ estão relacionados a $(\alpha + \beta)^{3-1}$, e para $N_{(i,j)}$ estão relacionados a $(\alpha + \beta)^{i-1}$. Usando os coeficientes binomiais, obtemos

$$N_{(i,j)} = \frac{(i-1)! \alpha^{i-j} \beta^{j-1}}{(j-1)! (i-j)!} N_s. \quad (12)$$

Para $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, temos a evolução temporal (dado em termos de um número de avaliações já concluídas) da classe como mostrado na Figura 10, a qual exhibe as situações da classe após as 4ª, 9ª, 14ª e 19ª avaliações. Por exemplo, depois de 4 avaliações (linha azul com pontos indicados por diamantes), a situação é descrita por $N_{(5,j)}/N_s$, e a figura mostra que $N_{(5,1)}/N_s \approx 6\%$ dos estudantes precisam refazer a avaliação da 1ª unidade, ao passo que $N_{(5,2)}/N_s \approx 25\%$ estão aptos para fazer a avaliação da 2ª unidade, $N_{(5,3)}/N_s \approx 38\%$ estão aptos para fazer a avaliação da 3ª unidade, $N_{(5,4)}/N_s \approx 25\%$ estão aptos para a avaliação da 4ª unidade e $N_{(5,5)}/N_s \approx 6\%$ estão aptos para fazer a avaliação da 5ª unidade. A linha vermelha (com pontos indicados por quadrados) mostra que depois da 9ª avaliação e para $N_u = 9$, dentre outros resultados, $N_{(10,9)}/N_s \approx 1,8\%$ dos estudantes estão aptos para fazer a avaliação da última 9ª unidade e $N_{(10,10)}/N_s \approx 0,2\%$ estão na unidade 10 “virtual”, o que significa que estes estudantes já demonstraram domínio em todas as 9 unidades. A linha roxa (com pontos indicado por cruces) mostra, após a 19ª avaliação e para $N_u = 9$, dentre outros resultados, que a soma sobre as unidades virtuais $\sum_{j=10}^{20} N_{(20,j)}/N_s \approx 67,6\%$, dá a parte dos estudantes que já mostraram maestria em

todas as $N_u = 9$ unidades de conteúdo. As linhas azul (diamante), vermelha (quadrados), verde (triângulos) e roxa (cruzes) exibem o comportamento de um “pacote de onda” propagando-se da esquerda para a direita na Figura 10. Para outros valores de α e β , temos o mesmo comportamento, mas com o crescimento de β (torna-se mais fácil passar as avaliações) o pico do pacote de ondas propaga-se mais rapidamente, mostrando que os estudantes obtêm um progresso rápido (domínio) nas unidades de conteúdo.

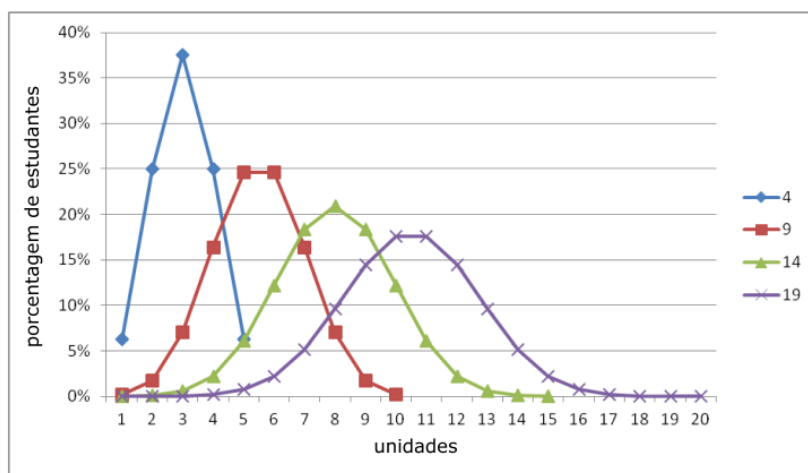


Figura 10: Para o caso de $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, o eixo horizontal dá o número de cada unidade de conteúdo, ao passo que o eixo vertical exibe a porcentagem de estudantes ($N_{(i,j)}/N_s$) que estão aptos para fazer a avaliação correspondente a cada unidade. Depois de 4 avaliações, a situação descrita pela linha azul (diamantes), a qual mostra $N_{(5,j)}/N_s$ para $j = 1..5$; depois da 9ª avaliação, a linha vermelha (quadrados) mostra $N_{(10,j)}/N_s$ para $j = 1..10$; após a 14ª avaliação, $N_{(15,j)}/N_s$ para $j = 1..15$ é descrito pela linha verde (triângulos); e após a 19ª avaliação, a situação é descrita por $N_{(20,j)}/N_s$ para $j = 1..20$, a qual é indicada pela linha roxa (cruzes),

Na Figura 11, exibimos o comportamento de pacote de onda (diamantes na linha azul) encontrado na situação real (desconsiderando desistências) de um curso baseado no método Keller (ALVES, de SOUZA *et al.*, 2011). Na mesma figura, também mostramos a formação de pacotes de onda para $(\alpha, \beta) = (2/5, 3/5)$ (triângulos na linha verde) e $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$ (quadrados na linha vermelha), reforçando que a aproximação adotada aqui, apesar das limitações, é apta a descrever a característica essencial da evolução temporal da distribuição dos estudantes por unidade de conteúdo no esquema Keller.

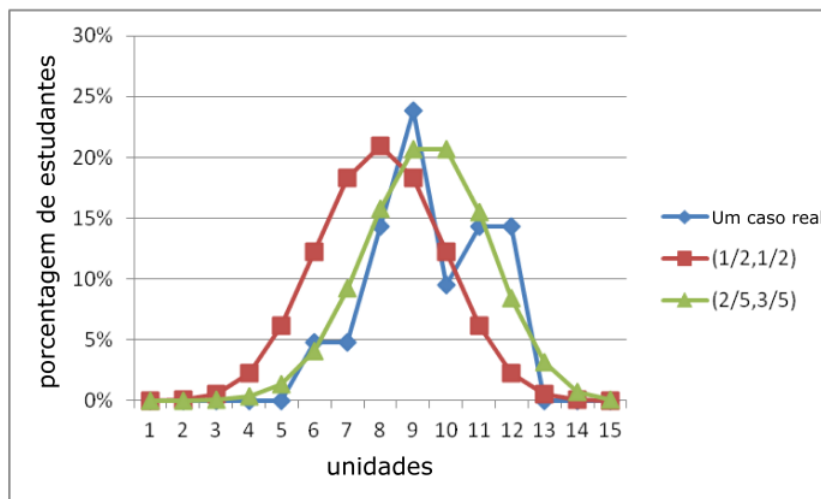


Figura 11: O eixo horizontal mostra o número de cada unidade de conteúdo, ao passo que o eixo vertical exibe a porcentagem de estudantes $N_{(i,j)}/N_s$ que estão aptos para fazer a avaliação correspondente a cada unidade, após a 14ª avaliação, para os casos: $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$ (quadrados na linha vermelha); $(\alpha, \beta) = (2/5, 3/5)$ (triângulos na linha verde); e um caso real (ALVES, de SOUZA et al., 2011) (diamantes na linha azul).

Para investigar a produção da distribuição de notas, que é invertida em cursos Keller (KELLER, 1968), vamos considerar a hipótese de que com o aumento do número de unidades de conteúdo nas quais o estudante mostra domínio, a probabilidade de alcançar a melhor nota final também aumenta. Então assumimos que o comportamento das notas finais é intrinsecamente relacionado ao nível de domínio alcançado pelos estudantes. Vamos considerar, por exemplo, o modelo descrito pela equação (12) com $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, e também $N_u = 9$ para as seguintes situações: quando $N_a = 9$, $N_a = 14$ e $N_a = 19$. Na Figura 12, observamos a distribuição de estudantes *versus* o número máximo de unidades de conteúdo para as quais eles obtiveram domínio ao final do curso. Por exemplo, os quadrados na linha vermelha mostram que para $N_a = 9$ temos uma distribuição de domínio no SPI a qual se assemelha a uma curva em formato de sino, típica de cursos tradicionais (GUSKEY, 1985). Interpretamos esta aproximação entre os resultados do domínio no SPI e cursos tradicionais como uma consequência de nossa escolha de um modelo teórico do esquema Keller com $N_a = N_u$, sendo a relação $N_a \approx N_u$ típica em cursos tradicionais (GUSKEY, 1985). Entretanto, em cursos SPI reais, $N_a > N_u$ e pode ser observado na Figura 12 que a distribuição de domínio sofre uma inversão a medida que N_a tornando-se maior que N_u . Para $N_a = 14$ (triângulos na linha verde), já se observa uma deformação na curva em forma de sino. Para $N_a = 19$ (cruzes na linha roxa), finalmente se observa uma inversão: uma transição de uma curva em forma de sino para uma curva exponencial, indicando que a maioria dos estudantes

obteve domínio em todas as $N_u = 9$ unidades. Então, assumindo que o comportamento das notas finais é relacionado ao nível de domínio alcançado pelos estudantes, uma inversão da curva de domínio pode ser mapeada diretamente em uma inversão de notas finais, o que corresponde ao efeito “cabeça para baixo” mencionado por Keller (KELLER, 1968, 2011). Mas, destacamos que o presente modelo revela que esta inversão não ocorre para qualquer valor de N_a , mas assim que o número N_a aumenta em comparação a N_u , também aumenta a possibilidade de surgir o mencionado efeito de inversão.

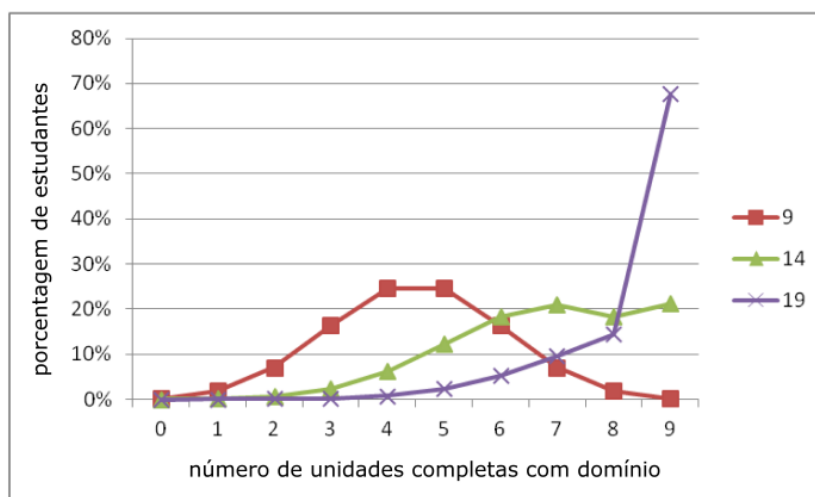


Figura 12: O eixo horizontal mostra o número de unidades completadas com domínio. O eixo vertical exibe a porcentagem de estudantes. Os casos considerados são definidos por $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, $N_u = 9$ e para os seguintes valores de N_a : para $N_a = 9$ (quadrados na linha vermelha); $N_a = 14$ (triângulos na linha verde); para $N_a = 19$ (cruzes na linha roxa).

Para quantificar a carga de trabalho com cada avaliação no SPI, relativo a carga de trabalho de cada avaliação do esquema tradicional, iniciamos por enfatizar que o valor de U_1 (ver equação (5)) correspondente a carga de trabalho da avaliação na primeira oportunidade quando, em nosso modelo aproximado, todos os estudantes estão fazendo uma avaliação para a mesma unidade de conteúdo. No SPI esta primeira avaliação é a mais similar àquelas encontradas em regimes tradicionais. Então, considerando que a carga de trabalho médio por avaliação no esquema tradicional (rotulado como U_{trad}) é

$$U_{trad} \approx U_1 \quad (13)$$

este valor serve como uma base para a construção da carga de trabalho relativo $U_i/U_{trad} \approx U_i/U_1$. Considerando a aproximação adicional, realizada para fins de cálculo,

$$\tau = \tilde{\tau}, \quad (14)$$

podemos escrever $U_1 = (N_{(1,1)} + 1)\tau \approx U_{trad}$, e obtemos o resultado mostrado na Figura 13, a qual mostra que a carga de trabalho relativa aumenta, chegando a um ponto máximo na N_u -ésima avaliação, e começa a decrescer, tornando-se menor que U_{trad} .

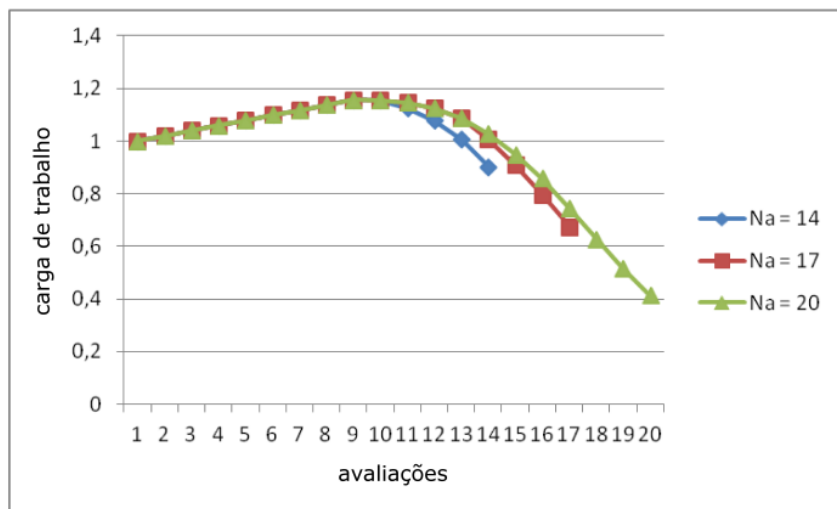


Figura 13: A carga de trabalho relativa U_i/U_1 (eixo vertical) versus número de avaliações (eixo horizontal), para o caso $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, $N_u = 9$ e $N_c = 5$: para $N_a = 14$ (diamantes na linha azul); para $N_a = 17$ (quadrados na linha vermelha); para $N_a = 20$ (triângulos na linha verde).

A carga de trabalho total mínima com avaliações em um curso Keller, neste modelo aproximado, vai ocorrer quando todos os estudantes passam cada avaliação, então que $N_{(i,j)} = \delta_{(i,j)}N_s$, para $i < N_u$ e zero em caso contrário (δ é o Delta de Kronecker). O máximo da carga de trabalho total irá ocorrer quando cada estudante usa o conjunto completo de N_a avaliações disponíveis ou, em outras palavras, N_s é completamente distribuído nos pontos indicados por círculos escuros na Figura 9. Na Figura 14, considerando $N_u = 9$, $N_c = 5$ e $N_e = 1$, é mostrada a carga de trabalho relativa total W/U_1 para alguns casos. Por exemplo, para $N_a = 20$ e $(\alpha, \beta) = (3/5, 2/5)$, temos $W \approx 22 \times U_1$. Se considerarmos um esquema tradicional típico com a carga de trabalho

$$W_{trad} = 4 \times U_{trad}, \quad (15)$$

então temos $W \approx 5,5 \times W_{trad}$. Considerando os valores máximo e mínimo mostrados na Figura 14, temos, para este caso $2,5 \leq W/W_{trad} \leq 5,8$, que mostra que nosso modelo está em acordo com EYRE (2007) e SILBERMAN (1978) quando aponta para uma carga de trabalho consideravelmente maior ao executar avaliações no SPI em comparação aos cursos tradicionais.

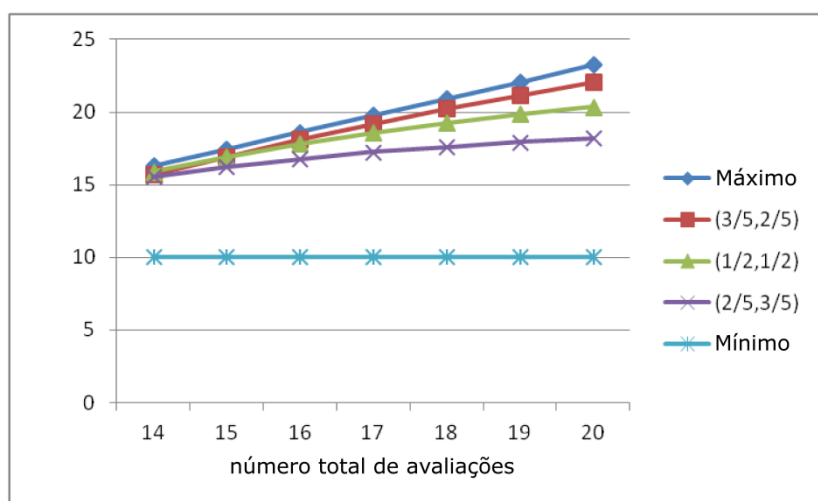


Figura 14: A carga de trabalho relativa total W/U_1 (eixo vertical) versus o número de avaliações (eixo horizontal), para o caso com $N_u = 9$ e $N_c = 5$. O comportamento da carga do máximo da carga de trabalho relativa total $W_{máx}/U_1$ é dado pelos diamantes na linha azul, ao passo que o mínimo é dado pela linha horizontal ciano. As curvas intermediárias são: para $(\alpha, \beta) = (3/5, 2/5)$, os quadrados na linha vermelha; para $(\alpha, \beta) = (1/2, 1/2)$, os triângulos na linha verde; $(\alpha, \beta) = (2/5, 3/5)$, as cruzeiros na linha roxa.

Embora no parágrafo acima tenha sido mostrado números para a razão W/W_{trad} , estes valores são limitados pelas aproximações, especificamente equações (14) e (15). Apenas trocando a aproximação (13) por $U_{trad} \approx \gamma U_1$, onde o fator $\gamma < 1$ pode ser introduzido levando em consideração que o tempo τ que aparece em U_1 é relacionado a correção de uma avaliação de um dado estudante e dando a ele o correspondente feedback, que no esquema SPI original é feito pelos tutores (monitores) (KELLER, 1968). Se computarmos em τ , em adição ao tempo gasto pelo monitor com estas atividades, o tempo gasto pelo instrutor para encontrar, treinar e supervisionar monitores, vamos encontrar a presença do fator γ mencionado, o qual pode aumentar a razão W/W_{trad} , reforçando a ideia que esta onerosa carga de trabalho pode ser decisiva para desistência “em favor de métodos mais tradicionais” (EYRE, 2007).

2.3 Comentários

O modelo matemático proposto aqui, especificamente na Seção 2.1, pode descrever um curso SPI bastante geral. Então, por exemplo, se alguém pretende investigar o comportamento de um curso no qual passar em uma avaliação da 2ª unidade é mais difícil do que passar na avaliação da 1ª unidade, é possível definir valores para $\beta_{(i,1)}$ e $\beta_{(i,2)}$ de modo que $\beta_{(i,1)} > \beta_{(i,2)}$ e então construir as relações (1) a (3) para este caso, os quais, usados nas fórmulas (4) a (7), permitem a estimativa da evolução temporal da distribuição de estudantes por unidade de conteúdo, as condições para inversão da nota e a quantidade de carga de trabalho com avaliações. Assim, acreditamos que este modelo geral pode ser útil para aqueles que estão planejando ou investigando um curso Keller. Por outro lado, as aproximações consideradas na Seção 2.2 simplificam a visualização de vários aspectos interessantes dos cursos SPI, conforme sumarizado a seguir.

A distribuição de estudantes por unidade de conteúdo propaga-se como um pacote de ondas, sendo mais rápida para maiores valores médios dos coeficientes β . A inversão da distribuição de notas (quando a maioria dos estudantes alcançam as maiores notas) observada por Keller, também foi predita pelo modelo discutido aqui. Adicionalmente, o presente modelo também mostra que esta inversão pode não ocorrer se o número de avaliações não for suficientemente maior que o número de unidades de conteúdo. Esta informação pode ser levada em consideração por aqueles que querem planejar o número apropriado de avaliações de um curso Keller, para um dado padrão dos parâmetros α e β e objetivos de notas definidos (domínio).

O modelo discutido aqui mostra que a carga de trabalho por avaliação no SPI tende a aumentar até o número de avaliações ser igual ao número de unidades de conteúdo, diminuindo após, tornando-se menor que o do esquema tradicional. A soma da carga de trabalho com cada avaliação dá a carga de trabalho total no SPI, o qual é, usualmente, várias vezes maior que a carga de trabalho total com avaliações em cursos tradicionais. O modelo permite estimar este aumento, reforçando a ideia de que a carga de trabalho requerida para a aplicação do SPI pode ter sido um fator determinante no declínio de sua aplicação.

3 SOBRE A REDUÇÃO DA CARGA NA MEMÓRIA VISUAL DURANTE O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

3.1 Limitações da Memória de Trabalho Visual

Existem diversas pesquisas cujos resultados colaboram para a compreensão de como o componente visual da memória de trabalho lida com as informações. Veremos aqui algumas dessas pesquisas.

PASHLER (1988) e LUCK e VOGEL (1997) também encontraram resultados de que a memória de trabalho visual (MTV) pode armazenar aproximadamente quatro objetos. Especificamente, LUCK e VOGEL realizaram pesquisa utilizando Tarefa de Detecção de Mudança (ver Figura 15) com tempos de exibição dos arranjos (modelo e teste) de 100 ou 500 ms e utilizando 1, 2, 3, 4, 8 ou 12 objetos nos arranjos. O intervalo vazio durou 900 ms. Em metade das apresentações os arranjos modelo e teste eram idênticos, enquanto que na outra metade diferiam em relação a um dos objetos visuais.

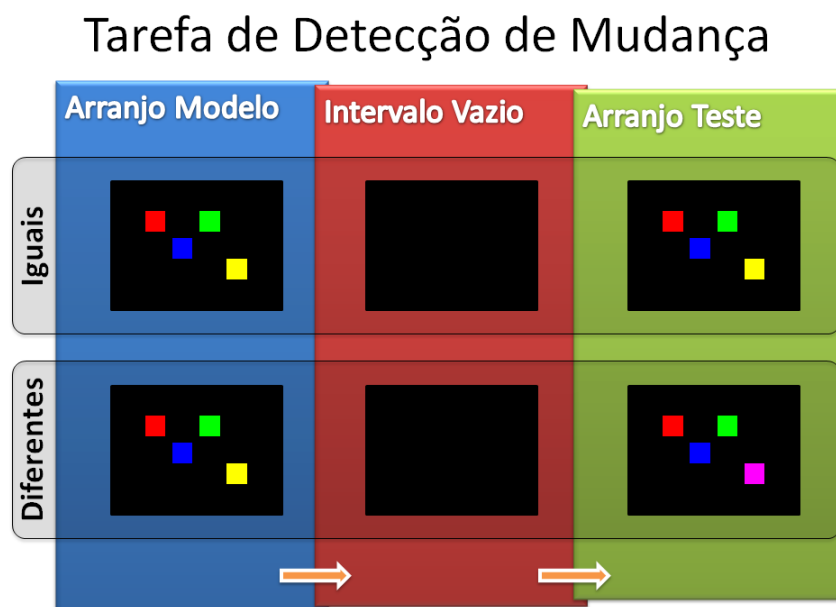


Figura 15: Representação esquemática da Tarefa de Detecção de Mudança com quadrados coloridos. Inicialmente é exibido por um tempo determinado um conjunto de objetos visuais, sendo essa primeira exibição chamada de *arranjo modelo*. Em seguida, a tela permanece por certo tempo sem estímulos visuais, o *intervalo vazio*. Por fim, é exibido por um tempo determinado, um segundo conjunto de objetos visuais, o *arranjo teste* nas mesmas posições que no arranjo anterior. Os arranjos modelo e teste podem diferir entre si em relação a um dos objetos visuais, sendo requerido ao participante que informe se estes arranjos eram idênticos ou não. A variável coletada nesse tipo de tarefa é o acerto na identificação da igualdade dos arranjos. Os tempos de exibição dos arranjos, do intervalo vazio, as características visuais e a quantidade de objetos exibidos nos arranjos são definidos de acordo com os objetivos de pesquisa, sendo que, no

trabalho de Luck e Vogel, foram utilizados os tempos de exibição de 100 ms ou 500 ms para os arranjos modelo e teste e 900 ms para o intervalo vazio. Os arranjos continham de 1 a 12 quadrados coloridos.

No trabalho de LUCK e VOGEL (1997), os objetos poderiam ter as seguintes características visuais: (a) somente uma característica simples (quadrados coloridos); (b) duas características em conjunção (cor e orientação); ou (c) quatro características em conjunção (cor, tamanho, orientação e presença ou não de uma lacuna central). O participante deveria apenas relatar se os dois arranjos visualizados, modelo e teste, eram idênticos ou não. Em todas as três condições, o desempenho dos participantes teve uma queda significativa quando os arranjos apresentavam mais do que quatro objetos (ver Figura 16), independentemente da quantidade de características dos objetos visuais. Para os autores, esses resultados indicaram que “a Memória de Trabalho Visual armazena objetos integrados ao invés de características individuais” (p. 279).

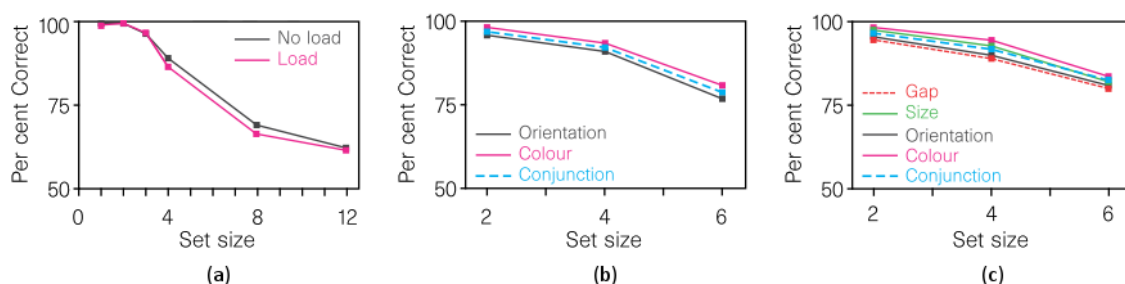


Figura 16: Gráficos encontrados no artigo de LUCK e VOGEL (1997), mostrando a média do desempenho dos participantes (*per cent correct*) versus o número de objetos nos arranjos modelo e teste (*set size*) em três configurações de exibição dos objetos visuais nos arranjos: (a) objetos com uma única característica visual: cor. (b) objetos com duas características visuais: cor e orientação. (c) objetos com quatro características visuais: cor, tamanho, orientação e presença ou não de uma lacuna central.

Uma explicação alternativa ao resultado da pesquisa de LUCK e VOGEL seria de que algumas características individuais dos objetos podem ser armazenadas em paralelo em estruturas específicas da memória. Caso estas estruturas tivessem suas próprias capacidades independentes, estes mecanismos de memória poderiam resultar na duplicação ou quadruplicação de armazenamento de características, tal como observado por LUCK e VOGEL, mas sem haver, necessariamente, o armazenamento de objetos integrados. LUCK e VOGEL (1997) testaram essa possibilidade utilizando quadrados com duas cores, obtendo o mesmo desempenho das situações anteriores. Desse modo, descartaram o armazenamento paralelo de características, considerando que os objetos visuais são armazenados de forma completa, independentemente da quantidade de características individuais dos mesmos.

WHEELER e TREISMAN (2002) não conseguiram reproduzir este último resultado de LUCK e VOGEL, sendo que as autoras utilizaram, nos quadrados bicoloridos, sete distribuições de cores, incluindo a utilizada por LUCK e VOGEL (ver Figura 17). A interpretação dada pelas autoras para o resultado encontrado foi que os limites de memória foram definidos pelo número total de características presentes, e não pelo número de objetos, ou seja, “características de dimensões diferentes são armazenadas em paralelo em suas próprias estruturas específicas, dentro das quais as características [de mesma dimensão]⁹ competem pela capacidade limitada” (p. 61).



Figura 17: Imagem encontrada no artigo de WHEELER e TREISMAN (2002), exibindo as distribuições de cores utilizadas nos quadrados bicoloridos da pesquisa. A distribuição 4 (destacada por nós com a caixa vermelha) foi a mesma utilizada na pesquisa de Luck e Vogel.

A discordância entre os resultados de LUCK e VOGEL e de WHEELER e TREISMAN pode ser melhor compreendida levando em consideração o resultado da pesquisa de WOLFE, FRIEDMANHILL *et al.* (1994). Estes pesquisadores utilizaram a *Tarefa de Busca Visual*¹⁰ para medir a *taxa de busca visual* (o tempo necessário para localização de um objeto específico entre um conjunto de objetos) para a localização de diversos tipos de distribuição de cores e formas geométricas. Seus resultados mostraram que o modo como cores são distribuídas dentro de um objeto visual tem impacto nessa taxa de busca visual. Por exemplo, objetos que podem ser descritos como *um todo de uma cor com uma parte central de outra cor* são mais facilmente localizados do que objetos que podem ser descritos como *duas metades de cores diferentes*. Os quadrados de duas cores utilizados por LUCK e VOGEL se encaixam na primeira descrição: um todo de uma cor com uma parte central de outra cor (ver Figura 17). Desse modo, o resultado observado por LUCK e VOGEL para quadrados bi-coloridos pode ter sido

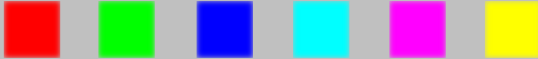

⁹ Inserção nossa para tornar mais claro o significado da frase.

¹⁰ A Tarefa de Busca Visual consiste na apresentação de um objeto visual, chamado *estímulo alvo*, durante certo tempo de exibição. Após um intervalo sem estímulos visuais, é apresentado um conjunto de estímulos visuais (geralmente de mesmo tipo), dentre os quais está o estímulo alvo mostrado anteriormente, sendo os outros objetos chamados *distratores*. O participante deve localizar o estímulo alvo em meio aos distratores e apontar a sua localização. As variáveis coletadas nesse tipo de tarefa são o acerto - apontar o estímulo alvo corretamente - e o tempo de resposta - o tempo decorrido desde a apresentação do conjunto de objetos até a localização do estímulo alvo -, sendo que esta última variável dá a taxa de busca visual.

influenciado pela distribuição de cores utilizada na pesquisa devido a esta ser uma distribuição “privilegiada”.

Outras pesquisas também têm usado a taxa de busca visual (ver, por exemplo: (ALVAREZ e CAVANAGH, 2004; ENG, CHEN *et al.*, 2005)), mas como uma medida direta da complexidade visual ou da carga de informação de objetos. Desse modo, a diferença nas taxas de busca visual para os diversos tipos de distribuição de duas cores dentro de objetos visuais, encontrada por WOLFE, FRIEDMANHILL *et al.* (1994), mostra que estas distribuições trazem diferentes cargas de informação, o que não pode ser explicado apenas pelo uso de duas cores. Entendemos que as formas geométricas criadas a partir das possíveis distribuições destas duas cores nos objetos visuais (ver Figura 17) também têm suas cargas de informação específicas, o que explica as diferentes taxas de busca visual.

Pesquisas recentes têm mostrado que a variação na complexidade visual dos objetos tem impacto na capacidade da MTV. ALVAREZ e CAVANAGH (2004) realizaram pesquisa utilizando diversos tipos de estímulos visuais exibidos durante o tempo de 500 ms: quadrados coloridos, letras, caracteres chineses, polígonos aleatórios, cubos com sombra e desenhos de linha do conjunto de SNODGRASS e VANDERWART (1980). ALVAREZ e CAVANAGH (2004) utilizaram a taxa de busca visual para definir a carga de informação de cada tipo de estímulo visual, sendo encontradas as taxas de 11 ms/item para os quadrados coloridos e até 127 ms/item para os cubos sombreados. A capacidade da MTV foi estimada através de Tarefa de Detecção de Mudança sendo obtidos os limites descritos na Tabela 1, relativos ao número de objetos de cada tipo de estímulo:

Tipo de estímulo	Exemplos de objetos	Número estimado de objetos
Quadrados coloridos		4,4
Letras	A E H K N R	3,7
Caracteres chineses	𠄎 厶 勺 万 禾 牛	2,8
Desenhos de linha		2,6



Polígonos aleatórios		2,0
Cubos com sombra		1,6

Tabela 1: Tabela construída a partir de imagens encontradas no artigo de ALVAREZ e CAVANAGH (2004), exibindo o limite da MTV, em número de objetos, para cada tipo de estímulo.

Desse modo, ALVAREZ e CAVANAGH concluem que a capacidade estimada da MTV não é constante entre os tipos de estímulo usados na referida pesquisa: quanto maior a carga de informação de uma classe de estímulos visuais, menos objetos desta classe podem ser mantidos na MTV.

ENG, CHEN e JIANG (2005) realizaram pesquisa semelhante, porém, com duas diferenças principais: utilizaram outras classes de estímulos visuais (quadrados coloridos, letras, polígonos, rabiscos, cubos e faces desconhecidas) e variaram o tempo de exibição dos estímulos (500 ms, 1000 ms e 3000 ms). Em parte, os resultados encontrados concordaram com os de ALVAREZ e CAVANAGH (2004), que a capacidade da MTV para uma determinada classe de objetos depende da complexidade visual desta classe, ou seja, “quanto mais pesada a carga de informação, menor é a capacidade da Memória de Trabalho Visual” (p. 1132). Entretanto, a variação do tempo de exposição dos objetos visuais mostrou que essa correlação entre a carga de informação e a capacidade da MTV é alta quando os tempos de exibição dos objetos visuais são curtos, mas diminui à medida que os tempos de exibição aumentam.

Desse modo, entendemos que escolher apenas uma das diversas possíveis distribuições de cores em quadrados bi-coloridos (como fizeram LUCK e VOGEL), sem levar em consideração a carga de informação relativa a esta distribuição, pode levar a uma interpretação equivocada de que apenas a duplicação das cores não exerceu influência na capacidade da MTV. Por outro lado, escolher diversas distribuições de cores (como fizeram WHEELER e TREISMAN) permite a comparação entre as possíveis capacidades para cada uma delas, isto se as diferenças entre as cargas de informação dessas distribuições forem suficientemente grandes para alterar a capacidade da MTV, uma vez que esta capacidade é medida em número de objetos. Uma forma de fazer frente a esta questão é não utilizar distribuições de cores que acarretem em formas geométricas dentro dos objetos visuais, o que entendemos só ser

possível se as referidas cores não estiverem visíveis simultaneamente nos objetos visuais, ou seja, se os objetos visuais mudarem de cor durante a sua exibição.

Os estudos relatados até aqui utilizaram objetos visuais que mantêm suas características durante todo o tempo de exibição nos arranjos, ou seja, apenas objetos visuais estáticos. No entanto, segundo SAIKI:

Nosso sistema visual lida com um mundo em mudanças, e é frequentemente interrompido por movimentos de olhos, piscadas e ocultações dos objetos. Assim, a cognição visual de eventos dinâmicos com múltiplos objetos necessita de interpolação espaço-temporal de informações interrompidas. A memória de trabalho visual desempenha um papel crucial tanto na interpolação quanto na manutenção e transformação da representação do mundo externo (2003, p. 2107).

Ou seja, no cotidiano, precisamos lidar com estímulos visuais que podem mudar de posição ou mudar de características visuais, tais como cor, tamanho, e forma, dentre outras. Desse modo, a análise da capacidade da MTV para objetos visuais dinâmicos torna-se relevante. Algumas pesquisas têm sido realizadas para objetos visuais que mudam de posição durante o tempo de exibição (ver, por exemplo: (SAIKI, 2003; KAWASAKI, WATANABE *et al.*, 2005)), tendo como principal resultado a queda de desempenho do participante na detecção de mudança de objetos visuais em movimento. No entanto, até onde sabemos, não existem trabalhos que lidem com objetos fixos no espaço, mas cujas características visuais mudam no tempo.

Nesse contexto, investigamos a capacidade da MTV para objetos cujas características visuais mudam com o tempo, especificamente, quadrados coloridos que mudam para outra cor durante sua exibição.

3.2 Metodologia

3.2.1 Sujeitos

Participaram desta pesquisa dez estudantes do curso de graduação em Física da Universidade Federal do Pará, todos com visão em cores normal. Os participantes receberam pagamento pela participação e um pagamento adicional referente ao desempenho alcançado durante a pesquisa. Cada participante escolheu três horários de sua conveniência para a participação. Todos participantes assinaram um termos de consentimento, afirmando a sua concordância na participação na pesquisa (Anexo D), e

uma declarações de que dariam total atenção à pesquisa durante a sua participação (Anexo A).

3.2.2 Materiais

Foi utilizado o Teste de Ishihara, através do programa *Color Blindness Test* (EnChroma, 2013) executado em um *tablet*, para verificação da normalidade da visão em cores de cada sujeito, uma vez que seria necessário reconhecer e diferenciar diversas cores durante a participação na pesquisa.

Foi utilizada uma interface gráfica, construída especificamente para esta pesquisa, a qual tinha como finalidade a execução da Tarefa de Detecção de Mudança e a coleta de dados durante sua execução. A interface mostrava, inicialmente, uma mensagem informando aos participantes que eles deveriam observar nos objetos visuais mudanças de cor (Figura 18-a). Após o pressionamento da barra de espaços do teclado, foi exibida uma tela de preparação para a visualização dos arranjos de objetos visuais (Figura 18-b), na qual o participante deveria fixar o olhar na tela e pressionar a barra de espaços novamente. Um segundo após o pressionamento da barra de espaços, era exibido o *arranjo modelo* (Figura 18-c). Nele, os objetos visuais foram exibidos durante os tempos de 100 ms ou 500 ms, dependendo da seção da pesquisa que estava sendo executada (descritas na seção seguinte). Após a exibição do arranjo modelo, a tela ficava sem estímulos visuais (*intervalo vazio*) durante o tempo de 900 ms (Figura 18-d). Ao final do intervalo vazio, foi exibido o *arranjo teste* (Figura 18-e) durante o mesmo tempo e com os objetos exibidos nas mesmas posições em que foram exibidos os objetos do arranjo modelo. Ao final da exibição do arranjo teste, o participante deveria responder se os arranjos modelo e teste eram ou não idênticos ou declarar que não sabia a resposta (Figura 18-f), não havendo tempo limite para a escolha de uma resposta. Esta sequência de telas, desde a mensagem de abertura até a escolha da resposta, foi definida como uma *tentativa* do participante.

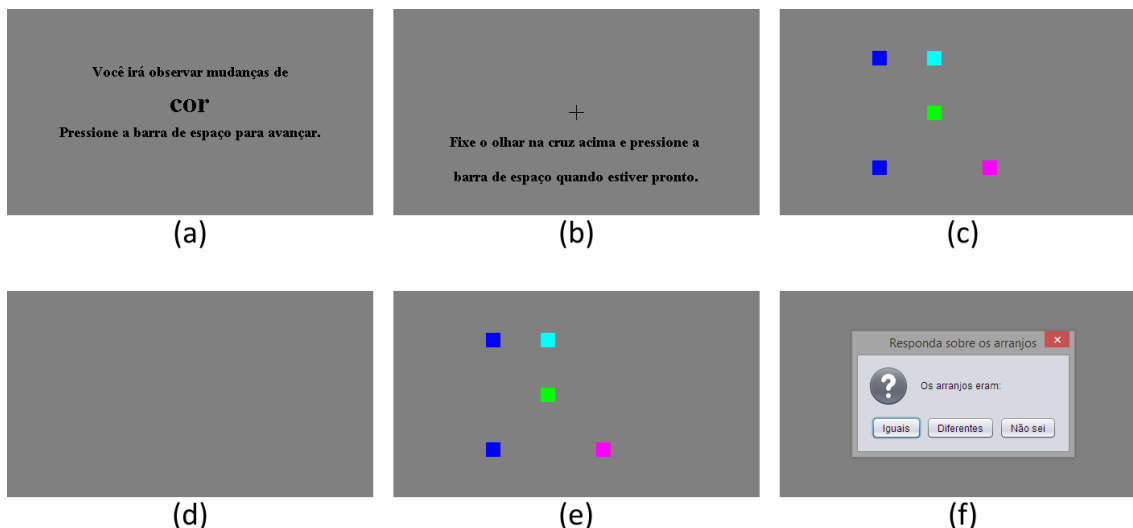


Figura 18: (a) Mensagem de abertura de cada tentativa. (b) Tela de preparação antes da exibição dos arranjos. (c) Exibição do arranjo modelo. (d) Intervalo vazio entre os arranjos modelo e teste. (e) Exibição do arranjo teste. (f) Pergunta ao final de cada tentativa.

A alternativa de resposta “não sei” foi inserida para que o participante evitasse acertos ao acaso, sendo utilizada, por exemplo, para o caso do participante não ter visualizado um dos arranjos por distração.

Além de objetos que mantinham a cor durante toda a exibição nos arranjo modelo ou arranjo teste (*objetos estáticos*), foram utilizados também objetos que variavam de uma cor inicial até uma cor final (*objetos dinâmicos*) durante o tempo em que eram exibidos. Estes objetos dinâmicos permitiram a exibição de duas cores nos objetos visuais sem, contudo, ser gerada uma forma geométrica adicional devido à distribuição destas cores no quadrado. Além disso, a transição gradual entre as cores permitiu que a percepção de objeto visual permanecesse íntegra durante a sua exibição, evitando assim que as mudanças de cores fossem interpretadas como a exibição de dois objetos diferentes ao invés de um único objeto. A cor inicial do objeto dinâmico ficava visível nos arranjos modelo e teste durante o tempo de 125 ms seguida da transição gradual entre a cor inicial e a cor final durante 250 ms, terminando com a exibição da cor final durante 125 ms (Figura 19). Estas exibições mais prolongadas das cores inicial e final foram utilizadas para garantir uma visualização destas cores por um tempo suficiente para sua percepção. Se, no arranjo modelo, fossem exibidos objetos estáticos, o arranjo teste também exibiria objetos estáticos. Se, por outro lado, fossem exibidos objetos dinâmicos no arranjo modelo, o arranjo teste também exibiria objetos

dinâmicos. As exibições nos arranjos foram feitas com objetos de apenas uma natureza (apenas objetos estáticos ou apenas objetos dinâmicos).

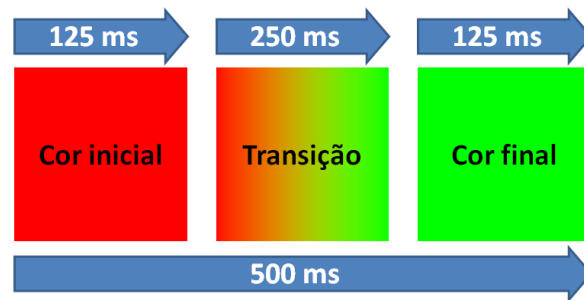


Figura 19: Esquema da transição entre a cor inicial e a cor final nos objetos visuais dinâmicos.

Foram utilizadas as cores preto, branco, vermelho, verde, azul, amarelo, ciano e magenta nos objetos visuais, sendo que estes sempre tiveram a forma de quadrados com $0,65^\circ$ de lado. Estes objetos foram exibidos nas células de uma matriz de 3 linhas e 4 colunas com uma separação angular de 2° centro a centro. Esta matriz de exibição dos objetos possuía dimensões de $9,8^\circ$ de largura por $7,3^\circ$ de altura, centralizada na tela. Foi escolhida a cor cinza como cor de fundo da interface para permitir a visualização das cores do objeto.

A medida do tamanho angular ou abertura visual (Figura 20) foi usada para garantir que os objetos apresentassem sempre dimensão visual constante, independentemente da distância do participante à tela.

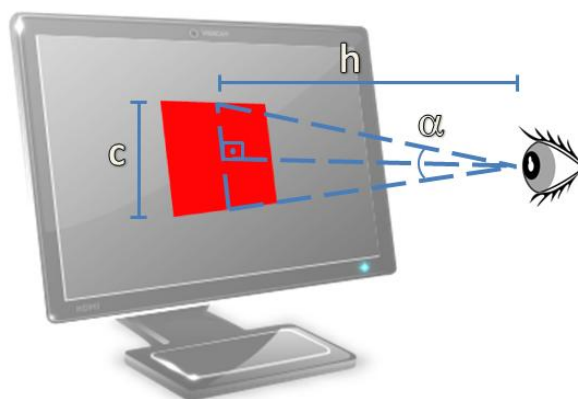


Figura 20: Medida das dimensões dos objetos na tela através de abertura visual, utilizada para garantir que as dimensões visuais dos objetos se mantivessem constantes independentemente da distância do participante à tela.

O tamanho linear dos objetos na tela pôde ser calculado a partir da equação $c = 2h \cdot \tan(\alpha/2)$, onde c é o tamanho linear do objeto na tela, h é a distância do participante até a tela, e α a abertura visual do objeto. Se a distância entre o participante e a tela fosse de 60 cm, por exemplo, a matriz de exibição dos objetos visuais teria 10,29 cm de largura por 7,65 cm de altura, enquanto que os objetos em si teriam 0,68 cm de lado, com uma separação de 2,09 cm entre eles, centro a centro.

Os arranjos continham de 1 a 8 objetos. Cada um destes arranjos foi repetido 8 vezes em cada seção de participação, totalizando 64 tentativas por seção.

A interface gráfica gravou as seguintes informações em arquivos de monitoramento (Anexo B):

- Id do participante: gerado a partir do nome e da data e hora do início de cada seção;
- Tipo de objeto: se os objetos apresentavam somente uma cor (estático) ou duas cores variando no tempo (dinâmico);
- Tempo dos arranjos: se os objetos visuais foram exibidos durante 100 ms ou durante 500 ms;
- Tempo do intervalo vazio: foi definido o intervalo vazio de 900 ms para todos os casos;
- Informações de cada bloco de tentativas: as tentativas foram agrupadas de acordo com o número de objetos nos arranjos, o que definiu os blocos de tentativas:
 - Número de objetos do bloco: se o bloco possuía 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8 objetos sendo exibidos simultaneamente nos arranjos de cada tentativa;
 - Número de tentativas no bloco: foram utilizadas 8 tentativas em cada bloco;
 - Informações de cada tentativa: a igualdade dos arranjos, as cores e posições dos objetos e a resposta dos participantes variavam entre as tentativas de cada bloco, sendo registradas:
 - Igualdade dos arranjos: se os arranjos que foram exibidos eram iguais;
 - Resposta do participante: resposta do participante para a pergunta se os arranjos eram iguais (Figura 18-f);
 - Acerto da resposta: se o participante respondeu corretamente sobre a igualdade dos arranjos;
 - Cor de cada objeto exibido nos arranjos;
 - Posição de cada objeto exibido nos arranjos;

- Identificação de qual objeto no arranjo teste era diferente do objeto correspondente no arranjo modelo, caso os arranjos fossem diferentes.

As configurações da exibição dos objetos visuais foram lidas, pela interface, a partir de um arquivo (Anexo C) que continha as seguintes informações:

- Tempo dos arranjos modelo e teste;
- Tempo do intervalo vazio;
- Quantidade inicial de objetos nos arranjos;
- Quantidade final de objetos nos arranjos;
- Total de tentativas em cada bloco de configuração;
- Informações específicas dos blocos de configuração:
 - Parte da mensagem exibida ao participante (Figura 18-a);
 - Tipo de dinâmica dos objetos;
 - Tipo de objetos visuais (o qual foi somente um tipo nesta pesquisa: quadrados coloridos).

Foi utilizado o mesmo computador durante toda a pesquisa.

3.2.3 Procedimento

A participação dos sujeitos foi dividida em três seções, que entendemos não interferirem mutuamente por haver um intervalo mínimo de 30 minutos entre elas e por serem usados objetos visuais com cores aleatórias:

- Seção 1: objetos visuais estáticos (sem alteração da cor) exibidos nos arranjos durante 100 ms;
- Seção 2: objetos visuais estáticos (sem alteração da cor) exibidos nos arranjos durante 500 ms;
- Seção 3: objetos visuais dinâmicos (com alteração de uma cor inicial para uma cor final através de uma transição gradual) exibidos nos arranjos durante 500 ms.

Antes do início da Seção 1, os participantes assinaram o termo de consentimento e a declaração (Anexo D e Anexo A). Seguiu-se explicação aos participantes, individualmente, da forma de execução da Tarefa de Detecção de Mudança e a operação da interface gráfica. Também foi explicado aos participantes que deveriam ser evitados os acertos ao acaso, sendo que no caso de dúvida devido a não visualização de um dos arranjos, por exemplo, deveria ser escolhida a resposta “não sei” ao final da tentativa.

Nesta fase, os participantes já operaram a interface de modo a estarem habituados a ela no momento da coleta de dados.

Ao início de cada uma das três seções de participação, foi medida a distância do participante até o monitor. O valor medido foi inserido na interface antes do início da execução para que os objetos visuais fossem apresentados com o tamanho angular correto.

A análise dos dados foi feita com os dados registrados pela interface em três arquivos de *log* para cada sujeito (um arquivo para cada seção de participação), sendo descrita na Seção a seguir.

3.3 Análise de dados

A análise de dados foi executada sobre os dados coletados através da interface computacional. Estes dados consistiram, basicamente, da informação de acerto ou não dos participantes em cada tentativa das três seções, as quais foram:

- Seção 1: objetos estáticos (sem mudança de cor durante a visualização) exibidos durante 100 ms;
- Seção 2: objetos estáticos exibidos durante 500 ms;
- Seção 3: objetos dinâmicos (com mudança de cor durante a visualização) exibidos durante 500 ms;

Inicialmente, foram calculados os desempenhos dos participantes, em relação ao número de objetos dos arranjos, em cada uma das seções, conforme se vê na Figura 21, Figura 22 e Figura 23.

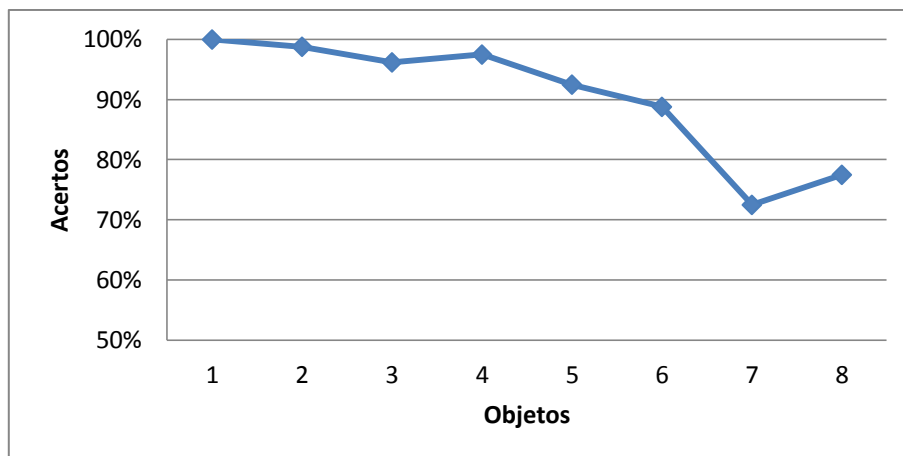


Figura 21: Gráfico do desempenho dos participantes (porcentagem de acertos) em relação ao número de objetos nos arranjos para objetos estáticos exibidos por 100 ms (seção 1).

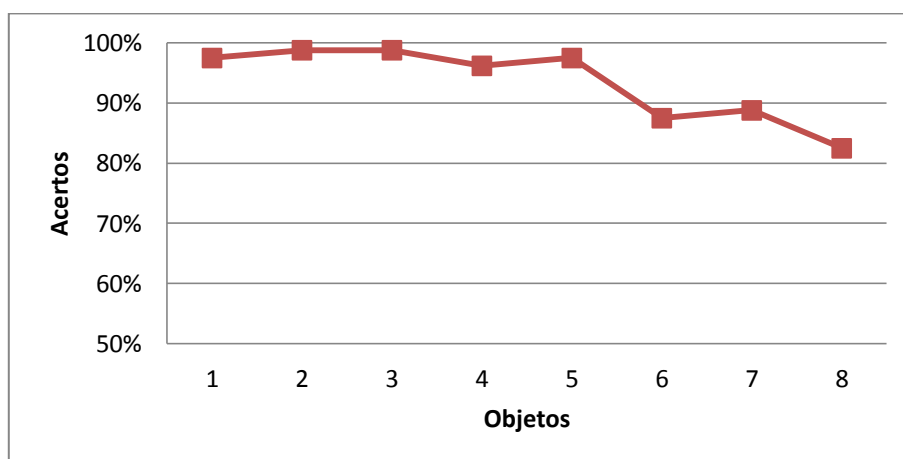


Figura 22: Gráfico do desempenho dos participantes (porcentagem de acertos) em relação ao número de objetos nos arranjos para objetos estáticos exibidos por 500 ms (seção 2).

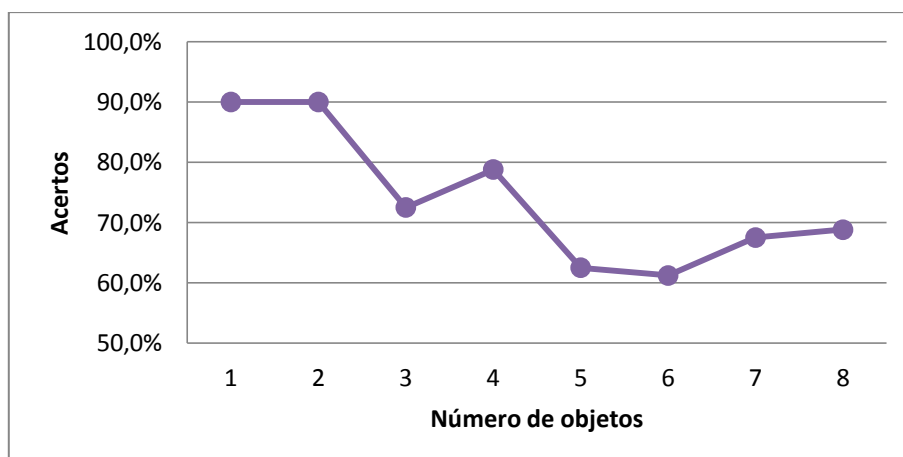


Figura 23: Gráfico do desempenho dos participantes (porcentagem de acertos) em relação ao número de objetos nos arranjos para objetos dinâmicos exibidos por 500 ms (seção 3).

As seções com objetos estáticos foram inseridas na pesquisa também com o intuito de verificar se a ferramenta de coleta produzia resultados de acordo com a literatura. Dessa forma, vale uma comparação entre os gráficos de desempenho dos objetos estáticos com os resultados de LUCK e VOGEL (1997). Estes autores fizeram pesquisa utilizando exibições de 1, 2, 3, 4, 8 e 12 objetos visuais (quadrados coloridos). Desse modo, a Figura 24 exibe os valores de nossa pesquisa referentes a estes mesmos números de objetos para as exibições estáticas (exceto o desempenho com exibição de 12 objetos, uma vez que nossa pesquisa não utilizou esse número de objetos).

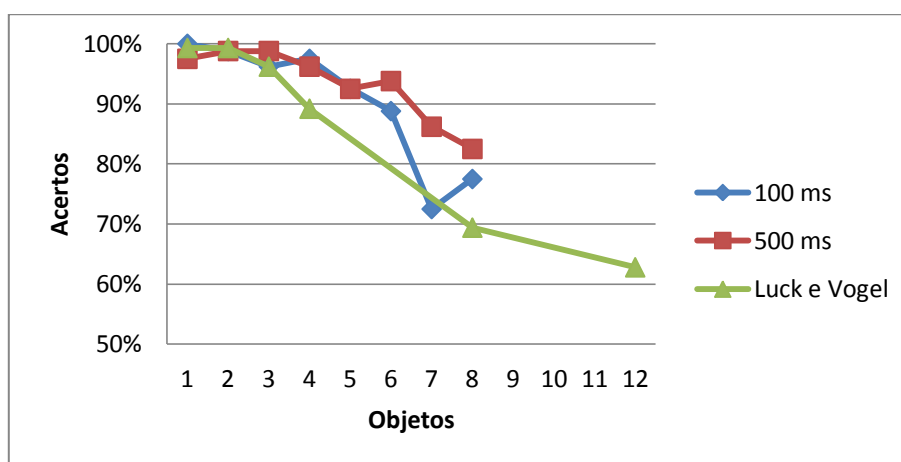


Figura 24: Gráfico do desempenho dos participantes (porcentagem de acertos) em relação aos mesmos números de objetos utilizados na pesquisa de Luck e Vogel (1997), exceto para o número de 12 objetos, pois não foi usado em nossa pesquisa.

A curva de desempenho dos participantes de nossa pesquisa é semelhante à da pesquisa de LUCK e VOGEL (1997), o que nos leva a acreditar que obtemos dados que estão de acordo com a literatura. No entanto, a pesquisa de LUCK e VOGEL não utilizou números de objetos intermediários entre 4 e 8, isto é, não testou o desempenho dos participantes quando os arranjos continham 5, 6 e 7 objetos. Desse modo, se a queda de desempenho passasse a ser significativa a partir de arranjos com 6 objetos, por exemplo, isso não seria visível através dos dados da referida pesquisa. Por esse motivo nossa pesquisa também utilizou arranjos com estes valores intermediários.

3.3.1 Análise dos objetos estáticos com exibição de 100 ms

Para verificar se existiam diferenças significativas do desempenho dos participantes em relação ao número de objetos dos arranjos, foi executado o teste estatístico de Kruskal-Wallis nos dados de desempenho dos participantes para as tentativas com objetos estáticos com exibição de 100 ms. O resultado do teste mostrou

que, a um nível de confiança de 99%, existe diferença significativa de desempenho dos participantes entre os números de objetos exibidos nos arranjos: $X^2(7) = 162,892, p = 0,000$, com os seguintes rankings médios para o número de objetos nos arranjos: (i) $n(1) = 874,50$; (ii) $n(2) = 862,50$; (iii) $n(3) = 894,50$; (iv) $n(4) = 930,50$; (v) $n(5) = 922,50$; (vi) $n(6) = 1014,50$; (vii) $n(7) = 1090,50$; (viii) $n(8) = 1094,50$. Podemos concluir que, quanto maior o número de objetos estáticos exibidos nos arranjos durante 100 ms, maior o impacto no desempenho dos participantes.

O teste de Kruskal-Wallis apenas define que existem diferenças significativas entre os grupos, mas não permite localizar onde essas diferenças surgem. Desse modo, foram executados vários testes de Mann-Whitney em agrupamentos dois a dois do número de objetos nos arranjos. A Tabela 2 mostra as estatísticas (valor-p) de cada um destes testes.

Número de objetos	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	0,317	0,081	0,156	0,013	0,002	0,000	0,000
2	0,317	–	0,313	0,561	0,054	0,009	0,000	0,000
3	0,081	0,313	–	0,651	0,305	0,073	0,000	0,000
4	0,156	0,561	0,651	–	0,148	0,000	0,000	0,000
5	0,013	0,054	0,305	0,148	–	0,417	0,001	0,008
6	0,002	0,009	0,073	0,000	0,417	–	0,010	0,058
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	–	0,467
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,058	0,467	–

Tabela 2: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney executados dois a dois nos números de objetos dos arranjos. Os valores destacados em amarelo alcançaram significância a um nível de confiança de 95%. Os valores destacados em verde alcançaram significância a um nível de confiança de 99%. Definindo o nível de confiança em 99%, percebe-se que as diferenças significativas de desempenho começam a surgir quando o número de objetos nos arranjos é maior que 5.

Definindo o nível de confiança dos testes de Mann-Whitney em 99%, percebemos que, de modo geral, o desempenho dos participantes começa a apresentar diferenças significativas quando o número de objetos exibidos nos arranjos é maior que 5, sendo que estas diferenças não se apresentam quando são comparados os desempenhos entre os grupos de arranjos com mais de 5 objetos, por exemplo, comparando os números de objetos 6 e 7, 7 e 8 e etc.

Assim, entendemos que o resultado de que a MTV pode armazenar aproximadamente quatro objetos do tipo quadrados coloridos (LUCK e VOGEL, 1997; ALVAREZ e CAVANAGH, 2004) foi reproduzido no contexto de objetos visuais estáticos exibidos durante 100 ms de nossa pesquisa.

3.3.2 Análise dos objetos estáticos com exibição de 500 ms

Do mesmo modo que foi realizado com os objetos estáticos de 100 ms, também foi executado o teste estatístico de Kruskal-Wallis nos dados de desempenho dos participantes para as tentativas com objetos estáticos com exibição de 500 ms para verificar se existiam diferenças significativas do desempenho dos participantes em relação ao número de objetos dos arranjos. O resultado do teste mostrou que, a um nível de confiança de 99%, existe diferença significativa de desempenho dos participantes entre os números de objetos exibidos nos arranjos: $X^2(7) = 112,974, p = 0,000$, com os seguintes rankings médios para o número de objetos nos arranjos: (i) $n(1) = 896,50$; (ii) $n(2) = 904,50$; (iii) $n(3) = 904,50$; (iv) $n(4) = 936,50$; (v) $n(5) = 936,50$; (vi) $n(6) = 1008,50$; (vii) $n(7) = 1028,50$; (viii) $n(8) = 1068,50$. Também, da mesma forma que pudemos concluir para os objetos estáticos exibidos durante 100 ms, quanto maior o número de objetos estáticos exibidos nos arranjos durante 500 ms, maior o impacto no desempenho dos participantes.

Também foram executados vários testes de Mann-Whitney em agrupamentos dois a dois do número de objetos nos arranjos. A Tabela 3 mostra as estatísticas (valor-p) de cada um destes testes.

Número de objetos	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	0,561	0,561	0,651	1,000	0,017	0,029	0,002
2	0,561	–	1,000	0,313	0,561	0,005	0,009	0,000
3	0,561	1,000	–	0,313	0,561	0,005	0,009	0,000
4	0,651	0,313	0,313	–	0,651	0,043	0,073	0,005
5	1,000	0,561	0,561	0,651	–	0,017	0,005	0,002
6	0,017	0,005	0,005	0,043	0,017	–	0,808	0,377
7	0,029	0,009	0,009	0,073	0,005	0,808	–	0,261
8	0,002	0,000	0,000	0,005	0,002	0,377	0,261	–

Tabela 3: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney executados dois a dois nos números de objetos nos arranjos. Os valores destacados em amarelo alcançaram significância a um nível de confiança de 95%. Os valores destacados em verde alcançaram significância a um nível de

confiança de 99%. Definindo o nível de confiança em 95%, percebe-se que as diferenças significativas de desempenho começam a surgir quando o número de objetos nos arranjos é maior que 5.

Definindo o nível de confiança dos testes de Mann-Whitney em 95%, percebemos que, de modo geral, o desempenho dos participantes começa a apresentar diferenças significativas a partir de 5 objetos nos arranjos, sendo que estas diferenças não se apresentam quando são comparados os desempenhos para números de objetos maiores que 5.

Da mesma forma que ocorreu para objetos exibidos nos arranjos durante 100 ms, entendemos que o resultado da literatura (LUCK e VOGEL, 1997; ALVAREZ e CAVANAGH, 2004) também foi reproduzido no contexto de objetos visuais estáticos exibidos durante 500 ms. LUCK e VOGEL, especificamente, realizaram pesquisa utilizando ambos os tempos de exibição dos objetos, 100 ms e 500 ms, encontrando que o desempenho não foi influenciado por esta variação no tempo de exibição. Este resultado também ocorreu em nossa pesquisa, com exceção do desempenho em relação à exibição de 7 objetos nos arranjos, o qual alcançou significância a um nível de 95% de confiança, conforme visualizado na Tabela 4 de estatísticas do teste de Mann-Whitney agrupando os mesmos número de objetos nos arranjos com exibição de 100 ms e de 500 ms. No entanto, se o nível de confiança dos testes for estabelecido em 99%, podemos afirmar que não houve diferenças significativas em nenhum dos testes.

		100 ms							
		1	2	3	4	5	6	7	8
500 ms	1	0,156	–	–	–	–	–	–	–
	2	–	1,000	–	–	–	–	–	–
	3	–	–	0,313	–	–	–	–	–
	4	–	–	–	0,651	–	–	–	–
	5	–	–	–	–	0,148	–	–	–
	6	–	–	–	–	–	0,808	–	–
	7	–	–	–	–	–	–	0,010	–
	8	–	–	–	–	–	–	–	0,431

Tabela 4: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney executados entre os mesmos números de objetos nos arranjos das exibições de 100 ms e 500 ms. O valor destacado em amarelo alcançou significância a um nível de confiança de 95%. No entanto, se o nível de confiança dos testes for estabelecido em 99%, percebe-se que o desempenho dos participantes não apresentou diferença significativa entre os dois tempos de exibição dos objetos visuais.

Estes resultados, por serem condizentes com os da literatura (por exemplo: (LUCK e VOGEL, 1997)), nos permitiu verificar a confiabilidade do instrumento de

coleta de dados construído para a pesquisa, a saber, a interface computacional descrita na Seção 3.2. Assim, podemos confiar nos dados gerados pela ferramenta para o estudo da capacidade da MTV para objetos que mudam de cor. Tal análise está descrita na Seção 3.3.3.

3.3.3 Análise dos objetos dinâmicos com exibição de 500 ms

Da mesma forma como foi feito para os objetos estáticos, foi executado o teste estatístico de Kruskal-Wallis nos dados de desempenho dos participantes para as tentativas com objetos dinâmicos com exibição de 500 ms. Os resultados do teste mostraram que, a um nível de confiança de 99%, existe diferença significativa de desempenho dos participantes entre os números de objetos exibidos nos arranjos: $X^2(7) = 37,333, p = 0,000$, com os seguintes rankings médios para o número de objetos nos arranjos: (i) $n(1) = 269,00$; (ii) $n(2) = 269,00$; (iii) $n(3) = 325,00$; (iv) $n(4) = 305,00$; (v) $n(5) = 357,00$; (vi) $n(6) = 361,00$; (vii) $n(7) = 341,00$; (viii) $n(8) = 337,00$. Podemos concluir que, quanto maior o número de objetos dinâmicos exibidos nos arranjos, maior o impacto no desempenho dos participantes.

Para localizar onde surgem as diferenças entre os grupos, uma vez que o teste de Kruskal-Wallis apenas indica que estas diferenças existem, foram executados vários testes de Mann-Whitney do número de objetos nos arranjos agrupados dois a dois. A Tabela 5 mostra as estatísticas (valor-p) de cada um destes testes.

Número de objetos	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	1,000	0,005	0,051	0,000	0,000	0,001	0,001
2	1,000	–	0,005	0,051	0,000	0,000	0,001	0,001
3	0,005	0,005	–	0,359	0,178	0,132	0,492	0,604
4	0,051	0,051	0,359	–	0,024	0,016	0,110	0,152
5	0,000	0,000	0,178	0,024	–	0,871	0,509	0,407
6	0,000	0,000	0,132	0,016	0,871	–	0,411	0,322
7	0,001	0,001	0,492	0,110	0,509	0,411	–	0,866
8	0,001	0,001	0,604	0,152	0,407	0,322	0,866	–

Tabela 5: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney executados dois a dois nos números de objetos dos arranjos. Os valores destacados em amarelo alcançaram significância a um nível de confiança de 95%. Os valores destacados em verde alcançaram significância a um nível de confiança de 99%. Definindo o nível de confiança em 99%, percebe-se que as diferenças significativas de desempenho começam a surgir quando o número de objetos nos arranjos é maior que 2.

Definindo o nível de confiança dos testes de Mann-Whitney em 99%, percebemos que, de modo geral, o desempenho dos participantes começa a apresentar diferenças significativas quando o número de objetos exibidos nos arranjos é maior que 2, sendo que estas diferenças não se apresentam quando são comparados os desempenhos entre os grupos de arranjos com mais de 2 objetos, por exemplo, comparando os números de objetos 3 e 4, 4 e 5 e etc.

3.4 Comentários

Compreendemos que nossa pesquisa foi bem sucedida em reproduzir os resultados já observados na literatura para objetos visuais estáticos com apenas uma característica (quadrados coloridos) para tempos de exibição de 100 ms e 500 ms (por exemplo: (LUCK e VOGEL, 1997)) Além disso, nossa pesquisa avançou no sentido de definir mais claramente, em aproximadamente 5, o limite da MTV para objetos do tipo quadrados coloridos, sendo que isto foi possível porque testamos variações menores do número de objetos nos arranjos em relação ao que é feito na literatura.

Em relação aos objetos dinâmicos, o nosso resultado mostra que a MTV pode armazenar aproximadamente dois objetos do tipo quadrados com duas cores separadas no tempo. Considerando que este tipo de objeto tem maior complexidade visual do que os quadrados com uma única cor. Entendemos que este resultado também está de acordo com a literatura (ALVAREZ e CAVANAGH, 2004; ENG, CHEN *et al.*, 2005) no sentido de que quanto maior a carga de informação de certo tipo de objetos visuais, menor número de objetos deste tipo podem ser armazenados na MTV. Este resultado discorda da interpretação de LUCK e VOGEL (1997), de que a MTV pode armazenar aproximadamente quatro objetos independentemente das características visuais.

Os resultados apresentados servem como indicativo de que os elementos visuais empregados em simulações computacionais, especialmente os que são exibidos durante curtos períodos de tempo ou que sofrem mudanças rápidas em suas características visuais, podem sobrecarregar a MTV se forem exibidos simultaneamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo matemático proposto aqui, especificamente na Seção 2.1, pode descrever um curso SPI bastante geral. O modelo aproximado, no entanto, já prevê aspectos interessantes de cursos Keller: que a distribuição de estudantes por unidade de conteúdo propaga-se como um pacote de ondas (Figura 10); a possibilidade da inversão da distribuição de notas (domínio) (Figura 6 e Figura 12). Adicionalmente, o modelo mostra que esta inversão pode não ocorrer se o número de avaliações não for suficientemente maior que o número de unidades de conteúdo (Figura 12). Finalmente, o modelo mostra que a carga de trabalho total com avaliações no SPI é tipicamente várias vezes maior que a carga de trabalho total com avaliações em cursos tradicionais, permitindo estimar este aumento caso a caso (Figura 14), reforçando a ideia de que a carga de trabalho requerida para a aplicação do SPI pode ter sido um fator determinante no declínio de sua popularidade, apesar de todas as evidências descritas na literatura de que o método traz resultados positivos.

Várias extensões podem ser feitas, a partir do que foi desenvolvido no Cap. 2. Uma é melhorar o modelo aproximado, introduzindo parâmetros que permitam controlar o nível de dificuldade para cada unidade de conteúdo do curso, e verificar o impacto disto na distribuição de notas e na carga de trabalho. Outra extensão é preparar rotinas computacionais que permitam ao usuário aumentar a quantidade de informação sobre o curso baseado no SPI, indo além das aproximações consideradas, e chegando a um modelo mais próximo à sua realidade. Com essa ferramenta, o usuário pode estimar a evolução temporal da distribuição de estudantes por unidade de conteúdo, as condições para inversão da nota e a quantidade de carga de trabalho com avaliações.

Além dessas extensões, relacionadas com o mastery learning de Keller, outra extensão que está em nosso foco é desenvolver um tratamento similar para o mastery learning de Bloom, e estimar a evolução temporal da distribuição de estudantes por domínio do conteúdo, as condições para a alteração da curva de notas mostrada na Figura 5-b, e a quantidade de carga de trabalho associada à aplicação do método.

Em relação à memória visual, nossa pesquisa mostrou-se bem sucedida em reproduzir os resultados já observados na literatura para objetos visuais estáticos com apenas uma característica (quadrados coloridos), e avançando no sentido de definir mais claramente o limite da MTV para objetos do tipo quadrados coloridos: aproximadamente 5, em contraste com o valor 4 encontrado na literatura. Este resultado indica que a ferramenta de coleta desenvolvida produz dados confiáveis e que, portanto, pode ser utilizada para a pesquisa com objetos com características dinâmicas.

Em relação aos objetos dinâmicos, nossos resultados registram, pela primeira vez, o impacto na capacidade da MTV gerado pela alteração das características dos objetos (aumentando a complexidade visual dos mesmos) com o passar do tempo. Especificamente, os nossos resultados mostram que a MTV pode armazenar, aproximadamente, até 2 objetos do tipo quadrados com duas cores separadas no tempo, em contraste com o limite de 4 objetos estáticos encontrado por LUCK e VOGEL (1997). Nossos resultados para objetos dinâmicos são condizentes com os de ALVAREZ e CAVANAGH (2004) e de ENG, CHEN *et al.* (2005) para objetos estáticos, os quais mostram que a maior carga de informação dos objetos estáticos faz com que a capacidade da MTV seja diminuída (em contraposição a LUCK e VOGEL (1997)). Dessa forma, era esperado que o aumento da complexidade visual dos objetos devido à adição - ao longo do tempo - de uma segunda cor produzisse uma diminuição no limite de armazenamento da MTV. Logo, o resultado aqui obtido também discorda do resultado de LUCK e VOGEL (1997), de que a MTV armazena objetos integrados e não características individuais, uma vez que mostramos que as características dinâmicas individuais influenciam na capacidade de armazenamento da MTV.

Simulações computacionais possuem, usualmente, significativa quantidade de objetos cujas características visuais variam com o tempo. Nosso trabalho indica que essas variações temporais de características irão aumentar a carga cognitiva visual, o que pode acabar prejudicando a eficácia educacional da simulação. Desse modo, uma vez que “qualquer coisa que se possa fazer para reduzir a carga cognitiva melhora a aprendizagem” (WIEMAN, 2007), nossa pesquisa indica que não somente a quantidade de objetos estáticos desnecessários deve ser reduzida nas simulações computacionais, mas também a quantidade de dinâmica desnecessária deve ser levada em conta, uma vez que essa dinâmica gera carga cognitiva visual.

Várias extensões podem ser feitas utilizando a ferramenta de coleta desenvolvida. A primeira é manipular o tempo de exibição dos objetos visuais dinâmicos e verificar se o resultado da literatura se reproduz: que a capacidade da MTV aumenta com o maior tempo de exibição (ENG, CHEN *et al.*, 2005). Outra extensão é manipular o tamanho dos objetos visuais dinâmicos na tela e estudar como este aumento tem impacto na capacidade da MTV. Entendemos que estas duas extensões aproximam a pesquisa, ainda mais, do contexto real de utilização de simulações computacionais.

5 ANEXOS

Anexo A

Declaração de Participante Atento



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA

DECLARAÇÃO

Eu, _____, RG _____, comprometo-me a dedicar máxima atenção à minha participação na pesquisa vinculada ao projeto “O IMPACTO DE OBJETOS VISUAIS DINÂMICOS NA CAPACIDADE DA MEMÓRIA DE TRABALHO”.

Declaro que não obtive informações sobre detalhes da interface computacional de coleta usada na pesquisa.

Durante a minha participação, evitarei:

- ♦ Utilizar outros programas de computador;
- ♦ Utilizar a Internet;
- ♦ Atender ou fazer chamadas telefônicas;
- ♦ Utilizar qualquer outro material estranho à pesquisa.

Comprometo-me, ainda, a não revelar para outras pessoas, durante 30 dias, detalhes da interface computacional de coleta usada na pesquisa. Entendo que esta solicitação me foi feita para não comprometer a participação de outras pessoas.

Local e data: _____

Assinatura: _____

Anexo B

Modelo do arquivo XML de monitoramento de uma seção de participação

```

<?xml
  version="1.0"
  encoding="iso-8859-1"?>
<monitoramento
  id="Teste1412691469597"
  tipo="change_detection">
  <bloco
    num="1"
    dinamica="estatico"
    mensagem="cor"
    quantidade_objetos="3"
    tempo_arranjo_modelo="100"
    tempo_intervalo="900"
    tempo_aranjo_teste="100"
    tentativas="4"
    tipo_objetos="cor">
    <tentativa
      num="1"
      arranjos="iguais"
      resposta="iguais"
      status="acertou">
      <objetos>
        <arranjo_modelo>
          <objeto
            cor_inicial="verde"
            posicao="2,1"/>
          <objeto
            cor_inicial="ciano"
            posicao="2,2"/>
          <objeto
            cor_inicial="vermelho"
            posicao="3,3"/>
        </arranjo_modelo>
        <arranjo_teste>
          <objeto
            cor_inicial="verde"
            posicao="2,1"
            diferente="não"/>
          <objeto
            cor_inicial="ciano"
            posicao="2,2"
            diferente="não"/>
          <objeto
            cor_inicial="vermelho"
            posicao="3,3"
            diferente="não"/>
        </arranjo_teste>
      </objetos>
    </tentativa>
    <tentativa
      num="2"
      arranjos="diferentes"
      resposta="diferentes"
      status="acertou">
      <objetos>
        <arranjo_modelo>
          <objeto
            cor_inicial="vermelho"
            posicao="2,3"/>
          <objeto
            cor_inicial="ciano"
            posicao="3,3"/>
          <objeto
            cor_inicial="branco"
            posicao="3,4"/>
        </arranjo_modelo>
        <arranjo_teste>
          <objeto
            cor_inicial="vermelho"
            posicao="2,3"
            diferente="não"/>
          <objeto
            cor_inicial="ciano"
            posicao="3,3"
            diferente="não"/>
        </arranjo_teste>
      </objetos>
    </tentativa>
  </bloco>
  <objeto
    cor_inicial="vermelho"
    posicao="3,4"
    diferente="sim"/>
  </arranjo_teste>
</objetos>
</tentativa>
<tentativa
  num="3"
  arranjos="iguais"
  resposta="iguais"
  status="acertou">
  <objetos>
    <arranjo_modelo>
      <objeto
        cor_inicial="preto"
        posicao="1,1"/>
      <objeto
        cor_inicial="verde"
        posicao="2,1"/>
      <objeto
        cor_inicial="ciano"
        posicao="2,4"/>
    </arranjo_modelo>
    <arranjo_teste>
      <objeto
        cor_inicial="preto"
        posicao="1,1"
        diferente="não"/>
      <objeto
        cor_inicial="verde"
        posicao="2,1"
        diferente="não"/>
      <objeto
        cor_inicial="ciano"
        posicao="2,4"
        diferente="não"/>
    </arranjo_teste>
  </objetos>
</tentativa>
<tentativa
  num="4"
  arranjos="diferentes"
  resposta="iguais"
  status="errou">
  <objetos>
    <arranjo_modelo>
      <objeto
        cor_inicial="amarelo"
        posicao="3,1"/>
      <objeto
        cor_inicial="preto"
        posicao="3,2"/>
      <objeto
        cor_inicial="ciano"
        posicao="3,4"/>
    </arranjo_modelo>
    <arranjo_teste>
      <objeto
        cor_inicial="azul"
        posicao="3,1"
        diferente="sim"/>
      <objeto
        cor_inicial="preto"
        posicao="3,2"
        diferente="não"/>
      <objeto
        cor_inicial="ciano"
        posicao="3,4"
        diferente="não"/>
    </arranjo_teste>
  </objetos>
</tentativa>
</bloco>
</monitoramento

```

Anexo C

Modelo do arquivo XML de configuração de uma seção de participação

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<teste
  configuracao="resumida"
  tipo="change_detection"
  tempo_arranjos="500"
  tempo_intervalo="900"
  tempo_teste="500"
  quantidade_inicial_objetos="5"
  quantidade_final_objetos="5"
  tentativas_por_bloco="1">

  <bloco
    mensagem="cor"
    dinamica="estatico"
    tipo_objetos ="cor"/>
  <bloco
    mensagem="tamanho"
    dinamica="estatico"
    tipo_objetos ="tamanho"/>
  <bloco
    mensagem="orientação"
    dinamica="estatico"
    tipo_objetos ="orientacao"/>
</teste>
```

Anexo D

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado pelos participantes.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, concordo em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa intitulado “O IMPACTO DE OBJETOS VISUAIS DINÂMICOS NA CAPACIDADE DA MEMÓRIA DE TRABALHO” desenvolvida no Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará pelo pesquisador Sílvio Carlos Ferreira Pereira Filho orientado por Danilo Teixeira Alves, que podem ser contatados pelo e-mail silviocfilho@ufpa.br ou telefone (91) 8867-5127. Esta pesquisa foi autorizada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará.

O presente trabalho tem por objetivo investigar como objetos visuais dinâmicos têm impacto na capacidade da Memória de Trabalho Visual. Minha participação consistirá em interagir com interfaces gráficas computacionais que apresentam objetos visuais estáticos e dinâmicos.

Compreendo que este estudo possui finalidade de pesquisa, que os dados obtidos serão divulgados seguindo as diretrizes éticas da pesquisa, com a preservação do anonimato dos participantes, assegurando, assim minha privacidade. Sei que posso abandonar a minha participação na pesquisa quando quiser.

Assinatura: _____

Data, Local: _____

6 REFERÊNCIAS

ADAMS, W. K. *et al.* A Study of Educational Simulations Part I – Engagement and Learning, *Journal of Interactive Learning Research*, v. 19, n. 3, p. 397-419, 2008. ISSN 1093-023X. Disponível em: <<http://www.editlib.org/p/24230>>.

ALVAREZ, G. A. e CAVANAGH, P. The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects, *Psychological Science*, v. 15, n. 2, p. 106-111, Feb 2004. ISSN 0956-7976.

ALVES, D. T. *et al.* Analysis of methodology based on Keller's personalized system of instruction applied to an introductory course of electromagnetism, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 12, Jan-Mar 2011. ISSN 1806-1117.

ATKINSON, R. C. e SHIFFRIN, R. M. Human memory: a proposed system and its control processes. In: **The psychology of learning and motivation**: Academic Press, v.2, 1968. p.89-195.

AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BADDELEY, A. The episodic buffer: a new component of working memory?, *Trends in Cognitive Sciences*, v. 4, n. 11, p. 417-423, Nov 2000. ISSN 1364-6613.

BADDELEY, A. e HITCH, G. Working memory. In: BOWER, G. H. (Ed.), **The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory**. New York: Academic Press, v.8, 1974. p.47-89.

BLOOM, B. S. Learning for Mastery. In: BLOOM, B. S., HASTINGS, J. T., *et al* (Ed.), **Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning**: McGraw-Hill, 1968.

BLOOM, B. S. THE SEARCH FOR METHODS OF GROUP INSTRUCTION AS EFFECTIVE AS ONE-TO-ONE TUTORING, *Educational Leadership*, v. 41, n. 8, p. 4-17, 1984. ISSN 0013-1784. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1984SR57000002>.

BRANSFORD, J. D., BROWN, A. L. e COCKING, R. R. **How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School**. Washington, DC: National Academies Press, 2000.

BUSKIST, W., CUSH, D. e DEGRANDPRE, R. J. The life and times of PSI, *Journal of Behavioral Education*, v. 1, n. 2, p. 215-234, 1991/06/01 1991. ISSN 1053-0819.

CLARK, C. e MAYER, R. E. **E-learning and the Science of Instruction**. San Francisco: Pfeiffer, 2003. 111-129

DE JONG, T. Computer simulations - Technological advances in inquiry learning, *Science*, v. 312, n. 5773, p. 532-533, Apr 2006. ISSN 0036-8075.

DE JONG, T. e VAN JOOLINGEN, W. R. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains, *Review of Educational Research*, v. 68, n. 2, p. 179-201, 1998. ISSN 0034-6543.

ENCHROMA. **Color Blindness Test** 2013.

ENG, H. Y., CHEN, D. Y. e JIANG, Y. H. Visual working memory for simple and complex visual stimuli, *Psychonomic Bulletin & Review*, v. 12, n. 6, p. 1127-1133, Dec 2005. ISSN 1069-9384.

EYRE, H. L. Keller's Personalized System of Instruction: Was It a Fleeting Fancy or Is There a Revival on the Horizon?, *Behavior Analyst Today*, v. 8, n. 3, p. 8, 2007. ISSN 1539-4352.

FEYNMAN, R. **Uma tarde com o Sr. Feynman**. Gradiva, 1991. ISBN 9789726622208.

- FINKELSTEIN, N. D. *et al.* When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005. Disponível em: <<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>>.
- FOX, E. J. The Personalized System of Instruction: A flexible and effective approach to mastery learning. In: MORAN, D. J. e MALOTT, R. W. (Ed.), **Evidence-based educational methods**. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004. p.201-221.
- FOX, E. J. Keller's Personalized System of Instruction. In: HATTIE, J. H. e ANDERMAN, E. M. (Ed.), **The International Guide to Student Achievement**. New York: Routledge, 2013.
- FRIEDMAN, C. P. MODEL FOR IMPROVING ADVANCED COURSES IN PHYSICS, *American Journal of Physics*, v. 40, n. 11, p. 1602-&, 1972. ISSN 0002-9505.
- GREEN, B. A. PHYSICS TEACHING BY KELLER PLAN AT MIT, *American Journal of Physics*, v. 39, n. 7, p. 764-&, 1971. ISSN 0002-9505.
- GUSKEY, T. R. **Implementing Mastery Learning**. Wadsworth Pub. Co., 1985.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64-74, Jan 1998. ISSN 0002-9505.
- HREPIC, Z., ZOLLMAN, D. e SANJAY REBELLO, N. Comparing Students' and Experts' Understanding of the Content of a Lecture, *Journal of Science Education and Technology*, v. 16, n. 3, p. 213-224, 2007/06/01 2007. ISSN 1059-0145. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10956-007-9048-4>>.
- HULME, C. e MACKENZIE, S. **Working Memory and Severe Learning Difficulties**. Lawrence Erlbaum, 1992. ISBN 9780863770753.
- KAWASAKI, M., WATANABE, M. e AIHARA, K. Impaired visual working memory capacity in case of motion direction and color-shape feature binding. In: UNIV TOKYO, G. S. E. D. Q. E. e SYST SCI, B. K. T. J., 4th IEEE International Conference on Development and Learning, 2005. Osaka, JAPAN. Jul 19-21. p.58-61.
- KELLER, F. S. GOOD-BYE TEACHER, *Journal of Applied Behavior Analysis*, v. 1, n. 1, p. 79-&, 1968. ISSN 0021-8855.
- KELLER, F. S. **An Interview with Fred Keller**: entrevista. Concedida a: GRAY, R. e ASH, S. 2011. Disponível em: <<http://usapetal.net/misc/RGPortfolio/AIL601-Interviews/keller.htm>>. Acesso em: 24/11/2014.
- KHAN, S. **Khan Academy**. 2014. Disponível em: <<https://www.khanacademy.org/coaches/reference-for-coaches/other-reference-materials/a/research-foundations>>. Acesso em: 02/10/2014.
- KULIK, C. L. C., KULIK, J. A. e BANGERTDROWNS, R. L. EFFECTIVENESS OF MASTERY LEARNING-PROGRAMS - A METAANALYSIS, *Review of Educational Research*, v. 60, n. 2, p. 265-299, Sum 1990. ISSN 0034-6543.
- KULIK, J. A., CARMICHAEL, K. e KULIK, C. L. C. The Keller Plan in Science Teaching: An individually paced, student-tutored, and mastery-oriented instructional method is evaluated, *Science*, v. 183, n. 4123, p. 379-383, 1974.
- KULIK, J. A., KULIK, C. L. C. e COHEN, P. A. META-ANALYSIS OF OUTCOME STUDIES OF KELLERS PERSONALIZED SYSTEM OF INSTRUCTION, *American Psychologist*, v. 34, n. 4, p. 307-318, 1979. ISSN 0003-066X.

LUCK, S. J. e VOGEL, E. K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions, *Nature*, v. 390, n. 6657, p. 279-281, Nov 1997. ISSN 0028-0836.

MCLEOD, S. A. **Atkinson and Shiffrin - Multi Store Model of Memory**. Simply Psychology, 2007. Disponível em: <<http://www.simplypsychology.org/multi-store.html>>. Acesso em: 27 de maio de 2013.

MILLER, G. A. THE MAGICAL NUMBER 7, PLUS OR MINUS 2 - SOME LIMITS ON OUR CAPACITY FOR PROCESSING INFORMATION, *Psychological Review*, v. 63, n. 2, p. 81-97, 1956. ISSN 0033-295X.

MYERS, D. G. Memory. In: **Psychology**. 9. New York: Worth Publishers, 2010. cap. 8, p.327-367. ISBN 978-1-4292-1597-8.

PASHLER, H. FAMILIARITY AND VISUAL CHANGE DETECTION, *Perception & Psychophysics*, v. 44, n. 4, p. 369-378, Oct 1988. ISSN 0031-5117.

PETERSON, L. R. e PETERSON, M. J. Short-Term Retention of Individual Verbal Items, *Journal of Experimental Psychology*, v. 58, n. 3, p. 193-198, 1959. ISSN 0022-1015.

REY, G. D. Interactive Elements for Dynamically Linked Multiple Representations in Computer Simulations, *Applied Cognitive Psychology*, v. 25, n. 1, p. 12-19, Jan-Feb 2011. ISSN 0888-4080.

RIEBER, L. P. Multimedia learning in games, simulations, and micro-worlds. In: MAYER, R. E. (Ed.), **The Cambridge handbook of multimedia learning**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2005. p.549-567.

SAIKI, J. Spatiotemporal characteristics of dynamic feature binding in visual working memory, *Vision Research*, v. 43, n. 20, p. 2107-2123, Sep 2003. ISSN 0042-6989.

SHERMAN, J. G. REFLECTIONS ON PSI - GOOD-NEWS AND BAD, *Journal of Applied Behavior Analysis*, v. 25, n. 1, p. 59-64, Spr 1992. ISSN 0021-8855.

SILBERMAN, R. KELLER PLAN - PERSONAL VIEW, *Journal of Chemical Education*, v. 55, n. 2, p. 97-98, 1978. ISSN 0021-9584.

SIMS, R. Interactivity: A forgotten art?, *Computers in Human Behavior*, v. 13, n. 2, p. 157-171, May 1997. ISSN 0747-5632.

SKINNER, B. F. **Science and Human Behavior**. New York: MacMillan, 1953.

SNODGRASS, J. G. e VANDERWART, M. STANDARDIZED SET OF 260 PICTURES - NORMS FOR NAME AGREEMENT, IMAGE AGREEMENT, FAMILIARITY, AND VISUAL COMPLEXITY, *Journal of Experimental Psychology-Human Learning and Memory*, v. 6, n. 2, p. 174-215, 1980. ISSN 0096-1515.

SWELLER, J. e LEVINE, M. Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning., *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, p. 463-474, 1982.

SWELLER, J., VAN MERRIENBOER, J. e PAAS, F. Cognitive Architecture and Instructional Design, *Educational Psychology Review*, v. 10, n. 3, p. 251-296, 1998. ISSN 1040-726X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022193728205>>.

TAVEGGIA, T. C. PERSONALIZED INSTRUCTION - SUMMARY OF COMPARATIVE RESEARCH, 1967-1974, *American Journal of Physics*, v. 44, n. 11, p. 1028-1033, 1976. ISSN 0002-9505.

VAN DER MEIJ, J. Support for learning with multiple representations: Designing simulation-based learning environments., *The Netherlands: University of Twente*, 2007.

WHEELER, M. E. e TREISMAN, A. M. Binding in short-term visual memory, *Journal of Experimental Psychology-General*, v. 131, n. 1, p. 48-64, Mar 2002. ISSN 0096-3445.

WIEMAN, C. E. Why Not Try a Scientific Approach to Science Education?, *Change: The Magazine of Higher Learning*, v. 39, n. 5, p. 9-15, 2007. ISSN 0009-1383. Disponível em: <http://www.cwsei.ubc.ca/SEI_research/files/Wieman-Change_Sept-Oct_2007.pdf>. Acesso em: 28/06/2013.

WIEMAN, C. E. **PhET Interactive Simulations – University of Colorado at Boulder**. PhET Interactive Simulations – University of Colorado at Boulder, 2010. Disponível em: <<http://phet.colorado.edu/index.php>>.

WIEMAN, C. E., ADAMS, W. K. e PERKINS, K. K. PhET: Simulations That Enhance Learning, *Science*, v. 322, p. 682-683, Outubro 2008.

WIEMAN, C. E. e PERKINS, K. K. A powerful tool for teaching science, *Nature Physics*, v. 2, p. 290-292, 2006.

WOLFE, J. M., FRIEDMANHILL, S. R. e BILSKY, A. B. PARALLEL-PROCESSING OF PART-WHOLE INFORMATION IN VISUAL-SEARCH TASKS, *Perception & Psychophysics*, v. 55, n. 5, p. 537-550, May 1994. ISSN 0031-5117.