

O Computador como Ferramenta Instrucional

Luciano de Lemos Meira

Jorge T. da Rocha Falcão

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Discute dois modelos de utilização do computador como ferramenta de ensino e aprendizagem na escola. O primeiro modelo, que denominaremos estrutural, inclui os ambientes computacionais e pedagógicos que visam ao desenvolvimento de estruturas cognitivas amplas e de heurísticas gerais de resolução de problemas. O segundo modelo, denominado contextual, enfatiza o uso de ferramentas computacionais voltadas ao desenvolvimento de conteúdos específicos do conhecimento. Apresenta uma revisão crítica de estudos cognitivos desenvolvidos pelos autores e outros pesquisadores na área, com o objetivo de prover parâmetros de reflexão sobre o uso do computador como ferramenta instrucional, em particular no ensino de matemática.

Introdução

Este artigo discute dois modelos de utilização do computador como ferramenta de mediação na construção de conhecimentos na escola. Tais modelos, embora recentes, têm suas raízes em perspectivas clássicas da epistemologia filosófica em geral (natureza do conhecimento) e pressupostos da psicologia cognitiva em particular (desenvolvimento e aprendizagem). Compreender e avaliar tais modelos implica a análise desses pressupostos à luz de investigações empíricas como as que nos reportaremos adiante.

Em primeiro lugar, entretanto, cabe um breve esclarecimento acerca dos marcos teóricos que orientarão esta análise, aos quais nos referimos no parágrafo anterior através dos conceitos de *construção e mediação*:

1.0 conhecimento não se origina fundamentalmente de forma exógena, a partir da aquisição de informações que, via percepção, são acumuladas em bancos de memória na forma de representações mentais. Tal perspectiva, que confere ao sujeito cognoscente um papel essencialmente passivo de acumulador de informações (a *tabula rasa* de John Locke), é substituída aqui pela perspectiva segundo a qual o mecanismo central de construção do conhecimento é a *ação*. Assim, conhecer implica prioritariamente agir sobre objetos do mundo (físico, social e cultural), que transformam o sujeito ao mesmo tempo que são por ele transformados. As representações que o sujeito constrói contêm, portanto, elementos ditos do mundo, relacionados a elementos ditos do sujeito, tais como expectativas, lembranças, estados afetivos, etc. Esta perspectiva, que propõe a passagem do conhecimento figurativo-reprodutivista ao conhecimento operatório-construtivista, é tributária das contribuições de Jean Piaget (1970,1976).

2. No processo de construção de conhecimentos, o sujeito cognoscente não é um processador de informações que, de posse de estruturas mentais, confronta-se solitariamente com o real em busca de patamares hierarquicamente superiores de funcionamento cognitivo. O sujeito cognoscente é, essencialmente, um agente social, cultural e histórico, engajado num processo contínuo de apropriação e reconstrução de ferramentas da cultura tais como a escrita, os sistemas de contagem, as normas vinculadas ao sistema de produção econômica, etc. Nesse sentido, as competências cognitivas de determinado sujeito não se referem apenas às tarefas que ele pode desempenhar por si mesmo, mas também àquelas em que pode engajar-se em colaboração com outros sujeitos e através do uso de amplificadores culturais (Bruner, 1976). Tal perspectiva, que distingue um limiar de competência atual de um limiar de competência potencial, e que confere especial destaque a ferramentas de pensar culturalmente construídas, é tributária do pensamento de Lev Vygotsky (1985,1991).

A reflexão sobre o poder mediador da informática nos processos de construção do conhecimento remete, portanto, a uma determinada perspectiva teórica em psicologia cognitiva. Adicionalmente, as formas preconizadas

para a utilização de ferramentas computacionais na educação são variadas, abrangendo um amplo leque de propostas e diversas formas de uso. O objetivo deste artigo é discutir algumas destas formas de uso, utilizando-se da perspectiva teórica aludida acima, a fim de analisar as seguintes questões: (i) quais são, em essência, as propostas de utilização instrucional do computador, e a que concepções do conhecimento e da aprendizagem fazem apelo?; (ii) de que elementos se dispõe para avaliar cientificamente tais propostas?; e (iii) do ponto de vista da psicologia cognitiva, fundada sobre o marco teórico socioconstrutivista, quais as contribuições e limites do computador enquanto mediador dos processos de construção do conhecimento?

Propositadamente, não incluímos neste artigo qualquer reflexão sobre o uso educacional de computadores em rede, particularmente a World Wide Web ou a Internet. Consideramos que o estudo dos processos de ensino e aprendizagem em ambientes computacionais que envolvem esta mídia requerem um tratamento especial, além do escopo deste artigo. Em outro documento, Meira (1997) discute a atual escassez de estudos em psicologia cognitiva e didática referentes às implicações do uso de redes de computadores na educação, e propõe reflexões e pesquisas específicas nesta área. Da mesma forma, não incluímos neste artigo discussão sobre questões de ordem política, econômica ou social referentes à implantação efetiva de programas educacionais que contemplem o uso de computadores na escola. Enfatizamos, sim, questões de ordem cognitiva e didática relativas ao uso (e abusos) de tecnologias da informação na educação escolar, ilustrando nossas reflexões através de pesquisas realizadas em educação matemática.

Modelos de uso do computador no ensino

Identificamos a seguir dois modelos principais de utilização do computador como coadjuvante nos processos de ensino-aprendizagem na escola, em particular no que diz respeito à educação matemática. O primeiro modelo, que denominaremos *estrutural*, inclui os ambientes computacionais e

pedagógicos que visam ao desenvolvimento de estruturas cognitivas amplas e de heurísticas gerais de resolução de problemas. O segundo modelo, denominado *contextual*, enfatiza o uso de ferramentas computacionais voltadas ao desenvolvimento de conteúdos específicos do conhecimento. O Quadro 1 apresenta estes modelos em função de sua natureza (estrutural ou contextual) e os tipos de atividades que lhes são típicas.

Quadro 1 - Modelos do uso instrucional de computadores na educação

Natureza	Alcance e extensão pretendidos	Ambiente	Exemplo
Estrutural	Universal, uso diversificado	Programação	LOGO©, linguagens de programação em geral
Contextual	Global; uso diversificado	Utilitários	Excel©, ambientes de uso interdisciplinar
	Local, uso restrito	<i>Software</i> educacional	Grapher©, <i>softwares</i> que trabalham conceitos específicos

O modelo de natureza estrutural tem no ensino de linguagens de programação sua principal bandeira metodológica, notadamente no uso da linguagem LOGO. A abordagem contextual, por sua vez, pode ser dividida em duas subclasses, de acordo com o alcance pretendido e a gama de usos (extensão) prevista na concepção e utilização efetiva da ferramenta. Assim, as propostas contextuais de alcance global e o uso diversificado incidem sobre utilitários e aplicativos, como as planilhas ou editores de texto. Os projetos mais comuns de utilização destas ferramentas não pretendem atingir núcleos metacognitivos de largo espectro, mas podem servir de suporte ao desenvolvimento de conceitos em diversos campos do conhecimento. Por sua vez, a

subclasse contextual referente às propostas de alcance local e uso restrito enfatizam o *software* educacional como ferramenta de exploração de conceitos específicos, tais como equações algébricas ou funções (portanto, com menor alcance que os utilitários da proposta contextual-global).

É claro que as categorias propostas no Quadro 1 interagem mutuamente, pelo menos no sentido descendente, produzindo novos ambientes pedagógicos. Por exemplo, a linguagem LOGO pode ser utilizada pelo(a) professor(a) ou especialista para produzir um editor de texto personalizado ou um *software* sobre o conceito de funções. A classificação sugerida no Quadro 1 também não identifica explicitamente os métodos de organização de currículos em informática educativa, tema a que nos reportaremos adiante.

Dado o escopo deste artigo, deter-nos-emos na pesquisa dos limites e possibilidades de alguns projetos de investigação associados às perspectivas estrutural e contextual em informática educativa, oferecendo ao mesmo tempo subsídios para o educador matemático interessado no uso de computadores como ferramenta para a melhoria do ensino nesta área.

A perspectiva estrutural

Um dos usos mais disseminados do computador baseia-se na perspectiva segundo a qual o conhecimento estrutura-se em torno de competências lógico-operatórias aplicáveis a um amplo universo de situações. Esta perspectiva, que encontra em Piaget inegável respaldo, tem eco também na ênfase de vários psicólogos psicometristas num fator geral de inteligência, *o fator g* (ver Sternberg, 1985). Na psicopedagogia clássica, podemos identificar as bases dessa formulação no conceito de *disciplina formal*: aquelas disciplinas (em geral acadêmicas) que poderiam supostamente desenvolver competências intelectuais gerais. Ao longo da história da educação neste século, o conceito de disciplina formal elegeu alternadamente várias atividades instrucionais como fontes de treinamento para capacidades gerais: o estudo das línguas grega e latina, o estudo da lógica, da retórica, da matemática, e mesmo a

prática sistemática em jogos como o xadrez. Como ressaltava Vygotsky (1985, p. 254), o ensino sistemático de tais disciplinas no âmbito da formação básica alemã e russa de sua época (décadas de 20 e 30) era justificado não por seus valores intrínsecos e práticos, mas devido à expectativa de contribuição dessa formação no desenvolvimento intelectual global.

Nessa mesma tradição, desde o início da década de 70 nos EUA e a partir da década de 80 no Brasil, a linguagem LOGO inseriu-se em propostas do uso do computador como recurso na construção de habilidades gerais, tais como o desenvolvimento de heurísticas de resolução de problemas, a capacidade de raciocinar dedutivamente ou conceber o espaço a partir de uma perspectiva não-euclidiana. Para Seymour Paperi (1985, p. 37), um dos criadores da linguagem e do que se convencionou chamar de *filosofia LOGO*, "o computador pode nos permitir mudar os limites entre o concreto e o formal". A filosofia LOGO pode, portanto, ser considerada como o exemplo por excelência de proposição do computador como mediador da construção do conhecimento com base numa perspectiva estrutural.

A demonstração destes pressupostos através da pesquisa em Psicologia, entretanto, tem sido de difícil realização. De fato, muitas pesquisas apontam para os limites e as contradições desta perspectiva. No caso da utilização do LOGO como um destes instrumentos da disciplina formal, a pesquisa de Meira (1987; ver também Carraher, Meira, 1989) e de tantos outros (e.g., Pea, Kurland, 1984; Clements, 1986) têm demonstrado a fragilidade dos pressupostos que formaram a base educacional (e mercadológica) desta linguagem de programação, além de disparidades e contradições entre os resultados das investigações.

Pea e Kurland (1984), por exemplo, examinaram a hipótese de que a prática de programação em LOGO contribuiria para o desenvolvimento de estratégias gerais de planejamento para um conjunto de problemas propostos a crianças na faixa de 8 a 11 anos. Após um ano de prática com LOGO, os sujeitos de um grupo experimental não apresentaram diferenças significativas quanto à efetividade de suas estratégias de planejamento, quando comparados aos seus pares de mesma idade que não participaram de qualquer trei-

namento em programação. Clements (1986), por outro lado, estudou comparativamente os efeitos do ensino de LOGO em relação ao uso de programas do tipo CAI - Computer Assisted Instruction (Instrução Assistida por Computador) sobre o desenvolvimento de habilidades cognitivas (e.g., classificação e seriação), habilidades metacognitivas, criatividade e rendimento escolar em matemática e línguas. Este pesquisador trabalhou com crianças de 6 a 8 anos em duas sessões semanais durante vinte e duas semanas. As hipóteses testadas eram que a prática com a linguagem LOGO teria efeitos significativos sobre as três primeiras variáveis dependentes (habilidades cognitivas, metacognitivas e criatividade), enquanto que a prática com CAI teria efeitos positivos apenas sobre o rendimento escolar. Esta última hipótese foi efetivamente comprovada, assim como foram observadas diferenças significativas entre os usuários de LOGO e dos programas CAI, no que diz respeito às variáveis dependentes estudadas, em favor do grupo com prática em LOGO. Em vista da natureza bastante ampla e geral das variáveis investigadas por estes autores, que podem mais facilmente conduzir a resultados contraditórios, Meira (1987) e Carraher e Meira (1989) optaram por investigar o desenvolvimento de competências mais específicas associadas à aprendizagem de LOGO, embora ainda características do plano estrutural. Assim, observamos que em seus primeiros trabalhos, Papert (1985) apresentou a geometria da tartaruga LOGO em termos de seu caráter intrinsecamente *diferencial*. Ou seja, diferentemente das geometrias euclidiana e cartesiana, a geometria LOGO deveria supostamente promover nos seus usuários o desenvolvimento de um pensamento geométrico amplo e desprovido do caráter referencial típico daqueles paradigmas. Por exemplo, para gerar um círculo em LOGO, o usuário teria apenas que mover a "tartaruga" para frente e para o lado em pequenos movimentos, sem referência a um centro (como na geometria euclidiana) ou eixos coordenados perpendiculares (como na geometria cartesiana). Segundo Papert, esta característica estrutural (formal) do LOGO desenvolveria na criança uma concepção geométrica mais sofisticada com implicações sobre a qualidade de seu raciocínio espacial.

Em contraste às expectativas de Paperi (1985), Meira (1987) identificou três abordagens na utilização dos comandos de giro em LOGO por 32 sujeitos de 7^a série e 2^o ano do 2^o grau, após 15 ou 30 horas de treinamento nesta linguagem, nenhuma das quais semelhante à geometria diferencial sugerida por Papert. Em uma das abordagens, os sujeitos simplesmente atribuíam um valor aproximado ao ângulo de giro da tartaruga, a fim de reproduzir um polígono dado (estratégia de rotulação, utilizada por 31,2% de todos os sujeitos). Em outra, denominada estratégia de composição e implementada por 53,2% de todos os sujeitos, utilizava-se justamente uma abordagem de bases cartesianas, calculando-se o valor para os ângulos de giro a partir de eixos perpendiculares imaginários que permitiam a composição aditiva dos desvios da tartaruga em relação a um eixo vertical com o valor necessário para enviá-la na direção desejada, como na Figura 1. A Tabela 1 mostra a porcentagem de sujeitos de cada grupo de treinamento que utilizou cada uma destas abordagens.

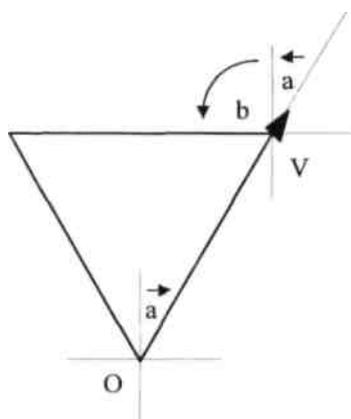


Figura 1 - Na estratégia de composição aditiva, o sujeito trabalha com eixos imaginários nos pontos de rotação, a partir dos quais é possível compensar desvios da posição original da tartaruga (*a* anula o efeito de *a*) para em seguida enviar a tartaruga para a posição desejada (no exemplo, *a* é composto com um ângulo "A" de 90°)

Tabela 1 - Frequência (%) de uso das estratégias de rotulação e composição por grupo de sujeitos (a abordagem intermediária corresponde a sujeitos que ora usavam a estratégia de rotulação, ora usavam a de composição aditiva)

<i>Tª série (%)</i>			<i>2º ano, 2º grau (%)</i>	
<i>Abordagens</i>	<i>15 horas</i>	<i>30 horas</i>	<i>15 horas</i>	<i>30 horas</i>
A - Rotulação	25,0	50,0	37,5	12,5
B-Intermediária	25,0	12,5	25,0	0
C-Composição	50,0	37,5	37,5	87,5

Esta pesquisa mostrou que a estrutura semântica planejada do LOGO não é necessariamente aquela adotada por seus usuários. Quando engajados na atividade de programação, os sujeitos foram capazes de criar suas próprias interpretações da geometria da tartaruga, e não necessariamente desenvolveram as operações mentais pretendidas pelo *designer* da ferramenta computacional. É pelo menos questionável, portanto, a aclamação do ensino de programação em LOGO como algo que possa transformar de forma simples e radical o raciocínio da criança.

A perspectiva contextual de caráter global

Este segundo modelo enfatiza menos as estruturas cognitivas gerais do que aquelas competências especializadas e vinculadas a um domínio ou conjunto de conteúdos. Nos termos daquela mesma querela entre psicólogos psicometristas referida acima, teríamos aqui uma perspectiva que põe ênfase sobre o que é denominado fator *i*, em detrimento do *fator g* antes mencionado. Coerentemente, tal perspectiva preocupa-se com a exploração de conceitos referentes a domínios delimitados do conhecimento, embora às vezes

utilize como pano de fundo as mesmas ferramentas da perspectiva estrutural. Assim, entre outras ferramentas, temos neste grupo: (i) a geometria da tartaruga LOGO; (ii) as simulações e os micromundos; (iii) os aplicativos; e (iv) a Instrução Assistida por Computador e os tutores inteligentes. Os trabalhos desenvolvidos nesta última área pertencem comumente ao campo de pesquisa em Inteligência Artificial, e boas opções comerciais voltadas à área educacional são, geralmente, de difícil acesso. Por esta razão, discutiremos a seguir apenas as pesquisas relativas às três primeiras ferramentas.

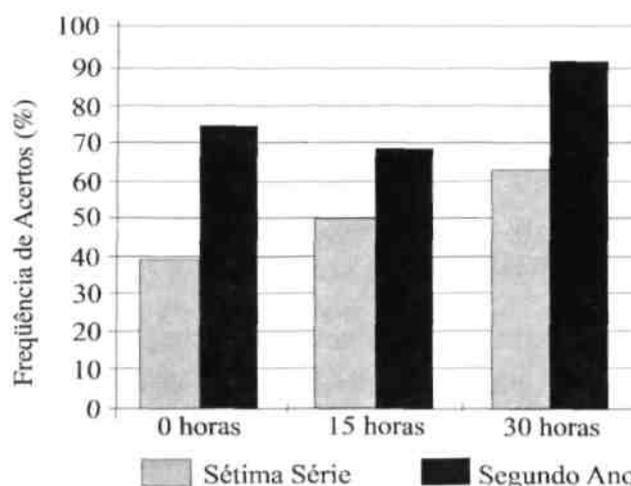
A GEOMETRIA DA TARTARUGA

Além de seu papel no ensino de programação a partir de uma perspectiva estrutural, a linguagem LOGO tem sido também explorada como atividade-meio para o ensino de conceitos matemáticos, notadamente geométricos, como o conceito de ângulo (Meira, 1987,1990; Magina, 1988).

Meira (1987), por exemplo, comparou o desempenho dos sujeitos já mencionados na seção anterior, em tarefas envolvendo a noção de ângulo, com estudantes das mesmas séries, mas que não haviam sido treinados na linguagem LOGO. O conceito de ângulo é a base das primitivas de rotação em LOGO, e também um tópico do currículo nas séries investigadas em anos anteriores. Assim, aquela pesquisa pode explorar dois tipos de ambientes de aprendizagem: (i) o micromundo LOGO em que conceitos matemáticos funcionam como instrumentos para a realização de objetivos; e (ii) o ambiente escolar onde, tradicionalmente, os conceitos são objetos de estudo em si mesmos.

Os grupos experimentais (15 ou 30 horas de treinamento) e os grupos-controle (sem treinamento) das duas séries envolvidas (7^a e 2^o ano do 2^o grau) resolveram um teste com 33 questões sobre comparação, estimação e geração de ângulos, além de problemas sobre congruência e ângulos suplementares. As médias de acertos dos diversos grupos entrevistados são mostradas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Médias percentuais de acerto nas tarefas sobre ângulos, dos grupos de 7ª série e 2º ano do 2º grau com zero, 15 ou 30 horas de treinamento na linguagem LOGO



O desempenho dos sujeitos no teste diferenciou-se significativamente em função do volume de treinamento recebido em LOGO e da série escolar. Alunos da 7ª série e do 2º ano que participaram dos grupos experimentais obtiveram escores significativamente maiores que seus colegas de classe sem treinamento ($p < .03$, teste de Mann-Whitney). Entretanto, os alunos de 2º ano com 15 horas de treino em LOGO mostraram um desempenho consistentemente abaixo de seus colegas de classe que não participaram do treinamento.

Estes resultados sugerem: (i) uma competição entre o conhecimento sobre ângulos adquirido na escola e aqueles construídos durante o treinamento com a linguagem (que ocorre no grupo mais familiar com o conceito escolar de ângulo, 2º ano do 2º grau, mas com apenas 15 horas de experiência em LOGO); e (ii) uma melhora significativa dos participantes com 30 horas de treinamento na linguagem, em relação a seus companheiros de classe que estudaram o conceito de ângulo apenas como parte do currículo escolar.

Vemos que, à medida que a aprendizagem de programação como uma atividade fim pode não surtir os efeitos desejados no que diz respeito ao desenvolvimento de competências gerais (ver seção anterior), o uso da linguagem LOGO numa perspectiva contextual pode fornecer um ambiente adequado para a aprendizagem de conceitos que são parte intrínseca do trabalho com LOGO (respeitados os requisitos de familiaridade e experiência suficiente com esta linguagem).

SIMULAÇÕES E MICROMUNDOS

Tais propostas consistem em ambientes de trabalho que modelizam situações reais (e.g., crescimento de ecossistemas, funcionamento de reatores nucleares, comportamento fisiológico de órgãos do corpo, etc.). A principal característica destes ambientes é o controle das situações através da simplificação do objeto modelizado, a fim de modular o número de variáveis a serem consideradas simultaneamente pelo aprendiz.

Falcão (1987, 1989) apresentou um exemplo de atividade com micromundos, onde a linguagem LOGO surge mais uma vez como ferramenta instrucional programável para o ensino de conteúdos específicos. Com base nos estudos de DiSessa (1982) e White (1984), que trabalharam com um ambiente, onde uma nave espacial se desloca obedecendo às duas primeiras leis de Newton, Falcão examinou a compreensão dos conceitos de força e movimento desenvolvidos por estudantes de 15 a 18 anos. Após a prática em computador com 14 situações envolvendo composição vetorial numa situação dinâmica, estes estudantes (grupo experimental) resolveram um conjunto de 21 tarefas apresentadas em folhas de exercício (sem o suporte computacional), a fim de se observar eventuais transferências de aprendizagem decorrentes da prática com o micromundo LOGO, em comparação a um grupo-controle (sem experiência neste micromundo). Apesar de esperada, a transferência de conhecimentos construídos na prática, com a simulação para as tarefas propostas, foi esta identificada em apenas sete delas, todas

muito semelhantes às aquelas realizadas pelos sujeitos no computador, conforme ilustrado no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 - Sumário das diferenças entre os grupos experimental e controle por tipo de tarefa

Tipo de tarefa	Diferença entre os grupos experimental e controle
Dinâmico, contextualmente idêntico às tarefas do treinamento (controle de naves no espaço)	7 itens em 10
Dinâmico, contextualmente diferente: lançamento de moedas	Nenhum item
Dinâmico, contextualmente diferente: travessia de um rio	Nenhum item
Dinâmico, contextualmente diferente: bola ao cesto	Nenhum item
Equilíbrio estático: roldanas com dinamômetro	Nenhum item
Equilíbrio estático: equilíbrio com pesos em desnível	Nenhum item
Equilíbrio estático: avaliação de pesos em quatro situações	Nenhum item

Além disso, ao examinar qualitativamente o tipo de desempenho nas sete tarefas onde a transferência de aprendizagem foi identificada, o autor verificou ter havido tão somente o desenvolvimento de estratégias locais que não permitiram aos estudantes a ampliação de *esquemas* (Vergnaud, 1990) para tratamento de situações envolvendo força e movimento. O isomorfismo conceitual das tarefas e o suporte de um ambiente informatizado de simulação não foram condições suficientes para a transferência de aprendizagem, confirmando dados de diversos estudos sobre transferência em ambientes não informatizados (e.g., Lave, 1988, p. 23-44). Ou seja, o uso de ambientes computacionais no ensino não é garantia para a superação de problemas fundamentais no domínio cognitivo da transferência de aprendizagem.

Referimo-nos aqui aos programas comercialmente mais difundidos e que constituem a face socialmente mais conhecida do uso de computadores, tais como os editores de texto, os bancos de dados e as planilhas eletrônicas. As possibilidades de combinação destes aplicativos entre si e com outras ferramentas informatizadas são enormes. Os bancos de dados, por exemplo, podem ser associados a suportes óticos como o CD-ROM a fim de gerar ambientes de tratamento de informação na forma de hipertextos, que transformam a leitura tradicional linear em uma atividade de navegação muito mais dinâmica e flexível. As planilhas eletrônicas, por sua vez, têm sido utilizadas para o ensino de alguns conceitos matemáticos, notadamente algébricos (Capponi, 1992; Rojano, Sutherland, 1991; Falcão, 1992,1993).

Falcão (1992), por exemplo, entrevistou 93 estudantes na faixa de 13-14 anos (8^a série) e 16-17 anos (2^o ano do 2^o grau), a fim de verificar o efeito da planilha eletrônica como ambiente computacional facilitador da passagem da aritmética à álgebra, com ênfase na proposição de equações a partir de problemas verbais. O uso da planilha eletrônica se deu a partir de atividades voltadas para o detalhamento prévio dos elementos do problema, distinção entre variáveis e parâmetros, e escrita de fórmulas genéricas para tratamento de problemas semelhantes (mas com outros dados numéricos). Os dados obtidos (Gráficos 2a e 2b, abaixo) mostraram diferenças significativas entre os grupos experimental (submetido à atividade de treinamento com planilhas eletrônicas) e controle (sem experiência no uso de planilhas), notadamente no subgrupo de alunos de 8^a série, considerados médios em rendimento escolar pelos respectivos professores de matemática. Tais diferenças foram particularmente importantes no que diz respeito ao desenvolvimento de uma sistemática algébrica de trabalho (formalizar primeiro, resolver depois) e à competência para a geração de sentenças matemáticas formais (equações e fórmulas) a partir de dados em linguagem natural.

Gráficos 2a e 2b - Porcentagem de respostas com proposição de expressão geral (equação) anterior à resolução de um problema dado, em sujeitos de 2º ano do 2º grau (A) e 8ª série (B) submetidos ao treinamento com a planilha eletrônica (grupo experimental), ou sem experiência no uso de planilhas (grupo-controle)

Gráfico 2a - Sujeitos do 2º ano do 2º grau

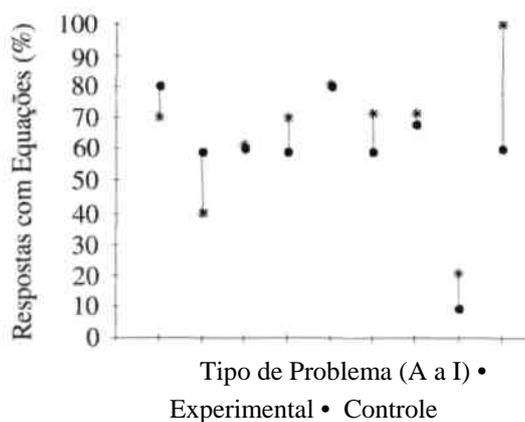
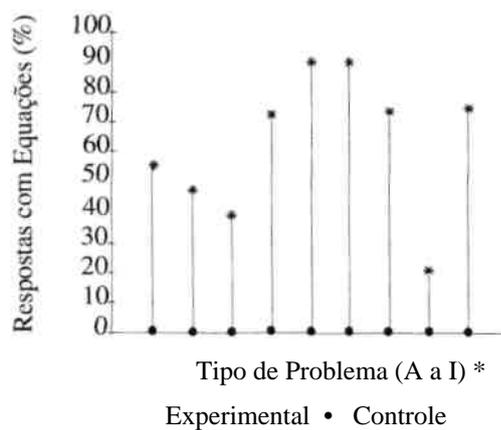


Gráfico 2b - Sujeitos da 8ª série



Estes resultados permitiram ao autor concluir que a planilha eletrônica, em face da combinação de características estruturais e contextuais, fornece um ambiente de tratamento de informações para resolução de problemas aritméticos e algébricos que pode ser utilizado com sucesso pelo professor de matemática, notadamente no que diz respeito à construção de significados na produção de equações a partir de problemas verbais, no contexto da introdução à álgebra elementar.

A perspectiva contextual de caráter local

O *software* educacional exemplifica, por fim, a classe de ferramentas computacionais cujo enfoque são conceitos específicos e situações locais de ensino. Chamamos de *software* educacional aquele programa "não programável", projetado para resolver problemas em uma área restrita do conhecimento, tais como funções lineares e quadráticas. As possibilidades e alternativas comerciais nesta área são praticamente ilimitadas. Do ponto de vista da pesquisa, Schoenfeld (1990), por exemplo, sugere que o uso de programas orientados para conteúdos específicos pode ampliar o número e qualidade dos conceitos matemáticos e científicos tradicionalmente trabalhados na escola, além de facilitar mudanças na dinâmica da relação tutor-aprendiz e na natureza de seu diálogo.

Entretanto, assim como em outras seções deste artigo, preferiremos aqui a via conservadora da reflexão cuidadosa sobre os pré-requisitos necessários para que as mudanças propostas sejam efetivamente alcançadas. Para tanto, discutiremos a seguir alguns aspectos da pesquisa desenvolvida por Meira (1991) acerca do uso de um *software* gráfico (Schoenfeld, 1990) para o ensino de funções.

Grapher é um *software* gráfico como tantos outros de distribuição comercial, capazes de gerar e ligar entre si representações gráficas, algébricas e tabulares de funções. De acordo com os objetivos da pesquisa de Meira (1991), este *software* era esperado funcionar como um ambiente de explora-

ção onde estudantes de 8ª série pudessem registrar e manipular dados coletados em pequenos experimentos com mecanismos físicos diversos. O *design* desta ferramenta ocupou um grupo de pesquisadores e programadores por vários meses, e todos os estudantes envolvidos na pesquisa participaram de um treinamento de familiarização com o *software*. Apesar destes esforços, oito de nove pares dos alunos de 8ª série entrevistados durante três sessões de trabalho nunca recorreram ao *software* como ferramenta para a resolução dos problemas apresentados. Este resultado era inesperado, uma vez que o *software* parecia adequado para o tratamento das tarefas propostas e sua interface de fácil utilização. Entretanto, observamos nesta pesquisa que os estudantes haviam desenvolvido ferramentas não-computacionais de tratamento de tabelas que lhes permitiam resolver a maior parte dos problemas sem lançar mão do ambiente computacional. Verificamos então que, para de fato usar o *software*, os estudantes deveriam: (i) perceber sua utilidade; (ii) compreendê-lo como recurso singular na resolução dos problemas propostos; (iii) estar inseridos em atividades nas quais a utilização do *software* fosse significativa; e (iv) ter acesso a formas de uso do *software* que correspondessem às suas necessidades frente às situações-problema.

A questão é que, apesar de o *software* ter sido pensado no sentido de adequar-se às *tarefas* propostas no estudo, o mesmo tipo de correspondência não existiu entre o *software* e a *atividade* emergente dos estudantes durante as entrevistas e na sala de aula - e.g., a ferramenta para tratamento de tabelas em Grapher era incapaz de registrar de forma flexível a atividade de representação de quantidades própria dos estudantes quando trabalhando apenas com papel e lápis (ver Meira, 1994,1995). Para concluir, observamos que o *design* de Grapher enfocou a análise das tarefas que este *software* poderia supostamente resolver, sem considerar adequadamente (i) o contexto de sua utilização; (ii) a história de seus usuários; e (iii) o que os usuários poderiam efetivamente construir com o *software*. Assim, a realização dos objetivos de utilização de um *software* educacional requer que se projete a ferramenta de forma a refletir as práticas e atividades nas quais seus usuários participam regularmente.

Conclusões

O posicionamento assumido neste artigo é claramente voltado à reflexão das possibilidades e limites do uso do computador na educação escolar. Para tanto, adotamos uma visão de pesquisa que enfatiza a investigação do *processo de uso* (Certeau, 1974/1984) de ferramentas computacionais, em detrimento da perspectiva mais comumente aceita da análise de produtos.

É importante lembrar que as funções do computador, como uma ferramenta da cultura, não estão unicamente estabelecidas pelo seu *hardware*. Por exemplo, um par de óculos é, em larga escala, estruturalmente limitado à função de corrigir problemas visuais: sua função quase que se confunde com o objeto. No caso do computador, em que o *hardware* impõe limites operacionais, mas o *software* é amoldável em função de uma quantidade enorme de aspectos, tal predeterminação é muitíssimo menos importante. Trata-se de uma ferramenta aberta, ou em jargão próprio, programável em vários níveis. Esta característica confere ao computador um interesse inegável enquanto objeto de pesquisa em psicologia cognitiva, e incentiva, justificadamente, esforços no sentido de sua adoção como instrumento pedagógico. Este último aspecto, entretanto, merece reflexões cuidadosas, no sentido de se preservar os aspectos mais valiosos desta ferramenta e descartar modismos incentivados por duvidosos interesses comerciais e políticos.

Como vimos, a pesquisa de Falcão (1992) mostrou que o computador pode se constituir uma ferramenta especialmente poderosa quando voltada para conteúdos específicos, num ambiente de trabalho necessariamente coordenado pelo professor, e englobando simultaneamente outras ferramentas da cultura. Por outro lado, a eficácia do computador enquanto "acelerador cognitivo" geral e não específico é questionável. Os dados de Meira (1987, 1991), por exemplo, mostraram que o desenvolvimento de competências internas à atividade de programação, ou mesmo a aprendizagem de conceitos específicos através do uso de *software* ou aplicativos, não são facilmente alcançados e dependem de uma série de aspectos que não estão restritos à estrutura do ambiente computacional.

Com base em pesquisas dessa natureza, oferecemos a seguir uma lista de recomendações para a escolha e/ou *design* adequado dos ambientes computacionais para a sala de aula:

1. Observar detidamente todas as características e capacidades do ambiente computacional. Aqui, o papel do educador, do pesquisador em cognição e do especialista em informática é fundamental e precede qualquer tentativa de uso de ferramentas computacionais na escola.

2. Refletir cuidadosamente sobre os objetivos pedagógicos de utilização de determinado ambiente (e até decidir que nenhum entre aqueles disponíveis pode auxiliar na realização destes objetivos), e sobre as competências prévias e a história de seus futuros usuários.

3. Analisar os contextos de utilização do ambiente, no que diz respeito aos conceitos a serem trabalhados, à presença de outras ferramentas pedagógicas, à familiaridade dos usuários com ferramentas computacionais, e até à quantidade e qualidade das máquinas disponíveis numa determinada situação de ensino.

4. O ambiente escolhido deve facilitar a conceptualização de um dado domínio do conhecimento a partir da manipulação de suas propriedades fundamentais. Por exemplo, um *software* destinado ao ensino de funções lineares deve permitir a exploração dinâmica das noções de inclinação da reta e interseção com o eixo vertical, uma vez que estes são parâmetros definidores de classes de retas no plano cartesiano.

5. O ambiente deve ter alto grau de interatividade com o usuário, e entidades nele representadas devem permitir a exploração de idéias de forma flexível. Vale dizer também que não há interação mais completa e maiores possibilidades de exploração, quando o contato dos estudantes com qualquer ferramenta instrucional (informatizada ou não) é feito através da mediação do professor. Neste sentido, o computador não substitui o professor, mas, se usado adequadamente, seu posicionamento diante do conhecimento e das possíveis formas de trabalhá-lo na sala de aula.

6. Um *software* adequado deve permitir a investigação de conceitos específicos através de múltiplas representações, interligadas dinamicamente e

de forma explícita para o usuário. No estudo do conceito de funções matemáticas, por exemplo, o *software* deve necessariamente permitir a integração dinâmica de suas representações algébricas, tabulares e gráficas.

7. O programa deve fazer o trabalho mecânico para que o usuário possa deter-se na exploração conceitual. Em ambientes não-computacionais, esta observação equivaleria a defender a idéia de que os estudantes poderiam consultar livremente a tabuada enquanto resolvem problemas envolvendo multiplicações.

8. O ambiente computacional deve, de alguma forma, facilitar a reflexão e a negociação de significados entre os participantes da atividade. Isto significa que o ambiente deve permitir múltiplas formas de abordagem para problemas, e o professor deve utilizar os processos e produtos ali desenvolvidos como argumentos para discussões em sala de aula.

9. Finalmente, é importante observar também que programas bastante simples, que podem eventualmente não preencher os requisitos de sofisticação listados acima, podem ter lugar como ferramentas na exploração e construção de conhecimentos na escola, desde que adequadamente inseridos em atividades suficientemente complexas e ricas em significado. Um *software* de treino ortográfico, por exemplo, não possui grande valor educacional se usado simplesmente como exercício das dificuldades ortográficas tradicionais (por exemplo, j-g, s-z, ss-ç, ou o uso do "m" antes de "p" e "b"). Este mesmo *software*, entretanto, pode ser inserido numa atividade mais complexa em que o computador fornece *feedback para* erros e acertos enquanto o usuário constrói listas de palavras (certas e erradas) que permitam a observação e identificação de padrões e regularidades ortográficas.

Encerramos com alguns pontos mais gerais que podem servir de guia para a reflexão do educador, em qualquer área do conhecimento escolar, no que diz respeito ao uso de computadores na sala de aula. Em primeiro lugar, ferramentas informatizadas são instrumentos de mediação na produção de conhecimentos, e não panacéias eletrônicas que poderiam eventualmente ser unicamente responsáveis por mudanças estruturais positivas (ou negativas) na sala

de aula. De maneira mais radical, diríamos que o uso de computadores na educação não mudará a escola se, pelo menos paralelamente, não mudarmos a própria escola e suas formas tradicionais de ensino. Em segundo lugar, nenhum projeto de uso da informática na educação poderá promover mudanças significativas nas relações de ensino e aprendizagem na escola, se limitar-se a um único modelo de utilização do computador, seja através do ensino de programação, ou da utilização de aplicativos ou *software* educacional. Além disso, a informática educativa deve revestir-se de alternativas e plasticidade no sentido de levar para a sala de aula outros instrumentos e ambientes como a calculadora, os sistemas de hipertexto, a computação gráfica, o correio eletrônico, a Internet, etc. Por fim, mas em primeiro plano, advogamos a necessidade da pesquisa e do planejamento cuidadoso como prioritários à implementação de experiências pedagógicas em larga escala. Neste sentido, acreditamos que a psicologia cognitiva pode oferecer ferramentas importantes à pesquisa das possibilidades de mudança e melhoria do ensino através da informática educativa.

Referências bibliográficas

BRUNER, Jerome S. *The relevance of education*. Middlesex : Penguin Books, 1976.

CAPPONI, B. Designations dans un tableur et interactions avec les connaissances algébriques. *Petit x*, Paris, v. 29, p. 57-88, 1992.

CARRAHER, Terezinha Nunes, MEIRA, Luciano. Learning computer languages and concepts. *The Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, San Diego, CA., v. 11, n. 1, p. 2-8, 1989.

CERTEAU, Michel de. *The practice of everyday life*. Berkeley : University of California Press, 1974/1984.

CLEMENTS, D. H. Effects of LOGO and CAI environments on cognition and creativity. *Journal of Educational Psychology*, Baltimore, Md., v. 78, n. 4, p. 309-318, 1986.

DISESSA, Andrea A. Unlearning aristotelian physics : a study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, Norwood, v. 6, p. 37-75, 1982.

FALCÃO, Jorge T da Rocha. Computadores e educação : breves comentários sobre alguns mitos. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, Brasília, v. 70, n. 165, p. 243-256, 1989.

Da física intuitiva à dinâmica newtoniana : relevância de simulações em computador como auxiliares instrucionais. Recife, 1987. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco.

Passagem da aritmética à álgebra : exploração do potencial didático do treinamento em escrita de fórmulas combinado à utilização de planilhas eletrônicas. Recife : FACEPE, 1993. Projeto de pesquisa.

Représentation du problème, écriture de formules et guidage dans le passage de l'arithmétique à l'algèbre. Paris, 1992. Tese (Doutorado) - Université de Paris V/Sorbonne.

LAVE, Jean. *Cognition in practice : mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge : Cambridge University Press, 1988.

MAGINA, S. M. *O computador como ferramenta na aquisição e desenvolvimento do conceito de ângulo em crianças*. Recife, 1988. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco.

MEIRA, Luciano. Explorações em compreensão matemática : o uso e a produção de representações materiais. In: INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS. *Seminário sobre novas perspectivas de educação matemática no Brasil*. Águas de São Pedro, SP, 1º a 6 de maio de 1994. Brasília : Inep, 1994. (Série Documental. Eventos, n. 4,2ª parte)

Explorations of mathematical sense-making : an activity-oriented view of children's use and design of material displays. Berkeley, 1991. Tese (Doutorado) - Graduate Group in Science and Mathematics Education, University of California.

Geometrias-em-ação na programação em LOGO. Recife, 1987. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco.

. Mathematical concepts as tools: learning about angles in LOGO programming. In: ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR THE PSYCHOLOGY OF MATHEMATICS EDUCATION (PME), 14. *Proceedings...* Oaxtepec, Mexico, 1990. V.1

_____ The microevolution of mathematical representations in children's activity. *Cognition and Instruction*, Hillsdale, v. 13, n. 2, p. 269-313, 1995. "

Reflexões sobre ensino e aprendizagem na Internet. Recife : UFPE, 1997. Projeto de pesquisa submetido e aprovado pela CAPES-PRONEX. Departamento de Psicologia e Departamento de Ciências da Computação.

PAPERT, Seymour. *LOGO : computadores e educação*. São Paulo : Brasiliense, 1985.

- PEA, R. D., KURLAND, D. M. *LOGO programming and the development of planning skills*. New York : Center for Children and Technology - Bank Street College of Education, 1984. (Technical Report, n. 16).
- PIAGET, Jean. *L'Epistemologie génétique*. Paris : Presses Universitaires de France, 1970.
- A equilibração das estruturas cognitivas : processo central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro : Zahar, 1976.
- ROJANO, T., SUTHERLAND, R. Symbolising and solving algebra word problems : the potential of a spreadsheet environment. In: ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR THE PSYCHOLOGY OF MATHEMATICS EDUCATION (PME), 15. *Proceedings...* Assisi, Italia, 1991.
- SCHOENFELD, A. Grapher : a case study in educational technology, research, and development. In: DiSESSA, Andrea A. et al. (Ed.). *Toward a scientific practice of science education*. Hillsdale : Erlbaum, 1990.
- STERNBERG R. J. *Beyond IQ : atriarchic theory of human intelligence*. Cambridge : Cambridge University Press, 1985.
- VERGNAUD, G La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.
- VYGOTSKY, Lev Semynovich. *Pensée et langage*. Paris : Messidor, 1985.
- _____ *A formação social da mente*. São Paulo : Martins Fontes, 1991.
- WHITE, B. Y. Designing computer games to help physics students understand Newton's Laws of motion. *Cognition and Instruction*, Hillsdale, v. 1, n. 1, p. 69-108, 1984.

Recebido em 7 de março de 1997.

Luciano Meira, Ph.D. em Educação Matemática pela University of California at Berkeley, EUA, é professor adjunto do Departamento de Psicologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Jorge T. da Rocha Falcão, doutor em Psicologia da Aprendizagem pela Université Paris V-Sorbonne, França, é professor adjunto do Departamento de Psicologia da UFPE.

This article compares two models of teaching and learning with computers at school. The first model, called structural, includes computational and pedagogical environments oriented towards the development of broad cognitive structures and general problem-solving heuristics. The second model, called contextual, emphasizes the use of computational tools in conceptual development within specific knowledge domains. The article presents a review of several cognitive studies developed by the authors and other investigators of computers in education, and offers a set of parameters for thinking about the instructional use of computers at school and, in particular, for mathematics teaching.

Cet article propose de comparer deux modèles d'usage de l'ordinateur comme outil d'enseignement et d'apprentissage à l'école. Le premier modèle, nommé structural, correspond à des scénarios pédagogiques informatisés, ayant comme but central le développement cognitif général et des heuristiques générales de résolution de problèmes. Le deuxième modèle, nommé contextuel, met l'accent sur l'usage des outils informatiques dans des contextes pédagogiques qui s'adressent à des domaines spécifiques de la connaissance. L'article présente, donc, une analyse critique de l'ensemble d'études réalisées jusqu'à présent sur

le sujet de l'informatique éducative, essayant de contribuer au débat critique sur l'usage de l'ordinateur comme outil pédagogique, spécialement dans le domaine de l'enseignement des mathématiques.

Este artículo discute dos modelos de utilización del computador como herramienta de enseñanza y aprendizaje en la escuela. El primer modelo, que denominamos estructural, incluye los ambientes computacionales y pedagógicos orientados al desarrollo de estructuras cognitivas de base y de heurísticas generales de resolución de problemas. El segundo modelo, denominado contextual, enfatiza el uso de herramientas computacionales orientadas al desarrollo de contenidos específicos del conocimiento. Este artículo presenta una revisión crítica de estudios cognitivos desarrollados tanto por los autores como por otros investigadores de esta área. Esto con el objetivo de proveer parámetros de reflexión sobre el uso del computador como herramienta de instrucción, en particular en relación a la enseñanza de la matemática.