

Ensino de matemática em ambientes complexos: a necessidade de orquestrações instrumentais

Teaching mathematics in complex environments: the necessity of instrumental orchestrations^{1 1}

Luc Trouche²

RESUMO

Após uma introdução que aborda algumas questões básicas, este artigo está organizado em torno de três pontos: (1) O referencial teórico da chamada "abordagem instrumental", que tem sido tema nos últimos dois simpósios CAME; (2) Uma análise de dois processos (instrumentalização e instrumentação) que interagem na gênese instrumental; e (3) A introdução da ideia de orquestração instrumental como uma forma de permitir que o professor auxilie na gênese instrumental dos alunos.

Palavras-chave: Artefato; Instrumento matemático; Instrumentação; Instrumentalização; Orquestração instrumental.

ABSTRACT

After an introduction which addresses some basic questions, this article is organized around three points: (1) The theoretical framework of the so-called "instrumental approach" which has been a theme in the last two CAME symposia; (2) A consideration of two processes (instrumentalization and instrumentation) which interact in the instrumental genesis; and (3) The introduction of the idea of instrumental orchestration as a way of allowing the teacher to assist the student's instrumental genesis.

Keywords: Artifact, Mathematical instrument, Instrumentation, Instrumentalization, Instrumental orchestration..

RÉSUMÉ.

Après une introduction abordant quelques questions fondamentales, cet article s'articule autour de trois points: (1) Le cadre théorique de l'approche dite « instrumentale », thème des deux derniers symposiums de la CAME ; (2) Une réflexion sur deux processus (instrumentalisation et instrumentation) qui interagissent dans la genèse instrumentale; et (3) L'introduction de l'idée d'orchestration instrumentale comme moyen permettant à l'enseignant d'accompagner l'élève dans la genèse instrumentale.

Mots Clés: Artefact, Instrument mathématique, Instrumentation, Instrumentalisation, Orchestration instrumentale

¹ Este artigo foi publicado originalmente no *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 9: 281–307, 2004. @ 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Com o título: MANAGING THE COMPLEXITY OF HUMAN/MACHINE INTERACTIONS IN COMPUTERIZED LEARNING ENVIRONMENTS: GUIDING STUDENTS' COMMAND PROCESS THROUGH INSTRUMENTAL ORCHESTRATIONS. Agradecemos a Luc Trouche, seu autor, por permitir à EMD a republicação o que muito valoriza a revista. Tema muito atual.

² Luc Trouche. Professor Emérito da Escola Normal Superior de Lyon-França. Luc.trouche@wanadoo.fr

Seção 1

O título desta vertente do Simpósio foi "Mente e Máquina". Um título nunca é neutro. Ele simultaneamente oculta e revela. Por que não escolher "Cérebro e Máquina", "Mão e Máquina", "Corpo e Máquina", "Humano e Máquina", "Mente e Ferramenta" etc.? Escolher o vocabulário é sempre uma questão muito importante.² Começarei minha reflexão com este ponto: quais são as principais ideias compartilhadas por todos (novamente o corpo...) sobre as relações entre "humano" e "máquinas", e quais são as principais questões? Sobre essas questões, resumirei meu ponto de vista e minha escolha de vocabulário.

1. QUESTÕES BÁSICAS

Apresentarei este artigo considerando primeiro algumas ideias compartilhadas e em seguida alguns pontos de vista opostos relacionados ao tema "mente e máquina".

1.1. Ideias Compartilhadas

Desde o início, usarei a palavra "ferramenta" em vez de "máquina". Para mim, a palavra "máquina" inclui ideias de complexidade e manufatura industrial. A palavra "ferramenta" é mais geral: um martelo é uma ferramenta, uma bússola é uma ferramenta e uma calculadora é uma ferramenta. Usarei a palavra "ferramenta" no sentido de algo disponível para sustentar a atividade humana. As ferramentas podem ser materiais ou culturais (como as línguas, por exemplo). Ao falar de uma ferramenta, antes de considerar seus usuários e seus usos, falarei de um artefato (ver Seção 2.1).

- A primeira ideia compartilhada é a importância das ferramentas para definir humanidade. Pode parecer paradoxal dizer que o que caracteriza uma pessoa é externo a ele/ela, mas, como afirma Debray (2001), “le don de la prothèse fait l’humain de l’homme, lequel s’humanise en extériorisant ses facultés dans un processus d’objectivation sans fin” (o dom da prótese faz o humano do homem, o qual se humaniza ao exteriorizar suas faculdades num processo de objetivação sem fim).
- A segunda ideia compartilhada é que mesmo ferramentas elementares condicionam profundamente a atividade humana: “o desenvolvimento da matemática sempre

dependeu das ferramentas materiais e simbólicas disponíveis para cálculos matemáticos" (ARTIGUE, 2002). Mesmo algumas ferramentas muito básicas podem ter efeitos importantes: Lavoie (1994), por exemplo, mostra as consequências da introdução da pena de ferro (em vez da pena de ganso) para a aprendizagem da aritmética no século XIX (escrever com mais facilidade permitiu que os alunos realizassem cálculos mais longos à mão, o que levou a uma introdução mais precoce da aritmética nos currículos). As ferramentas moldam o ambiente: "as ferramentas encerram parte da ontologia matemática do ambiente e fazem parte da teia de ideias e ações nele incorporadas" (NOSS e HOYLES, 1996, p. 227).

- A terceira ideia compartilhada é que o uso de ferramentas, mesmo as mais elementares, cria "automatismos" e procedimentos rotineiros como em Bourdieu, 2003, descreve para o caso da gestão tradicional de cereais no Norte da África". Como controlar esses automatismos é uma questão real (ver Seção 4), especialmente em processos de aprendizagem.

1.2. Algumas Oposições

1.2.1 Humano e Máquina vs. Mente e Máquina (ou: o que sobre a mão?)

Pode-se distinguir, em primeiro lugar, uma oposição entre as culturas Ocidental e Oriental, sobre o trabalho da mão e o trabalho da mente:

– A cultura ocidental estabelece uma oposição estrutural entre as atividades humanas consideradas “manuais” e aquelas consideradas “intelectuais- nas quais a primazia é dada ao intelectual, isto é, aquilo que acontece na cabeça, sobre o trabalho realizado por qualquer outra parte do corpo (Bosch e Chevallard, 1999). No canto oposto, a cultura oriental considera que existe uma interação dialética entre as mãos e a mente, como na seguinte citação, que descreve a síntese gradual de “gestos próprios”, um processo que o adulto realizado não reconhece mais por toda a sua complexidade: *Entre force et douceur, la main trouve, l'esprit répond. Par approximations successives, la main trouve le geste juste. L'esprit enregistre les résultats et en tire peu à peu le schéma du geste efficace, qui est d'une grande complexité physique et mathématique, mais simple pour celui qui le posséde. Le geste est une synthèse (. . .). L'adulte ne se rend plus compte qu'il lui a fallu accomplir un travail de synthèse pour mettre au point chacun des gestes qui forment le soubassement de son activité consciente, y compris de son activité intellectuelle. Il ne voit plus ce*

fondement et ne peut par conséquent plus le modifier (TCHOUANG TSEU, in BILLETER, 2002).

Obviamente, não se trata apenas de uma oposição entre duas culturas “geográficas” (ocidental e oriental), mas também de uma oposição entre dois pontos de vista filosóficos, um idealista e um dialético, como apontado por Noss e Hoyles (1996, p. 52). Vygotski (1934), como ilustração do ponto de vista dialético, evocou essa frase de Francis Bacon (1600): “Nec manus, nisi intellectus, sibi permissus, multam valent: instrumentis et auxilibus res perficitur” (a mão e a inteligência humanas, sozinhas, são impotentes: o que lhes dá poder são as ferramentas e os assistentes fornecidos pela cultura). Adotarei esse ponto de vista e, a partir desse momento, falarei de interações “humano/máquina”, implicando ações humanas, incluindo gestos e pensamento. Por exemplo, não existem três tipos distintos de computação (manual, inteligente e com uma calculadora): calcular com uma calculadora mobiliza a calculadora, obviamente, mas também uma ou duas mãos e uma mente.

1.2.2 Mente independente do cérebro vs. dependente do cérebro (ou: a mente é um espírito puro?)

Um ponto de vista cognitivista puro (Houde et al., 1998, p. 84) considera as relações entre cérebro e mente como as relações entre hardware e software em um computador. De acordo com esse ponto de vista, a ciência da mente seria uma ciência especial, a ciência do pensamento. Ao contrário, pode-se considerar que a compreensão do funcionamento da mente precisa levar em conta os diferentes níveis de organização funcional dentro do sistema nervoso. Adotarei esse segundo ponto de vista, que é o de Changeux (2002) ou Houde et al. (2002). Changeux desenvolve a hipótese da existência, dentro do cérebro, de duas grandes redes neurais: uma rede de tratamento, composta por processadores paralelos e a outra, rede dedicada às funções de supervisão, incluindo a tomada de decisões, comportamento orientado a objetivos e planejamento sistemático. Houde observa que, durante uma tarefa lógico-dedutiva, nosso cérebro pode espontaneamente trabalhar economicamente, ou seja, mobilizando apenas a primeira rede, percebendo palavras, formas e espaço. Isso nos permite entender o seguinte fenômeno (Guin e Trouche, 1999), em que as respostas dos alunos à pergunta “A função f definida por $f(x) = \ln x + \operatorname{sen} x$ tem limite $+\infty$ quando x se aproxima de $+\infty$?” eram fortemente dependentes do ambiente. Enquanto teoremas elementares permitem responder sim à

pergunta, se os alunos tiverem uma calculadora gráfica, devido à oscilação da representação gráfica observada (Figura 1), 25% deles responderam não. Em um grupo de alunos do mesmo nível sem calculadora gráfica, apenas 5% de respostas erradas foram coletadas. O trabalho dos alunos é, portanto, alterado pela multiplicidade de comandos facilmente disponíveis, fornecendo uma variedade de visões dessa função. A mobilização da rede de supervisão, de que Changeux fala, exige esclarecimento. Chamarei a mobilização individual dessa rede de processo de comando.³ Esse processo é muito importante em um ambiente de calculadora, que permite muitos gestos, disponibiliza muitas imagens e, portanto, favorece muitos procedimentos rotineiros.³

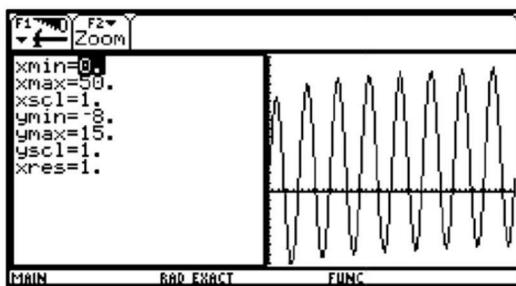


Figure 1. A representation of the function $x \mapsto \ln x + 10 \sin x$.

2. UM NOVO REFERENCIAL TEÓRICO: A ABORDAGEM INSTRUMENTAL

Agora, estudaremos as interações homem/máquina em relação aos ambientes informatizados de aprendizagem (AE). A noção de AE requer alguma explicação:

- A metáfora do ambiente é importante, colocando em evidência as questões da viabilidade dos objetos;
- Falar de ambiente de aprendizagem não é neutro, pois insiste na iniciativa e atividade dos alunos;
- Usaremos a expressão informatizado em um sentido amplo de um ambiente com recursos de software disponíveis para sustentar a atividade dos alunos. Nesse sentido, uma sala de aula com calculadoras pode ser considerada como um CLE.

³ Todas as figuras são do texto original referentes ao uso da TI-92. Os atuais leitores podem utilizar outras ferramentas aproveitando a situação proposta.

Lagrange et al. (2003) discutiram a relevância (em relação à pesquisa em CLE) de uma abordagem de pesquisa multidimensional, utilizando diferentes arcabouços teóricos. Aqui, no entanto, escolherei apenas uma abordagem, a instrumental, e extrairei dela todas as ferramentas teóricas relevantes para o nosso estudo, ou seja, a interação homem-máquina. Obviamente, essa abordagem não foi escolhida aleatoriamente; ela já foi utilizada em pesquisas recentes com alguns resultados interessantes e foi introduzida em vários artigos, em particular no último Simpósio CAME de Michele Artigue (ARTIGUE, 2002; RUTHVEN, 2002). Começo esclarecendo alguns pontos.

2.1. Distinguindo entre Artefato e Instrumento

Trabalhos recentes na área de ergonomia cognitiva nos fornecem meios teóricos para compreender melhor a interação homem/máquina. Verillon e Rabardel (1995) enfatizam a diferença entre um artefato – um dado objeto – e um instrumento como um construto psicológico: “o instrumento não existe em si mesmo, torna-se instrumento quando o sujeito consegue se apropriar dele e o integra à sua atividade”. Mais precisamente, um instrumento pode ser considerado uma extensão do corpo, um órgão funcional composto por um componente artefato (um artefato, ou a parte de um artefato mobilizada na atividade) e um componente psicológico. A construção desse órgão, denominada gênese instrumental, é um processo complexo, que demanda tempo e está vinculado às características do artefato (suas potencialidades e suas). É importante distinguir entre gestos e esquemas. Talvez uma metáfora possa ajudar a esclarecer a diferença: um esquema poderia ser comparado a um iceberg, sendo a parte emersa os gestos (comportamento elementar que pode ser observado), e a parte submersa constituída por invariantes operatórios. Um esquema é o locus psicológico da relação dialética entre gestos e invariantes operatórios, isto é, entre atividade e pensamento. Invariantes operatórios envolvidos no esquema guiam os gestos e, ao mesmo tempo, a repetição de tais gestos, em um determinado ambiente, instala na mente um conhecimento particular.

Consideremos o seguinte exemplo (Drijvers, em Guin et al., 2004), um traço do esquema “Isolar–Substituir–Resolver” (ISS, ver Figura 2). Este esquema permite que os alunos resolvam um sistema de duas equações com duas incógnitas. Pode aparecer como uma sequência de gestos.

F1- Tools	F2- Algebra	F3- Calc	F4- Other	F5 Pr3m10	F6- Clean UP	
--------------	----------------	-------------	--------------	--------------	-----------------	--

■ $\text{solve}(x + y = 31, y)$
 $y = 31 - x$

■ $x^2 + y^2 = 25^2 \mid y = 31 - x$
 $2 \cdot x^2 - 62 \cdot x + 961 = 625$

MAIN	RAD EXACT	FUNC	2/30
------	-----------	------	------

F1- Tools	F2- Algebra	F3- Calc	F4- Other	F5 Pr3m10	F6- Clean UP	
--------------	----------------	-------------	--------------	--------------	-----------------	--

$y = 31 - x$

■ $x^2 + y^2 = 25^2 \mid y = 31 - x$
 $2 \cdot x^2 - 62 \cdot x + 961 = 625$

■ $\text{solve}(2 \cdot x^2 - 62 \cdot x + 961 = 625, x)$
 $x = 24 \text{ or } x = 7$

MAIN	RAD EXACT	FUNC	3/30
------	-----------	------	------

Figure 2. A trace of the ISS scheme on the TI-89.

no teclado da calculadora, mas requer conhecimento considerável, embora não necessariamente o mesmo conhecimento para todos os alunos.

Por exemplo, "o fato de o mesmo comando *solve* ser usado na TI-89 para soluções numéricas e para o isolamento de uma variável requer uma concepção ampliada de *solve*: também significa desmembrar uma variável e expressar uma das variáveis em termos de uma ou mais outras para processá-la posteriormente" (Drijvers em Guin et al., 2004, p. 227). O esquema ISS requer a segunda concepção. Assim, o esquema ISS é constituído tanto por gestos observáveis quanto por conhecimento envolvido na execução dos gestos.

2.2. Distinguindo Diferentes Tipos de Esquemas

Rabardel (1995) introduziu a noção de esquema de utilização de um artefato, que ele descreve como um esquema que organiza a atividade com um artefato associado à realização de uma determinada tarefa. Ele distingue entre dois tipos de esquemas de utilização: esquemas de uso orientados para o gerenciamento do artefato (ligar uma calculadora, ajustar o contraste da tela, escolher uma tecla específica etc.) e esquemas de ação instrumentada, entidades orientadas para a execução de tarefas específicas (calcular o limite de uma função, por exemplo).

Pode parecer surpreendente chamar algo que poderia parecer um simples gesto de esquema de uso (ou seja, algo associado a invariantes operatórios). No entanto, mesmo um simples gesto produz e resulta de algum conhecimento. Encontramos, por exemplo, evidências (Guin e Trouche, 1999) da importância de um esquema de uso específico, o desvio aproximado, que consiste em uma combinação de pressionamentos de tecla, que retorna, ao trabalhar com uma calculadora simbólica no modo "exato", um valor aproximado de uma expressão simbólica. Este esquema de uso pode ser visto como um

gesto simples, voltado para o gerenciamento da calculadora. Olhar além do simples gesto no teclado da calculadora envolve considerar o gesto não como um caso isolado, mas como um componente dos esquemas de ação instrumentados implementados pelo aluno para resolver a tarefa dada. As várias funções do esquema de desvio aproximado incluem:

- Função de antecipação ou verificação (obter um valor aproximado pode ser uma etapa em um processo para obter uma prova);
- Função de determinação (o valor aproximado obtido é considerado como um resultado).

A observação do trabalho dos alunos indica regularidades nas funções para as quais este esquema é empregado (Trouche, em Guin et al., 2004): para alguns alunos, o desvio aproximado sempre tem uma função de determinação, para outros, sempre tem uma função de antecipação ou verificação. Em outras palavras, contribui para a construção de diferentes tipos de conhecimento sobre, digamos, os números reais. Subjacente a este esquema, existem diferentes invariantes operativos: é útil considerar tais ações em relação a esquemas, e não como simples gestos. A observação de tais regularidades requer que os esquemas de uso sejam considerados como componentes de entidades maiores, esquemas de ação instrumentados.

2.3. Esquemas Sociais ou Individuais?

Rabardel e Samurçay (2001) definem esquemas sociais da seguinte maneira: “eles são elaborados e compartilhados em comunidades de prática e podem dar origem à apropriação pelos sujeitos, inclusive os incluir em processos de formação”. Essa definição nos permite ir além de uma antiga oposição entre duas abordagens teóricas: a epistemologia genética (Piaget, 1936), com seu foco no mundo da natureza, e as teorias da mediação (Vygotski, 1934), focadas no mundo da cultura.⁴ Um esquema, segundo Piaget, é, para um sujeito, um meio de assimilação pessoal de uma situação e objetos com os quais ele se depara e, ao mesmo tempo, Rabardel e Samurçay (2001) insistem nesse ponto, um esquema é em si o produto de uma atividade de assimilação, na qual o ambiente – e os artefatos disponíveis – desempenham um papel importante. Artefatos sempre carregam um elemento social: são produtos da experiência social: “Ferramentas não são passivas, são elementos ativos da cultura na qual estão inseridas” (Noss e Hoyles, 1996, p. 58). Desse ponto de vista, é impossível distinguir, por um lado, estruturas cognitivas (esquemas) e, por outro, sistemas culturais: esquemas sempre têm uma parte social e a gênese instrumental sempre tem aspectos individuais e sociais. Nesse sentido, a noção de esquema social se aproxima muito da noção de abstração situada, definida por Noss e

Hoyles (1996, p. 121) “como uma construção complexa sendo um produto de atividade, contexto, história e cultura”.

O “equilíbrio” entre os aspectos individuais e sociais depende de:

- Fatores materiais (é óbvio que a intimidade das telas das calculadoras em comparação com as telas dos computadores favorece o trabalho individual enquanto telas de computador são mais propícias ao trabalho em pequenos grupos);
- Disponibilidade de artefatos (os alunos só usam calculadoras na aula de matemática, ou às vezes calculadoras apenas na aula de matemática, ou às vezes elas são emprestadas a eles durante todo o ano, ou às vezes pertencem a eles);
- A atitude e o uso do artefato pelo professor e a integração que ele/ela constrói nas atividades em sala de aula (consulte a Seção 4 abaixo). Portanto, um instrumento é o resultado de uma construção por um sujeito, em uma comunidade de prática, com base em um determinado artefato, por meio de um processo, a gênese instrumental. Um instrumento é uma entidade mista, com um determinado componente (um artefato, ou parte de um artefato mobilizado para realizar um tipo de tarefa) e um componente psicológico (os esquemas que organizam a atividade do sujeito). Todos os esquemas têm aspectos individuais e sociais. Existem dois níveis de esquemas: esquemas de uso, direcionados ao gerenciamento do artefato, e esquemas de ação instrumentada, orientados pela própria atividade.

3. DOIS PROCESSOS INTIMAMENTE INTER-RELACIONADOS

Eu considero agora a própria gênese instrumental com mais profundidade. Ela pode ser vista como a combinação de dois processos (ver Figura 3)

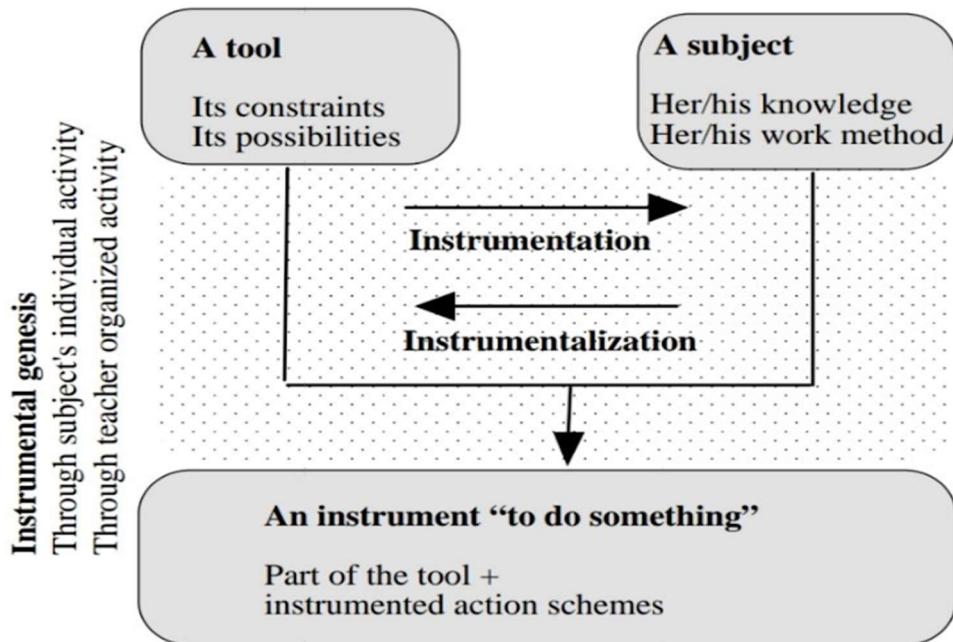


Figure 3. Instrumental genesis as a combination of two processes.

- Um processo de instrumentalização (direcionado ao artefato);
- Um processo de instrumentação (direcionado ao sujeito).

3.1. O processo de instrumentação

Como observam Noss e Hoyles (1996, p. 58): “Longe de investir o mundo com sua visão, o usuário de computador é dominado por suas ferramentas”. É importante dar um nome a esse processo de domínio⁵: instrumentação é precisamente esse processo pelo qual o artefato imprime sua marca no sujeito, ou seja, permite que ele/ela desenvolva uma atividade dentro de alguns limites (as restrições do artefato). Pode-se dizer, por exemplo, que o bisturi instrumenta um cirurgião. Este é obviamente o caso em todo CLE. Para compreender esse processo, precisamos primeiro estudar as restrições e as “habilitações”⁶ de um artefato. No caso de um CLE, essas restrições estão ligadas à transposição computacional, descrita por Balacheff (1994) como “o trabalho sobre o conhecimento que permite uma representação simbólica do

mesmo e a implementação dessa representação por um sistema computacional''. Para analisar essa transposição, distinguimos entre três tipos de restrições (Guin e Trouche, 2002):

- Restrições internas intrinsecamente ligadas ao *hardware*;
- Restrições de comando ligadas à existência e à forma (ou seja, a sintaxe) dos vários comandos;
- Restrições de organização, ligadas à organização do teclado e, de forma mais geral, da interface entre o artefato e o usuário.

A Tabela 1 ilustra essa tipologia para uma calculadora específica.

É claro que é possível questionar a natureza de uma determinada restrição em relação a um desses três tipos definidos. O objetivo dessa tipologia de restrições, no entanto, não é definir estritamente um conjunto totalmente autocontido de categorias, mas sim facilitar para o professor ou pesquisador realizar uma análise a priori de diferentes maneiras de executar tarefas específicas possibilitadas pelo artefato.

Em um ambiente de calculadora gráfica, as restrições de artefato podem, portanto, contribuir para a construção de esquemas específicos: obviamente, as restrições de organização das calculadoras gráficas favorecem o estudo gráfico de funções (na maioria das vezes, as teclas para o estudo numérico de funções estão localizadas “atrás” das teclas para o estudo gráfico). Trouche (2003).

Quadro 1

Algumas restrições de uma calculadora gráfica para cálculo de limites

Calculadora usada: Instrumentos Texas TI-92

Restrições internas: por que, por natureza, pode o artefato fazer? Uma calculadora simbólica contém um sistema CAS (Computer Algebra System) que pode determinar um limite apenas se a expressão matemática correspondente for "conhecida" pelo sistema. Por exemplo, a função matemática bem definida.



Figure a

A função da Figura a, $f(x) = \frac{\sqrt{x} + \cos(x)}{x + \sin(x)}$ tem limite bem definido para $x \rightarrow \infty$, mas é desconhecido pelo algoritmo, por isso coloca indefinido. Uma calculadora gráfica pode também (como um calculador de gráfico) apresentar gráfico um informações numéricas sobre o comportamento local de uma função. O processo é, portanto, pela computação numérica

2) Comandos restritivos (quais são os comandos viáveis?)

Existe apenas um comando para o cálculo do limite. Ele está indicado na aplicação de um cálculo formal, veja a Figura b (item 3)

A sintaxe desse comando é: "(limf(x), x, a)" que corresponde à ordem na indicação de o $\lim f(x)$ quando x tende a a .

No entanto esse comando pode ser combinado com *desvio aproximado* (ver 2.2). Pode-se verificar (Figura c) que este comando de limite aplicado à função $f(x) = \cos x$

Não leva a um resultado diretamente, mas em vez disso o resultado é obtido trocando pelo valor aproximado (3ª linha da tela da Figura c.)

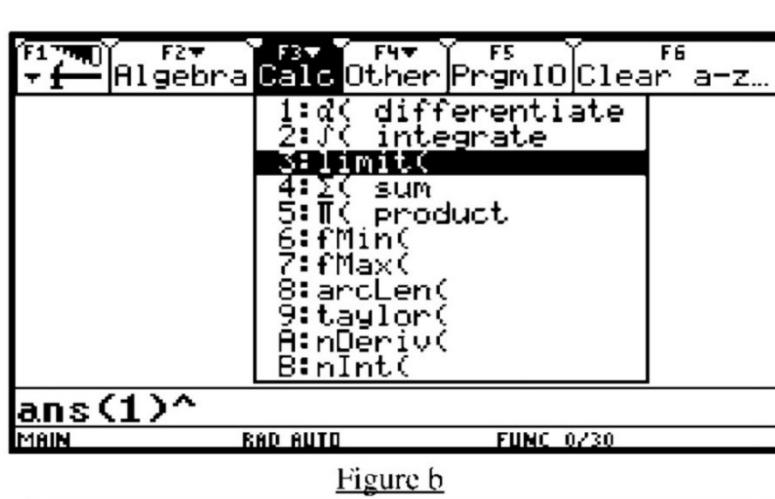


Figure b

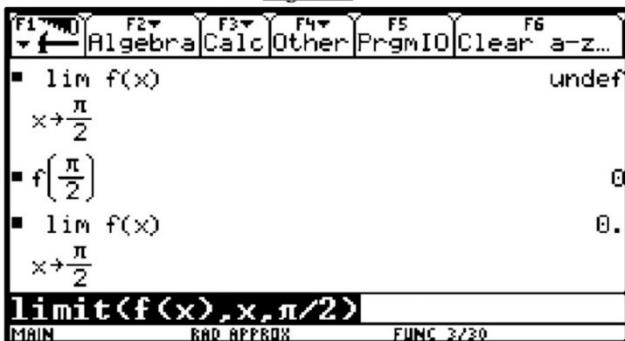


Figure c

3) Organização restritiva

As diferentes aplicações (símbólica, gráfica ou numérica) acarretam o estudo da função que são diretamente acessíveis pelo teclado. Com as aplicações gráficas ou numéricas a calculadora do usuário pode primeiro escolher o intervalo de x e depois do y. essa é a ordem natural para o estudo de função, mas esta não é uma ordem adequada para o limite. Nesse caso a organização matemática e a organização do artefato são opostas em um ponto de vista cronológico.

descreve o comportamento de um aluno em particular da seguinte forma: ele pega sua calculadora e “digita” a função a ser estudada no editor de funções e então infere as respostas a partir do formato do gráfico da função (cf. Seção 1.2) escolhendo a janela com valores grandes para x. Ao observar o aluno resolvendo um conjunto de tarefas de tipo semelhante, pode-se pedir que ele declare suas escolhas explicitamente, assim o professor ou pesquisador pode tentar determinar os invariantes operatórios vinculados a esses gestos e orientar a resposta do aluno.

O estudante nesse exemplo pode explicar, por exemplo, que considerar o gráfico da função lhe permite concluir o seguinte: “se a função cresce com grande velocidade, está tudo bem. Por outro lado, se a função começar a diminuir ou oscilar, então não é boa.” Consequentemente, pode-se propor a hipótese de que o esquema do aluno integra teoremas em ação (cf. Seção 2.1) do seguinte tipo: “se a função aumenta muito fortemente, então o limite de f é infinito”, “se o limite de f é infinito, então f é necessariamente crescente”. De todas essas propriedades emerge uma concepção do tipo: “dizer que f tem um limite infinito significa que, quando x é grande, f(x) é muito grande e continua aumentando sem oscilar muito”; isso pode ser classificado como uma abstração situada (cf. Seção 2.3).

Obviamente, mesmo que um ambiente particular favoreça um esquema

particular, isso não significa que haja automaticidade dentro de um determinado ambiente tecnológico em relação a um determinado esquema, como a discussão a seguir mostrará.

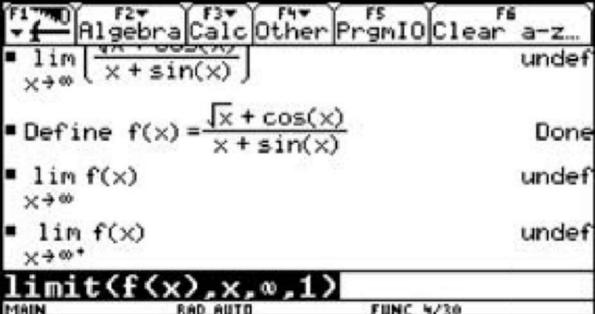
3.2. Diferenciação dos Processos de Instrumentação em Função da Complexidade do Ambiente

Este processo é o componente da gênese instrumental direcionada ao artefato. A instrumentalização pode passar por diferentes estágios: um estágio de descoberta e seleção das funções relevantes, um estágio de personalização (adaptação do artefato à mão) e um estágio de transformação do artefato, às vezes em direções não planejadas pelo designer: modificação da barra de tarefas, criação de atalhos de teclado, armazenamento de programas de jogos, execução automática de algumas tarefas (sites de fabricantes de calculadoras e sites pessoais de usuários particularmente ativos frequentemente oferecem programas para determinadas funções, métodos e maneiras de resolver classes específicas de equações etc.). A instrumentalização é um processo de diferenciação direcionado aos próprios artefatos.

Rabardel (1995) escolhe a palavra "catacrese" para designar uma situação em que um artefato é usado no lugar de outro, ou para fazer algo para o qual não foi concebido. Por exemplo, é sabido que alguns alunos usam suas calculadoras simplesmente para armazenar muitos resultados matemáticos (cálculos, regras, teoremas etc.). Pelo menos duas reações a essa prática são possíveis para o professor:

Em primeiro lugar, ele/ela pode dizer: uma calculadora não foi feita para esse tipo de uso. Portanto, os alunos não podem fazer isso, ou os computadores não serão permitidos durante as provas;

Quadro 2	
Estudando $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x} + \cos x}{x + \operatorname{sen} x}$ usando o mesmo artefato TI-92 e duas abordagens bem diferentes.	
<u>Estudante 1</u>	<u>Estudante 2</u>
<p>Ele define a primeira função f para a calculadora (ver Figura 4). Então eu poderia evitar de escrever várias vezes essa coisa complexa. Resposta da calculadora: indefinido</p> <p><i>“Oh. Essas funções seno e cosseno frequentemente causam turbulências quando se calcula limite, eu preciso me livrar delas.”</i></p> <p>Em seu trabalho ele enquadra seno e cosseno entre -1 e +1 e enquadra $x > 0$:</p>	<p>Ele usa o comando limite na CAS aplicação, para uma determinada função.</p> <p>Calculadora responde: indefinido</p> <p><i>“Oh cometí um erro no comando!”</i></p> <p>Ele escreve de novo alguma resposta</p> <p><i>“Eu sou muito fraco, vou tentar de novo”</i> (escrevendo a função $\frac{\sqrt{x} + \cos x}{x + \operatorname{sen} x}$ demora um tempo). Alguma resposta da calculadora....</p> <p><i>“O eu entendi a calculadora não conhece a função f eu preciso defini-la!”</i></p>

$\frac{\sqrt{x} - 1}{x + 1} \leq f(x) \leq \frac{\sqrt{x} + 1}{x - 1}$ <p>Ele usa sua calculadora para encontrar o limite das funções à esquerda e à direita: 0</p> <p>“De acordo com o teorema do limite das desigualdades eu posso dizer que a minha função f também tem limite 0. Vamos olhar os gráficos das três funções. Ele plota as três funções: a função f está bem comprimida entre as outras duas nas vizinhanças do $+\infty$. Eu posso também fazer mudança de variável.</p> <p>No papel:</p> <p>$X = \sqrt{x}$, $f(X) = \frac{X+1}{X^2+1}$</p> <p>“Eu posso usar o teorema sobre funções polinomiais ou fazer alguma fatoração e usar o teorema sobre limite e operações.”</p> <p>Escreve de novo: $\frac{X+1}{X^2+1} = \frac{1+\frac{1}{X}}{X+\frac{1}{X}}$</p> <p>Sumário do trabalho (1 hora): papel e lápis e calculadora articulados, um trabalho multi-registros (estudos algébricos e gráficos), expressão e construção de conhecimentos sobre limite, um esquema rico de limite.</p> <p>A complexidade do artefato é dominada e contribuiu para enriquecer o processo da instrumentalização e para construir a instrumentação.</p>	<p>Ele define a função f (ver a Figura 4 abaixo)</p> <p>De novo o comando limite e de novo a resposta indefinido.</p> <p>Nova perplexidade e nova ideia: “quando um limite não está definido é algumas vezes possível olhar o limite à esquerda e à direita do ponto. Então eu vou olhar à direita do $+\infty$</p> <p>Então eu estarei o mais longe possível. (ver a Figura 4). Sempre a resposta: indefinido</p>  <p>Figure 4. Calculator screen copy of student 2.</p> <p>Por fim ele desmembra o problema em subproblemas e calcula o limite de \sqrt{x} (“isto funciona eu obtenho $+\infty$ como limite”) e de seno e cosseno (“aí está o problema essas duas funções não têm limite”)</p> <p>Sumário do trabalho (1 hora e 30min): sem uso de papel, apenas um registro (estudo nem numérico e nem gráfico), nenhuma ideia de comportamento da função (quase um fraco estudo do esquema de limite)</p> <p>A complexidade do artefato não contribuiu para ajudar a atividade do estudante e para construir um instrumento matemático eficiente.</p>
---	--

Em segundo lugar, ele/ela pode dizer: trata-se de um uso particular desse artefato. Como ele pode ser organizado, estruturado e integrado à prática matemática do aluno? Subjacente a essas duas reações, existem duas ideias sobre o que é um instrumento. De acordo com a abordagem instrumental, uma catacrese pode ser considerada como a expressão da atividade específica de um sujeito: para que o usuário pensa que o artefato foi projetado e como ele deve ser usado. Isso destaca uma ideia muito importante: a concepção do usuário sobre o instrumento é formada por meio do uso. Essa ideia é ainda mais importante para o CAS, que não foi inicialmente concebido para a aprendizagem (ou ensino); portanto, o processo de concepção do CAS por professores e alunos pode ser visto como um ciclo: analisar as restrições, integrar a um ambiente, analisar os usos,

definir novas especificações etc. (Lagrange e Py, 2002). Esta abordagem corresponde a um novo paradigma e a uma mudança de um ponto de vista “tecnocêntrico” (que prevalece como ponto de partida para softwares como os Sistemas de Tutoria Inteligentes) para um ponto de vista “antropocêntrico”.

Assim, dois processos, intimamente conectados, constituem a gênese instrumental. De fato, não é possível distinguir claramente entre esses dois processos, como, por exemplo, “aquilo é um esquema de instrumentação” ou “aquilo é um esquema de instrumentalização”. Toda atividade é orientada por alguns objetivos vinculados à realização de tarefas específicas, portanto, podemos falar de um esquema de ação instrumentado, entendendo que esse esquema de ação instrumentado carrega as marcas dos dois processos. O interesse dessa distinção reside na dialética entre os dois protagonistas da gênese instrumental: o sujeito e o artefato.

Assim, no resultado de sua gênese, um instrumento é constituído, em relação aos seus componentes materiais, por uma parte do artefato – modificada em relação ao seu estado inicial – e, em relação aos seus componentes psicológicos, por esquemas construídos pelo sujeito, relativos à execução de tarefas específicas. De fato, a situação é um pouco mais complexa. Um aluno tem à sua disposição um conjunto de artefatos (papel/lápis, régua, compasso, calculadora). Uma calculadora simbólica é, em si, um conjunto de vários artefatos (CAS, planilha, processador de texto, etc.). Esse conjunto fornecerá a cada aluno os materiais da disciplina para diversos instrumentos, relacionados a diversos tipos de tarefas. A articulação desses instrumentos exige um domínio do processo que não é fácil de construir (Artigue, 2002, fala da “complexidade inesperada da gênese instrumental”) e requer assistência do professor, que examinaremos agora.

4. ORQUESTRAÇÃO INSTRUMENTAL, COMO GUIA PARA A GÊNESE INSTRUMENTAL

4.1. Uma Definição

O termo orquestração é frequentemente usado na literatura cognitiva.

Dehaene (1997) usa esse termo em relação a uma função de coordenação interna de redes neurais distribuídas. Ruthven (2002) também usa o termo, no campo da educação matemática, para se referir a uma função cognitiva interna (no contexto do ensino e aprendizagem do conceito de derivada): “ideias unificadoras são orquestrações cuidadosas de camadas sucessivas de ideias mais fundamentais em torno de um termo mais abstrato”. De fato, a necessidade de orquestrações, no sentido de uma função de

coordenação interna, manifesta-se claramente nas ciências matemáticas, em que a aprendizagem pode ser vista como "a construção de uma rede de conexões – entre classes de problemas, objetos e relações matemáticas, entidades reais e experiências pessoais específicas de situações" (Noss e Hoyles, 1996, p. 105). A palavra orquestração é, de fato, bastante natural quando falamos de um conjunto de instrumentos.

Eu introduzo o termo orquestração instrumental para apontar a necessidade (para uma determinada instituição – um professor em sua turma, por exemplo) de direcionamento externo da gênese instrumental dos alunos. Essa necessidade raramente é levada em consideração. É possível encontrar em livros didáticos ou artigos relacionados a experimentos de EAC comentários sobre os componentes materiais (calculadoras ou computadores, tipos de software, retroprojetores, instruções de uso) e sobre os componentes didáticos (exposição da disciplina matemática e das diferentes etapas do tratamento), mas raramente informações sobre a organização ambiental, ou seja, sobre a organização do espaço e do tempo de trabalho dos alunos ou professores.

Uma orquestração instrumental é definida por configurações didáticas (ou seja, o layout dos artefatos disponíveis no ambiente, com um layout para cada etapa do tratamento matemático) e por modos de exploração dessas configurações. Para cada orquestração, os objetivos principais, originados da necessidade da orquestração em si, e os objetivos secundários, vinculados aos modos de exploração escolhidos, devem ser distinguidos. As configurações e seus modos de exploração produzem relatos de atividade (ou seja, resultados da atividade que podem ser observados por outras pessoas além do sujeito envolvido nessa atividade). A socialização desses relatos (pesquisa, relatórios, telas de calculadoras etc.) é essencial: "A produção, interpretação e negociação de relatos desempenham um papel extremamente importante no desenvolvimento de esquemas pessoais (estruturas cognitivas) e sua coordenação com técnicas diamatemáticas (sistemas culturais)" (Ruthven, 2002), ou seja, de acordo com minhas definições, o desenvolvimento e a coordenação da parte social dos esquemas.

Orquestrações instrumentais podem atuar em vários níveis:

- O primeiro nível (o do próprio artefato);
- O segundo nível (psicológico) de um instrumento ou conjunto de instrumentos;
- O terceiro nível (meta) da relação de um sujeito com um instrumento ou conjunto de instrumentos.

Esses três níveis correspondem a diferentes tipos de artefatos, que Wartofsky distingue da seguinte forma:

- O primeiro nível (o dos próprios artistas);
- O segundo nível (psicológico) de um instrumento ou conjunto de instrumentos;
- O terceiro nível (meta) da relação de um sujeito com um instrumento ou conjunto de instrumentos. Esses três níveis envolvem diferentes tipos de artefatos, que Wartofsky distingue da seguinte forma:
 - “Artefatos primários, correspondentes ao conceito do artefato como ele é comumente utilizado;
 - Artefatos de segundo nível, que correspondem tanto a representações quanto a modos de ação utilizando artefatos de primeiro nível;
 - Artefatos de terceiro nível, notadamente para pessoas treinadas, correspondentes ao desenvolvimento social e cognitivo por meio de situações de simulação e métodos reflexivos de autoanálise de atividades, tanto individuais quanto coletivas” (Wartofsky, 1983).

Exemplos de orquestração de primeiro e terceiro níveis podem ser encontrados em (Trouche, in Guin et al., 2004):

- O exemplo de primeiro nível trata de questões de software (em uma calculadora simbólica); trata-se de auxiliar os alunos na computação e, mais precisamente, na compreensão dos limites das funções. Constitui uma resposta específica à pergunta feita por Hoyles: "precisamos de software em que as crianças tenham alguma liberdade para expressar suas próprias ideias, mas com restrições que permitam concentrar sua atenção na matemática" (Hoyles, 2001);
- O exemplo de terceiro nível é um dispositivo de autoanálise, que visa proporcionar aos alunos a capacidade de refletir sobre suas próprias atividades instrumentadas, fornecendo-lhes traços observáveis delas.

A seguir, apresentamos um exemplo de orquestração de segundo nível.

4.2. Um Exemplo de Orquestração Instrumental de Segundo Nível. A utilização escolar de artistas individuais, calculadoras equipadas com uma tela pequena, levanta o problema da socialização das ações e produções dos alunos. Para que tal socialização ocorra, são necessários arranjos específicos. Desde o início da década de 1990, existe um artefato para cada tipo de calculadora – uma tela de visualização – que permite a projeção da tela da calculadora em uma tela grande para toda a turma. Guin e Trouche (2002) apresentam uma orquestração instrumental que explora esse arranjo e cujo objetivo principal é a socialização – em certa medida – das gêneses instrumentais dos alunos.

A configuração dessa orquestração (ver Figura 4) baseia-se na delegação de um papel específico a um aluno: esse aluno, denominado aluno *sherpa*,⁷ pilota a calculadora projetada em retroprojetor. Ele será, portanto, usado tanto pela turma quanto pelo professor como referência, guia, auxiliar e mediador. Essa orquestração favorece a gestão coletiva de parte dos processos de instrumentação e instrumentalização: o que um aluno faz com sua calculadora – os traços de sua atividade – é visto por todos, permitindo a comparação de diferentes técnicas instrumentadas e fornecendo ao professor informações sobre os esquemas de ações instrumentadas que estão sendo construídos pelo aluno *sherpa*.

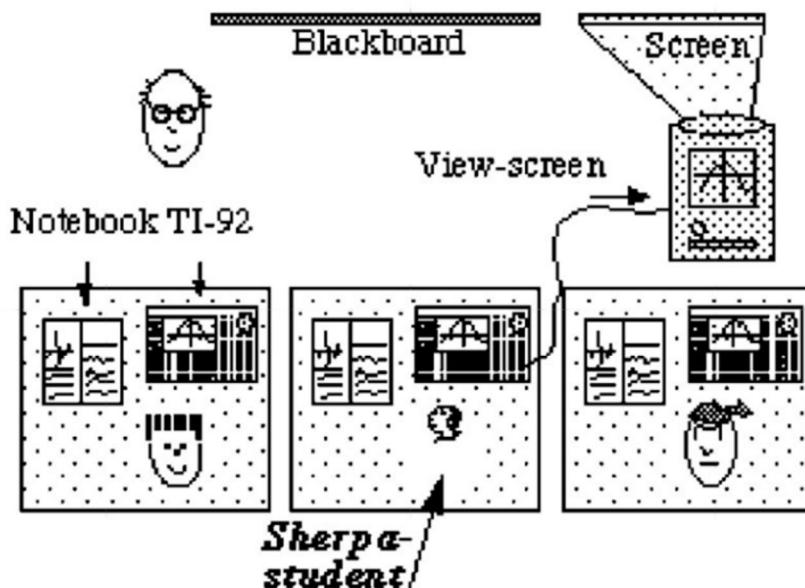


Figure 4. The *sherpa*-student, part of an instrumental orchestration.

Apresenta também outras vantagens:

- O professor é responsável por orientar, por meio da calculadora do aluno, as calculadoras de toda a turma (o professor não realiza o gesto instrumentado, mas verifica como é realizado pelo aluno-*sherpa*). O professor cumpre assim as funções de um maestro de orquestra em vez de uma banda de um homem só;⁸

– Para o seu ensino, o professor pode combinar os resultados de papel e lápis obtidos no quadro e os resultados obtidos pela calculadora do aluno-*sherpa* na tela da turma. Isto facilita a combinação do trabalho de “papel/lápis” e da calculadora pelos próprios alunos nas suas próprias secretárias. Podem ser considerados vários modos de exploração desta estrutura. O professor pode primeiro organizar fases de trabalho de diferentes tipos:

Às vezes, as calculadoras são desligadas (e o retroprojetor): é então uma questão de trabalho em ambiente de papel/lápis; às vezes, tanto as calculadoras quanto o retroprojetor são ligados e o trabalho é estritamente orientado pelo aluno-*sherpa* sob a supervisão do professor (os alunos devem ter exatamente a mesma coisa nas telas das calculadoras que na tela do projetor). Os processos de instrumentação e instrumentalização são então fortemente restringidos; às vezes, as calculadoras estão ligadas, assim como o retroprojetor, e o trabalho é livre por um determinado tempo. Os processos de instrumentação e instrumentalização são então relativamente restringidos (pelo tipo de atividades e pela referência à calculadora do aluno-*sherpa*, que permanece visível na tela grande); às vezes, as calculadoras estão ligadas e o projetor está desligado. Os processos de instrumentação e instrumentalização são então apenas fracamente restringidos.

Esses vários modos parecem ilustrar o que Healy (2002) chamou de preenchimento e inclusão, no curso da interação social em sala de aula:

–quando a iniciativa do aluno-*sherpa* é livre, é possível que questões matematicamente significativas surjam dos próprios esforços construtivos do aluno (essa é uma abordagem de preenchimento);

–quando o aluno-*sherpa* é guiado pelo professor, é possível que questões matematicamente significativas sejam apropriadas durante os próprios esforços construtivos do aluno (abordagem de inclusão).

Outras variáveis na situação também devem ser consideradas: o mesmo aluno desempenhará o papel de aluno-*sherpa* durante todo o tempo ou, dependendo dos resultados anunciados, as calculadoras dos diferentes alunos devem ser conectadas à mesa do projetor? O aluno-*sherpa* deve sentar-se na primeira fileira ou deve permanecer em seu lugar habitual? Todos os alunos desempenham esse papel alternadamente ou apenas alguns deles devem ser privilegiados? Dependendo das escolhas didáticas feitas, objetivos secundários dessa orquestração podem surgir:

-Favorecer debates dentro da turma e explicitar procedimentos: a existência de outra referência diferente da do professor permite o desenvolvimento de novas relações entre

os alunos e o professor, e entre o aluno-*sherpa* e o professor – sobre um resultado, uma conjectura, um gesto ou uma técnica;

-Dar ao professor um meio de reintegrar alunos com dificuldades ou com dificuldades na turma. A função de aluno-*sherpa*, na verdade, dá aos alunos com dificuldades um *status* diferente e força o professor a sintonizar seus procedimentos de ensino com o trabalho do aluno que deve seguir suas diretrizes; o trabalho de acompanhamento desse aluno na tela do projetor permite ações de feedback muito rápidas tanto do professor quanto da turma.

Essa orquestração instrumental participa da coordenação de todos os instrumentos das turmas e favorece a articulação, para cada indivíduo, de diferentes instrumentos dentro de seu trabalho matemático.

4.3. Sobre Metáforas para Configurações Computacionais Outras metáforas têm sido usadas sobre configurações computacionais, como andaimes ou teias (Noss e Hoyles, 1996):

-Andaimes se originam da teoria Vigotskyana, é "a assistência gradual fornecida por um adulto que oferece o nível certo de suporte para que uma criança possa viajar com sucesso para sua zona de desenvolvimento proximal" (Noss e Hoyles, 1996, p. 107). Hoyles e Noss (1987) estendem essa metáfora para configurações computacionais, o computador desempenhando o mesmo papel normalmente atribuído a um tutor humano;

- "A ideia de teia visa transmitir a presença de uma estrutura na qual os alunos podem recorrer e reconstruir para obter suporte".
- de maneiras que eles escolhem como apropriadas para sua luta pela construção de significado para alguma matemática" (Noss e Hoyles, 1996, p. 108).

Essas diversas metáforas não operam no mesmo nível: andaimes e teias estão essencialmente relacionados a processos internos, orquestrações estão principalmente relacionadas a organizações externas. Mas alguma comparação pode ser útil:

- Em scaffolding e em orquestração, há uma ideia de estrutura erguida em torno do aprendiz por uma agência externa; em scaffolding, o computador poderia ser essa estrutura; em orquestração, o papel do professor é destacado. Em teia, não há ênfase para tal agência externa;

- scaffolding está principalmente relacionado ao suporte de habilidades na prática, enquanto teia e orquestração são aplicadas principalmente à aprendizagem de campos conceituais (Vergnaud, 1990); scaffolding parece ser independente de domínio, enquanto teia e orquestração são dependentes de domínio;
- O scaffolding está associado a uma concepção de conhecimento como estruturado e hierárquico, enquanto a teia e a orquestração levam em conta a fluidez e a flexibilidade das configurações computacionais;
- no scaffolding, algum progresso matemático pode ser independente da construção do próprio aluno, enquanto na teia e na orquestração a compreensão emerge de conexões que são forjadas no uso pelo usuário.

Por fim, as filosofias subjacentes tanto à teia quanto à orquestração parecem bastante semelhantes. No entanto, permanece uma diferença importante: a orquestração instrumental destaca o papel do professor, enquanto na teia esse papel não fica claro.

4.4. Algumas Consequências.

Essa compreensão da natureza das orquestrações, adaptada ao trabalho matemático em vários estágios, é bastante recente. Se relemos alguns artigos "antigos", parece que não foi dada atenção suficiente a tais orquestrações. Por exemplo, em Trouche (1998), apresentei uma atividade para uma turma do 12º ano, em um ambiente de calculadora simbólica (ver Quadro 3). Seu objetivo didático era a construção do conceito de limite infinito, por meio do trabalho de comparação dos limites de funções de potência e funções exponenciais.

Quadro 3

Exposição de um problema

Considere a equação $e^x = x^{4n}$, n um número inteiro positivo

Convenção: chamaremos de 1ª equação a equação em que n=1, a 2ª para n=2 etc

Notação: chamamos a_1, b_1, c_1 etc as soluções pela ordem da 1ª equação, a_2, b_2, c_2 etc soluções pela ordem da 2ª equação etc.

Responder as questões seguintes em qualquer ordem:

*Resolva a 1ª, 2ª, 3ª e 10ª equações, dê um valor (com uma precisão de 10^{-1}) para cada solução.

*Resolva a $n^{\text{ésima}}$ equação $e^x = x^{10n}$

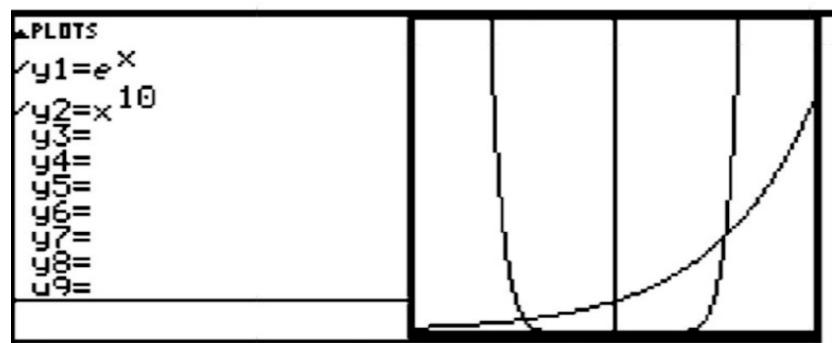
*As soluções $a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$ constituem uma sequência. O mesmo para a segunda sequência de soluções (b_n) de sucessivas equações etc. Observe as sequências $(a_n), (b_n), (c_n) \dots$. Que conjecturas você pode fazer sobre seu crescimento?

Esta atividade é bastante complexa e requer vários instrumentos: um instrumento de resolução de equações, um instrumento de estudo de variação de funções, um instrumento de cálculo de limites e um instrumento de estudo de variação de sequências (ver Figura 5). Para todos os alunos, o processo de gênese desses instrumentos ainda está em andamento. Além disso, o uso de cada instrumento exige um processo de comando robusto: o comando "Resolver" da TI-92 fornece apenas duas soluções (em vez das três soluções que existem) e o comando "graph" sugere que existem, de fato, apenas duas soluções. Finalmente, não se trata apenas de usar esses instrumentos separadamente, mas, articulá-los, isto é construir sistemas coerentes de instrumentos a partir de um conjunto de artefato.

```

x = 35.7715206396 or x = 1.11832559159 ↵
■ solve(ex = x20, x)
x = 1.05411967103 or x = -.953446172003
■ solve(ex = x30, x)
x = 1.03510567451 or x = -.968240583308
■ solve(ex = x100, x)
x = 1.01015271985 or x = -.99014738436

```



```

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7
Zoom Edit All Style Axes...
▲ PLOTS
✓ y1=ex
✓ y2=x10
y3=
y4=
y5=
y6=
y7=
y8=
y9=
u1=

```

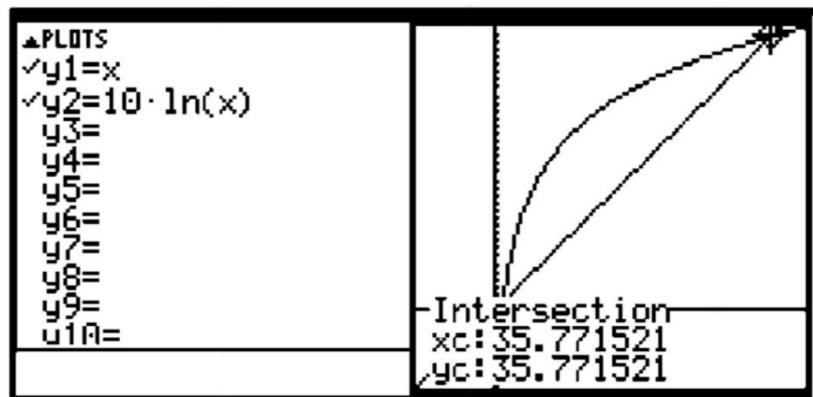


Figure 5. Some screen displays obtained during this activity.

Nessa orquestração, a configuração é "prática" (os alunos trabalham em pares, sem a ajuda do professor) e os alunos têm que entregar um relatório de pesquisa escrito ao final da sessão. Isso

funciona devido às condições muito particulares deste experimento: um professor especialista, parte de uma equipe de pesquisa, alunos inteligentes, todos equipados com a mesma calculadora e fortemente motivados pela participação em uma experiência piloto. Mas tem sido impossível transpor esse tipo de atividade para "aulas normais". Na minha opinião, uma das principais razões para essa situação é a fragilidade da reflexão sobre as orquestrações instrumentais que necessariamente acompanham essa atividade. Essa atividade é de fato muito densa. Sua organização deveria ter sido precedida por um estudo de sua estrutura e uma decomposição em diferentes etapas: uma primeira etapa, que permite aos alunos compreender o problema e apropriar-se dele como seu, uma segunda etapa para a exploração de alguns exemplos específicos e uma terceira etapa para discutir diversas conjecturas. Cada uma dessas etapas necessita de uma orquestração específica, ou seja, uma configuração e seus modos específicos de exploração (por exemplo, uma configuração *sherpa*-aluno durante a apropriação do problema, uma configuração prática para as explorações, uma configuração de "colóquio" para discutir conjecturas etc.). Tal sequência de etapas pode constituir um cenário de uso dessa atividade (Allen et al., 1995), o que pode facilitar a apropriação por outro professor.

Isso leva a uma nova concepção de recursos pedagógicos para o CLE. No contexto do treinamento a distância, Joab et al. (2003) apresentam uma nova estrutura para esses recursos, incluindo, para cada atividade, uma ficha de identificação, uma ficha do aluno, uma ficha do professor, um cenário em uso, relatórios de experimentação e uma ficha técnica. Subjacente a essa nova estrutura, há uma concepção de recurso pedagógico como um artefato para uma comunidade de prática, esse artefato se torna um instrumento por meio de uma gênese instrumental: o processo de instrumentação modifica o comportamento dos professores, o processo de instrumentalização modifica o próprio recurso (por meio dos relatórios de experimentação e do processo de reescrita).

Obviamente, a concepção desses recursos não pode ser feita apenas por um professor, em sua sala de aula. Requer uma cadeia de "técnicas 'solidariedades'" (Chevallard, 1992), em que engenheiros de computação, engenheiros didáticos e professores desempenham papéis complementares.

CONCLUSÕES

Apresentei um arcabouço geral para a abordagem instrumental, tentando mostrar sua relevância para os estudos de ELC. A distinção entre o artefato, que é dado, e o instrumento, que é construído por meio da atividade, nos obriga a prestar atenção à gênese instrumental. Essa gênese é um processo complexo de construção tanto de esquemas de uso quanto de esquemas de ação instrumentados. Esse processo é, na verdade, uma combinação de dois processos intimamente conectados: um processo de instrumentação, direcionado ao sujeito, e um processo de instrumentalização, direcionado ao artefato. Os esquemas assim construídos sempre têm uma dimensão social (devido ao aspecto social de cada artefato e/ou ao contexto de elaboração dos esquemas dentro de uma comunidade de prática). Artefatos muito sofisticados, como os disponíveis em um CLE, dão origem a um conjunto de instrumentos. A articulação desse conjunto

exige do sujeito um forte processo de comando. Um dos elementos-chave para a integração bem-sucedida desses artefatos em um ambiente de aprendizagem é o apoio institucional e social a esse processo de comando individual. As orquestrações instrumentais constituem uma resposta a essa necessidade. Elas auxiliam o processo de comando individual de duas maneiras:

- Durante o tempo da orquestração em si;
- Além da orquestração (uma orquestração instrumental dá origem a novos sistemas instrumentais).

A constituição dos sistemas instrumentais está ligada à introdução de artefatos na prática matemática. A necessidade de gestão didática desses sistemas instrumentais é descrita assim:

“A introdução de um novo artefato deve, no nível didático, ser igualmente gerenciada em seu impacto sobre os sistemas instrumentais previamente construídos. Esta questão nos parece particularmente crucial no contexto atual de abundância tecnológica. Quais artefatos devemos propor aos alunos e como podemos orientá-los na gênese instrumental e na evolução e no equilíbrio de seus sistemas instrumentais? Para quais atividades de aprendizagem e quais componentes do conhecimento matemático?” RABARDEL (2000, p. 212).

A concepção de orquestrações instrumentais parece ofertar alguns elementos para responder a essas questões. Por fim, levar em conta as orquestrações instrumentais abre novas perspectivas para a concepção de recursos pedagógicos para a Educação Continuada (EaL). Essas perspectivas são certamente muito importantes neste momento, dada a abundância de recursos online facilmente disponíveis, mas não necessariamente facilmente integráveis à prática.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a Dominique Guin, Lulu Healy, Phillip Kent e John Monaghan, que leram atentamente as sucessivas versões desse artigo e me deram conselhos preciosos.

NOTAS

1 Esse artigo se origina de uma palestra dada no Terceiro Simpósio CAME (Álgebra Computacional na Educação Matemática) (Reims, junho de 2003).

2 Pensar em francês e escrever em inglês acrescentam dificuldades; por exemplo, a palavra francesa “*ordinateur*” e a palavra inglesa “*computer*” não se referem à mesma coisa: a palavra francesa se refere a questões de ordem, enquanto questões de computação são sinalizadas pela palavra inglesa.

3 Em Guin e Trouche (1999), escrevemos: “O processo de comando do aluno é caracterizado pela atitude consciente de considerar, com objetividade suficiente, todas as informações imediatamente disponíveis não apenas da calculadora, mas também de outras fontes e de buscar consistência matemática entre elas”.

4 No mesmo sentido, Wallon (1949) disse: “Cada indivíduo é geneticamente social”.

5 Este ponto foi discutido no Simpósio CAME de 2001. Não seria suficiente notar que “as ferramentas moldam o ambiente”? Na minha opinião, isso é uma questão de método: é sempre importante nomear as coisas que queremos estudar (como em um processo de resolução de equações, quando nomeamos a incógnita x).

6 Podemos distinguir para uma dada ferramenta restrições (obrigar o usuário de uma forma, >>?? *empeaching*<< de outra forma), habilidades (efetivamente tornar o usuário capaz de fazer algo), potencialidades (virtualmente abrindo possibilidades) e *affordances* (favorecendo gestos particulares), que estão intimamente inter-relacionadas.

7 O termo *sherpa* se refere à pessoa que guia e carrega a carga durante expedições nas montanhas do Himalaia, e a diplomatas que preparam conferências internacionais.

8 Essa vantagem não é pequena. Mostramos que os professores, em ambientes tecnológicos complexos, são fortemente propensos a executar sozinhos todas as tarefas matemáticas e técnicas vinculadas à resolução de problemas na aula; a tela de visualização é então usada para projetar a tela do professor.

REFERÊNCIAS

- Allen, R., Wallace, M. and Cederberg, J. (1995). Preparing Teachers to Use Geometric Software. *Proceedings of the Seventh International Congress on Mathematics Education*.
- Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 7(3), 245–274.
- Balacheff, N. (1994). Didactique et intelligence artificielle. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14(1/2), 9–42.
- Billeter, J.-F. (2002). *Leçons sur Tchouang-Tseu*, Editions Allia.
- Bosch, M. and Chevallard, Y. (1999). La sensibilité de l’activité mathématique aux ostensifs. *Objet d’étude et problématique*. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(1), 77–124.
- Bourdieu, P. (2003). *Images d’Algérie, une affinité élective*. Actes Sud.
- Changeux, J.-P. (2002). *L’homme de vérité*. Éditions Odile Jacob.
- Chevallard, Y. (1992). *Intégration et viabilité des objets informatiques, le problème de l’ingénierie didactique*. in (Cornu ed.), *L’ordinateur pour enseigner les mathématiques*, PUF.
- Debray, R. (2001). *Dieu, un itinéraire*. Editions Odile Jacob.
- Dehaene, S. (1997). *La bosse des maths*. Editions Odile Jacob.
- Guin, D. and Trouche, L. (1999). The Complex Process of Converting Tools into Mathematical Instruments. The Case of Calculators. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 3(3), 195–227.

Guin, D. and Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of instrumental orchestrations. In, E. Schneider (Ed.), *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, Vol. 34(5), pp. 204–211.

Guin, D., Ruthven, K. and Trouche, L. (Eds.) (2004). *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators: Turning a Computational Device into a Mathematical Instrument*, Kluwer Academic Publishers, 400p.

Healy, L. (2002). Iterative design and Comparison of Learning Systems for Reflection in Two Dimensions, Unpublished PhD thesis, University of London.

Hoyle, C. (2001). Steering between Skills and Creativity: a Role for the Computer? *For the Learning of Mathematics* 21, Vol. 1, pp. 33–39.

Hoyle, C. and Noss, R. (1987). Children working in a structured Logo environment: from doing to understanding. *Recherches en Didactique des Mathe'matiques* 8(1/2), 131–174.

Houdé, O., Kayser, D., Koenig, O., Proust, J. and Rastier, F. (Eds.) (1998). *Vocabulaire de sciences cognitives*, PUF.

Houdé, O., Mazoyer, B. and Tzourio-Mazoyer, N. (Eds.) (2002). *Cerveau et psychologie*, PUF.

Joab, M., Guin, D. and Trouche, L. (2003). Conception et réalisation de ressources pédagogiques vivantes, des ressources intégrant les TICE en mathématiques. In C. Desmoulins, P. Marquet and D. Bouhineau (Eds.), *Actes de la conférence EIAH 2003*, ATIEF et INRP, pp. 259–270.

Lagrange, J.-B. and Py, D. (2002). Développer un environnement d'apprentissage utilisant le calcul formel. Hypothèses, méthode, première réalisation. In, J.-F. Nicaud, E. Delozanne and B. Grugeon (Eds.), *Logiciels pour l'apprentissage de l'algèbre*, Sciences et Techniques Educatives, Vol. 9(1–2), pp. 91–120.

Lagrange, J.-B., Artigue, M., Laborde, C. and Trouche, L. (2003). Technology and mathematics education: a multidimensional study of the evolution of research and innovation, In, A.J. Bishop, M.A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick and F.K.S. Leung (Eds.), *Second International Handbook of Mathematics Education*, Kluwer Academic Publishers, pp. 239–271.

Lavoie, P. (1994). Contribution à une histoire des mathématiques scolaires au Québec: l'arithmétique dans les écoles primaires (1800–1920), Thèse de doctorat, Faculté des sciences de l'éducation, Université de Laval, Québec.

Noss, R. and Hoyles, C. (Eds.) (1996). *Windows on Mathematical Meanings- Learning Cultures and Computers*, Kluwer Academic Publishers.

Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Delachaux et Niestle'.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin.

Rabardel, P. (2000). Elements pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques, in M. Bailleul (Ed.), *Actes de l'Ecole d'été de didactique des mathématiques*, IUFM de Caen, pp. 203–213.

Rabardel, P. and Samurcay, R. (2001). From artifact to instrumented-mediated learning, New challenges to research on learning. International Symposium organized by the Center for Activity Theory and Developmental Work Research, University of Helsinki, March 21–23.

Ruthven, K. (2002). Instrumenting mathematical activity: reflections on key studies of the educational use of computer algebra systems, *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 275–291.

Trouche, L. (1998). *Faire des mathématiques avec des calculatrices symboliques, 38 variations sur un thème imposé*, IREM, Université Montpellier, II.

Trouche, L. (2003). From Artifact to Instrument: Mathematics Teaching Mediated by Symbolic Calculators. In P. Rabardel and Y. Waern (Eds.), special issue of *Interacting with Computers*, Vol. 15(6) (in press).

Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation, *Actes de l'école d'été de didactique des mathématiques*, IREM, Clermont-Ferrand, 174–185.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2–3), 133–170.

Verillon, P. and Rabardel, P. (1995). Cognition and artifact: A contribution to the study of thought in relation to instrument activity, *European Journal of Psychology in Education* 9(3), 77–101.

Vygotski, L.S. (1934). *Pensée et langage*, Flammarion (1978).

Wallon, H. (1949). Rôle d'autrui et conscience de soi, *Enfance* (n. special), 279–286.

Wartofsky, M. (1983). From genetic epistemology to historical epistemology: Kant, Marx and Piaget. in Liben, L.S. (Ed.), Piaget and the Foundations of Knowledges, Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum.

*Department of Mathematics
LIRDEF, IREM & LIRMM
Université Montpellier II
Montpellier Cedex
France
E-mail: trouche@math.univ-montp2.fr*



Artigo está licenciado sob forma de uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 International