

MODELAGEM NA EDUCAÇÃO — O PROGRAMA STELLA

D. COSTA PEREIRA
M. R. VILAR CORREIA⁽¹⁾
L. LENCASTRE⁽¹⁾
UNIVERSIDADE DO PORTO

A QUESTÃO DA REPRESENTAÇÃO

O vocábulo modelo é muitíssimo vago, convindo precisar o seu significado, no âmbito desta comunicação. Trata-se de uma *representação operacional* (sobre a qual se pode actuar) e *análogica* (preservando a estrutura) de um fenómeno, que não precisa de ser exactamente uma réplica dele.

Isto distingue a modelagem da simples imitação sem preservação das características estruturais nem manutenção da possibilidade de transformação que se designa por simulação.

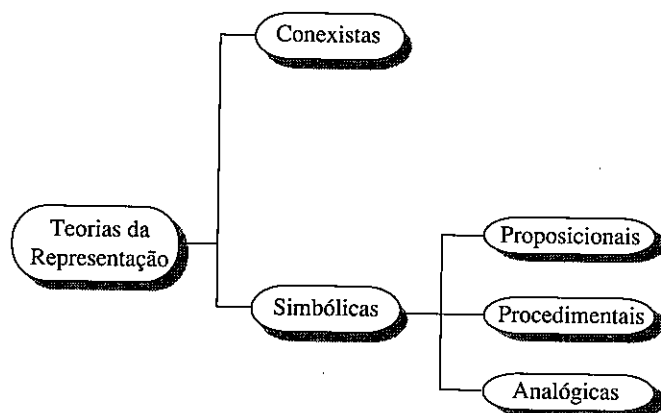
A modelagem, seguindo os princípios de senso comum de que lord Kelvin não abdicava e que tão útil foi para a descoberta, por Maxwell, das leis do Electromagnetismo (como se sabe com um modelo mecânico à base de rodas dentadas!), não têm sucesso garantido, pelo menos no domínio da electrodinâmica quântica, em que os efeitos do princípio da incerteza se tornam dominantes (Rosado, 1986).

De facto questões filosóficas levaram ao abandono do princípio de «*anschaulichkeit*» (Calado, 1985), a um compromisso entre o realismo e o racionismo (Bachelard, 1934), e a um convencionalismo (Habermas, 1987) como características dominantes do «novo espírito científico». Isto e o facto de a Psicologia Cognitiva advogar para a génese do conhecimento uma posição construtivista (que caracteriza a modelagem primeiro perceptual e depois conceptual da realidade), tem imensa importância em Educação Científica, já que esta tem como um dos seus grandes objectivos a convergência dos modelos privados dos aprendizes com os modelos públicos veredicionados.

A Representação do Conhecimento, ocupa-se dos constructos mentais que estão em vez do mundo exterior e das regras da sua manipulação. O problema da representação do conhecimento é um problema central, quer em Inteligência Artificial, quer em Psicologia Cognitiva e embora se possam encontrar muitas distinções nas abordagens destas duas

disciplinas, a principal distinção é que a Psicologia se baseia numa teoria de correspondência da verdade, enquanto que a Inteligência Artificial opta por uma teoria de coerência. Os constructos mentais podem ser símbolos ou ligações conforme as Teorias de Representação sejam Simbólicas ou Conexionistas (ver fig. 1).

Fig. 1
Uma sistematização das Teorias da Representação



As teorias Conexionistas (Hinton & Anderson, 1981) têm vindo a aparecer recentemente, particularmente no campo da Psicologia, procurando emular as verdadeiras ligações neurológicas, responsáveis pela aprendizagem, e baseando-se para tal na ideia de processamento paralelo distribuído. Tais teorias estão limitadas a fenómenos bastante restritos, por causa da explosão combinatoria a que dão origem. Mesmo assim há a assinalar neste campo progressos notáveis (Mc Clelland & al, 1986). Para já a maior parte das teorias de representação são Simbólicas, i.e., o conhecimento é representado por símbolos que podem posteriormente ser manipulados.

A sistematização mais vulgarizada e que seguiremos para classificar a diversidade de teorias Simbólicas é a que considera a trilogia de representações: proposicionais, procedimentais e analógicas.

As representações proposicionais assumem que o conhecimento é representado por um conjunto de símbolos discretos ou proposições, correspondendo os conceitos a enunciados formais que envolvem esses símbolos (conhecimento declarativo).

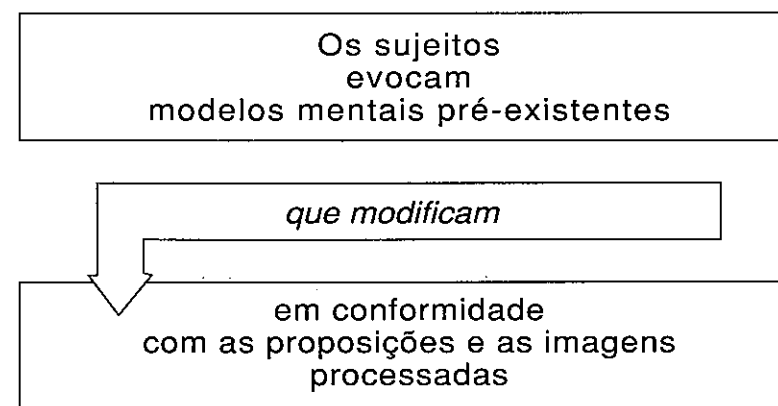
Nas representações procedimentais o conhecimento é representado em termos de processo activo ou procedimento.

Nas representações analógicas a correspondência entre os mundos representado e representador é tão directa quanto possível, usando-se variáveis contínuas para representar conceitos contínuos no mundo real.

MODELOS EM CIÊNCIA

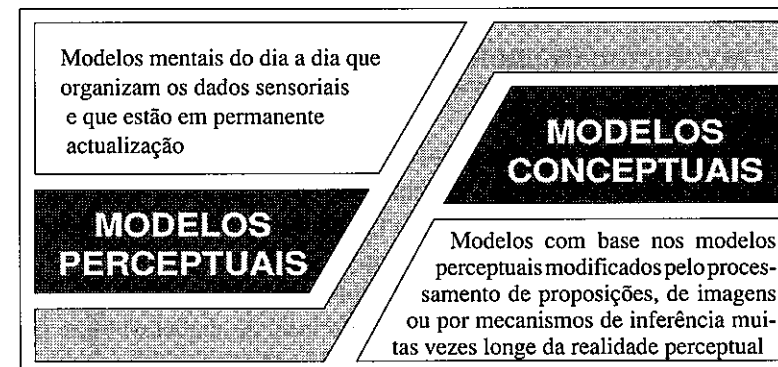
Embora, como se viu, não haja unanimidade sobre a questão da representação, em que a Educação se possa inspirar para modelar a aprendizagem, a posição mais fértil e exequível admite uma aprendizagem simultânea numa forma proposicional e analógica (ver fig. 2). Os sujeitos evocariam modelos mentais pré-existentes que iriam modificando em conformidade com as proposições processadas e com as imagens também processadas.

Fig. 2
Aprendizagem simultânea proposicional e analógica



De acordo com a teoria dos Modelos Mentais a representação do meio ambiente faz-se por modelos mentais do dia a dia, que organizam os dados sensoriais, e que estão em permanente actualização: são os chamados modelos perceptuais (ver fig. 3).

Fig. 3
Distinção entre modelos perceptuais e conceptuais.

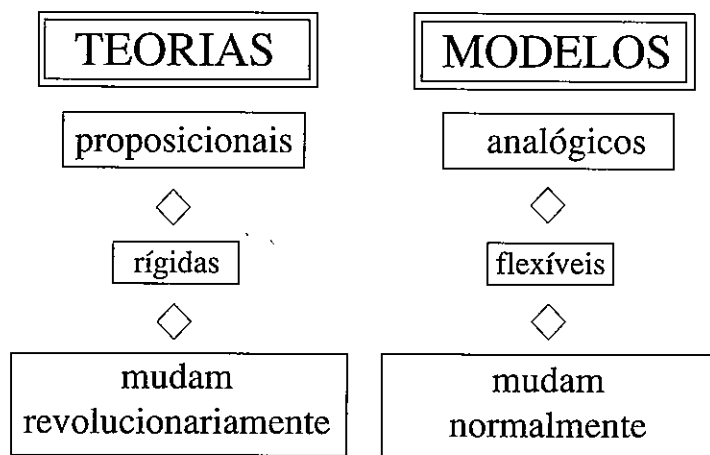


Por outro lado estes modelos servem de base para, através do processamento de proposições, de imagens ou por mecanismos de inferência, serem modificados em modelos, já muitas vezes longe da realidade perceptual que se designam por modelos conceptuais (ver fig. 3). É exactamente a estes modelos que passaremos a dedicar a nossa atenção.

Em Ciência costuma distinguir-se entre as teorias, que são proposicionais, e os modelos, que são analógicos e que procuram tornar operacionais as teorias, quer operando a partir dos primeiros princípios (modelos ab initio) quer ainda a partir de simplificações justificadas sempre só pela complexidade dos problemas (modelos simplificados).

Esta distinção entre teoria (proposicional e «imutável») e modelo (analógico e ajustável) é muito importante já que a evolução de modelos caracterizaria os períodos de Ciência normal (Kuhn, 1970), enquanto que a mudança de teorias caracterizaria os períodos de Ciência revolucionária (ver fig. 4).

Fig. 4 Teorias e modelos



O carácter hipotético das representações simbólicas analógicas denominadas Modelos Mentais (Johnson Laird, 1983) com a possibilidade de serem manipulados, e o carácter global, generalizante, abstracto e explanatório (particularmente este último) dos modelos conceptuais, torna aqueles nas representações privilegiadas pela Ciência.

O produto da actividade científica pode ser representado por modelos teóricos consensuais, implementados em computador (manipulador ideal de símbolos) e que podem ser aperfeiçoados através de várias técnicas (ver fig. 5).

Fig. 5 Exemplos de técnicas usadas em modelagem científica

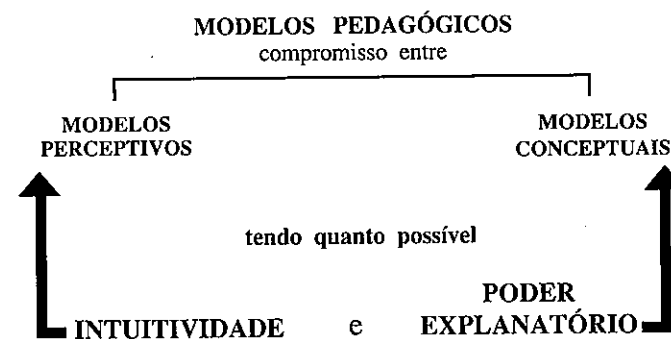
EXEMPLOS DE TÉCNICAS USADAS

- ◇ ajustamento a curvas teóricas de dados experimentais
- ◇ regressão linear múltipla
- ◇ utilização de métodos iterativos equações diferenciais
- ◇ utilização de métodos estocásticos

MODELOS EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

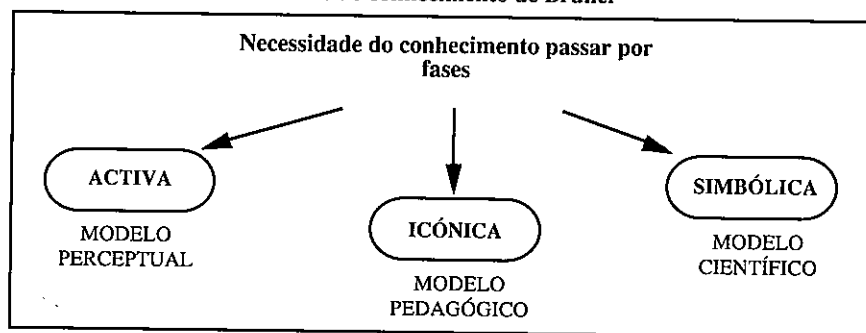
Falou-se no afastamento dos modelos conceptuais dos perceptuais e da grande tarefa que representa a psicogénese dos modelos conceptuais para a Educação Científica. Por outro lado muitos autores e em especial R. Driver (1983) falam do papel que o confronto entre os modelos dos alunos e a «realidade» pode desempenhar na construção do conhecimento, levando-os a fazerem previsões com base nos seus modelos conceptuais, e a confrontá-los com situações (bem escolhidas) que provoquem o conflito. A literatura tem dado muita ênfase à definição de estratégias que ajudem a conhecer os «modelos alternativos». Propostas de confronto não são, todavia, muito frequentes, nomeadamente no que diz respeito ao Ensino das Ciências. Este tem vários outros objectivos de que se desempenha razoavelmente bem, mas o que é certo é que o mais difícil, geralmente reservado para o professor, é o de se conseguir atingir o pensamento teórico, a que de qualquer forma, está subordinada a observação.

Fig. 6 Características dos Modelos Pedagógicos



A solução para tal problema passa pela adopção de modelos pedagógicos que reflitam um compromisso entre os modelos perceptivos e os conceptuais, tendo tanto quanto possível, a intuitividade dos primeiros e o poder explanatório dos segundos (ver fig. 6). Uma justificação para tal prática de confrontação pode-se ir buscar às ideias de Bruner (ver fig. 7), quanto à necessidade do conhecimento passar pelas fases activa (modelo perceptual), icónica (modelo pedagógico) e simbólica (modelo científico).

Fig. 7
Fases do conhecimento de Bruner



Quanto à questão da explanação ou se fica pelo nível intuitivo (o que é geralmente suficiente para os modelos estruturais), ou se recorre a simulações do comportamento aleatório do sistema (modelos estatísticos) ou da passagem do tempo (modelos dinâmicos). O caso dos modelos dinâmicos é muito mais delicado, em virtude de haver uma tendência que tem de ser corrigida por técnicas adequadas de modelagem, para se ser assertivo, em vez de se ser explanativo. Estas correcções tenderiam para além disso a modelar o pensamento em termos de relações circulares de causalidade, em vez de relações causais lineares e ainda para em vez de destacar factores causais independentes de os integrar numa teia de interdependência, devendo também tanto quanto possível explicar o comportamento do sistema em função da sua estrutura interna e não de «forças» que lhe são exteriores.

O suporte do computador é muito importante já que a imprescindibilidade duma componente estatística e duma componente dinâmica no pensamento teórico, geralmente muito à base do estrutural, faz com que os modelos estatísticos e dinâmicos, e atrás deles os computadores, se tornem imprescindíveis na Educação Científica.

Em todos os casos, mesmo no da modelagem estrutural, o computador como armazenador e manipulador de símbolos por excelência desempenha e desempenhará cada vez mais um papel fundamental, muito particularmente pela facilidade da implementação da iteração (que é essencial para a resolução numérica de equações diferenciais) pela facilidade de implementação da alietoriedade, pela possibilidade de programação orientada para objectos e pela riqueza, rigor e flexibilidade gráficas que pode exibir.

Para atingir este objectivo de suporte de modelos (suporte e não construção pois a modelagem em si é uma actividade mental) os computadores podem ser usados essencialmente de três maneiras (Ogborn, 1989):

1. Modelagem quantitativa por consideração das variáveis intervenientes.

O princípio fundamental é a consideração de ciclos iterativos das equações que relacionam as variáveis intervenientes. Destinando tanto quanto possível uma «janela» ou uma célula a cada variável passa-se directamente das equações diferenciais do modelo, sem se dar por ela, para as soluções. Tal pode ser feito com a ajuda de aplicações especiais como o STELLA a que nos vamos referir subseqüentemente, ou simplesmente com o auxílio de uma folha de cálculo como o EXCEL.

2. Modelagem quantitativa por consideração dos objectos intervenientes.

Neste caso usa-se o conceito de autómato celular de Von Neuman, isto é um conjunto mais ou menos vasto de células, cada uma das quais pode ter um número de estados, frequentemente dois, bem determinado. As células, que são uma versão discreta do conceito científico de campo, representam objectos do modelo (e. g. leões ou átomos dum sólido de Einstein), sendo preciso especificar as regras que determinam as mudanças de estado e que podem incluir ou não um elemento aleatório ou os estados das outras células. Essas regras são idênticas para cada um dos tipos de células.

3. Modelagem semi-quantitativa.

Aqui usa-se uma versão electrónica dos ciclos causais das variáveis do problema, que utiliza a representação conexionista de neurónios artificiais (Mc Clelland and Rumelhart, 1987), e que apenas pressupõe que se especifiquem as várias relações causais e o sinal das respectivas correlações. Grande parte do que no próximo tópico se dirá sobre o STELLA também se aplicará a estes modelos.

O PROGRAMA DE MODELAGEM STELLA

Teoria subjacente

O caso dos modelos dinâmicos é muito delicado, em virtude de haver tendências, que têm que ser corrigidas pela adopção de técnicas adequadas de modelagem. Estas correcções tenderiam, para além disso, a modelar o pensamento em termos de relações circulares de causalidade (em vez das mais usadas relações causais lineares) e ainda para, em vez de destacar factores causais independentes, os integrar numa teia de interdependência, devendo também, tanto quanto possível, explicar o comportamento do sistema em função da sua estrutura interna e não de «forças» que lhe são exteriores. Todo este processo levaria

a encarar o comportamento dinâmico dos sistemas numa perspectiva de prossecução de objectivos, perspectiva cujo valor universal como base do pensamento teórico ultrapassa, em muito, os limites da Educação em Ciência.

É esta teoria, conhecida pelo nome de System Dynamics, desenvolvida no Massachusetts Institute of Technology e em que basicamente se funda o STELLA (Richmond, Peterson & Vescuso, 1987) que se passa a tratar com um pouco mais de detalhe. Com efeito o STELLA é uma recente aplicação Macintosh destinada a modelar fenómenos dinâmicos e que se pode relacionar com o processo de pensamento envolvendo modelos mentais, tentando responder a questões do género: «Como se comporta o ser humano relativamente à construção e exercitação de modelos mentais?», «Qual o aspecto dos modelos resultantes?» e «Qual a sua estrutura?». De acordo com essa aproximação todos os seres humanos são inevitavelmente construtores de modelos mentais já que modelar e pensar são efectivamente sinónimos.

A teoria conceptual que suporta o STELLA pode trazer alguma luz ao processo de compreensão interpretada como construção de modelos mentais. De acordo com essa teoria para se conseguir uma melhor compreensão dos fenómenos dinâmicos devem-se abandonar os processos tradicionais de pensamento: uma primeira característica que deve ser evitada é o pressuposto que a causalidade tem um sentido único da causa para o efeito. Isto conduz a um pensamento do tipo «lista de lavandaria» em que existe uma distinção clara entre causa e efeito, embora os efeitos de alguns fenómenos possam ser causas de outros. Esta é uma via linear de pensamento, que conduz a uma interpretação estática da causalidade. No entanto podem desenvolver-se relações circulares para cada um dos factores causais da referida «lista». Desenhar um círculo implica a existência de um processo dinâmico em que os factores causais são os incluídos. A distinção estrita entre causa-efeito desaparece. Cada factor é ao mesmo tempo tanto causa como efeito.

Outra característica que deve ser evitada é o considerarem-se os factores causais como se exercessem a sua influência independentemente. Isto é, os factores causais não se influenciarem mutuamente. Em vez disso deve-se ver o fenómeno como uma teia de factores interdependentes. Em qualquer uma destas redes não é possível distinguir um factor mais «importante», porque o que é mais «importante» não são os factores em si, mas as relações entre eles. Para compreender as causas de muitos tipos de comportamento dinâmico, é essencial pensar em termos de relações interdependentes em vez de se pensar num conjunto de factores com prioridade fixa.

A maior parte das listas de «lavandaria» incluem pelo menos uma «força exterior» que funciona como uma causa altamente significativa do fenómeno dinâmico a ser explicado. As «forças externas» certamente existem e certamente têm impacto no comportamento exibido por muitos sistemas. No entanto é sempre possível considerar a «força externa» como um precipitador em vez de ser a causa do comportamento dinâmico. De acordo com este ponto de vista é o próprio sistema que provoca o comportamento.

A opção de escolher para causas do comportamento dinâmico exibido pelo sistema as suas relações estruturais, faz com que o foco da atenção sejam essas mesmas relações. Isto é oposto a focar a atenção no conjunto de «entradas» que estão a perturbar o sistema. Ora para se perceber as causas dos fenómenos dinâmicos precisa-se exactamente de ter em consideração a «estrutura interna do sistema».

Finalmente uma outra característica do processo de pensamento tradicional a evitar é o facto de este se exprimir usualmente através de asserções em vez de explicações. Como se sabe o pensamento pode ser visto como a construção e exercitação de modelos mentais devendo-se usar explicações em vez de asserções para se atingir plena eficácia. As asserções são fáceis de produzir e não é preciso nenhum pensamento rigoroso para serem feitas. Pelo contrário não são fáceis de atingir sendo preciso uma porção de pensamento cuidadoso para se construírem. E é este tipo de pensamento que é necessário para a construção e compreensão da forma como funcionam os sistemas dinâmicos. Deve-se numa palavra, ir para além dos modelos mentais qualitativos, baseados em asserções, e adoptar modelos baseados em explicações.

Usando o STELLA desenvolve-se a compreensão dos fenómenos dinâmicos através de um processo iterativo. Uma das possibilidades é começar por usar o software para exprimir as crenças sobre as causas de um comportamento dinâmico específico. Esta expressão toma primeiro a forma de um diagrama estrutural. Na fase seguinte o software permite que o computador sirva tanto como uma ferramenta de feitura de mapas como de um espelho. Isto porque o computador reflecte um mapa operacional do estado presente do pensamento do modelador. Se o modelador não gosta do que fez pode modificá-lo usando o STELLA. Então o STELLA pode fornecer uma simulação do modelo que assim se construiu.

Outra possibilidade, apresentada no presente trabalho, é a de confrontar o utente com a exploração de um modelo previamente construído. Em qualquer dos casos a simulação é uma maneira de se obter um traço do comportamento dinâmico que é implicada por um arranjo particular das assunções que se fazem e cujas relações se exprimem no mapa do diagrama. Os resultados da simulação permitem que o modelador seja confrontado com o comportamento dinâmico que é implicado pelas suas assunções.

Quando se usa o STELLA está-se, de facto, a construir modelos. O STELLA oferece uma nova linguagem de modelagem bem como todo um processo de modelagem. O que poderia ficar apenas na cabeça (modelo mental) aparece agora no écran do computador, e o que poderia ser sujeito apenas a simulação mental pode ser agora visualizado. O STELLA permite o envolvimento num processo de aprendizagem activo e orientado para a descoberta e baseia-se numa aproximação iterativa e experimental: observação, formulação de hipótese, teste, revisão, e conclusão. Esta aproximação não tem nada de radicalmente novo. O que é diferente ao usar o STELLA são as especificações para a implementação desta aproximação.

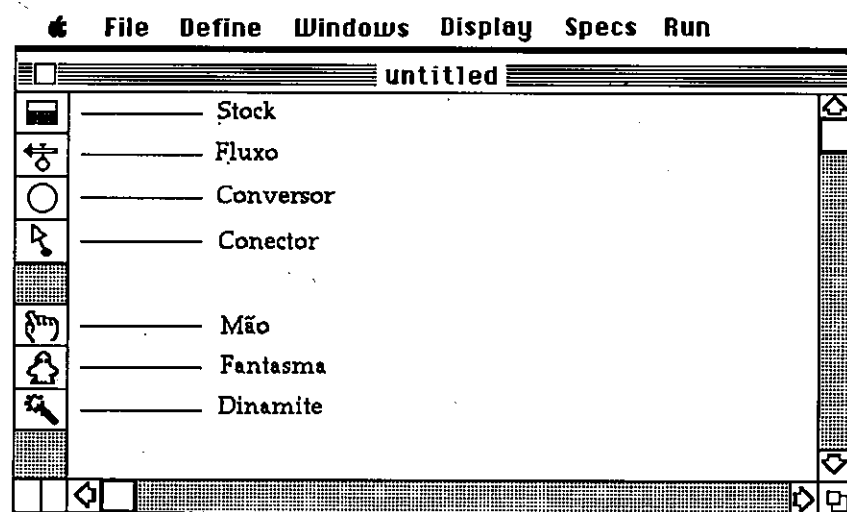
Como funciona o STELLA

Como foi dito, esta aplicação é baseada numa metodologia recentemente desenvolvida no M. I. T., chamada «System Dynamics», que aproveita muito bem a interface do Macintosh, e assenta no cálculo iterativo de equações diferenciais relativas ao tempo, cuja variação é simulada.

O STELLA apresenta uma nova linguagem chamada diagramação estrutural. Esta linguagem tem quatro elementos estruturais principais que permitem a construção de um diagrama (ver fig. 8): **stock** (símbolo genérico para representar qualquer coisa que se acumula reflectindo as condições dentro do sistema em determinado momento), **fluxo** (para representar fluxos para dentro e para fora dos stocks, fluxos de alimentação e de drenagem), **conversor** (toma certos inputs e converte-os em outputs) e **conector** (que representa as relações entre stocks e conversores).

Fig. 8

Objectos e instrumentos de programação do STELLA



Ao contrário de outros tipos de mapas (como os diagramas de «loop» causais) este diagrama estrutural não se limita a representar algumas das relações que governam o fenómeno. O diagrama estrutural descreve o sistema de uma maneira operacional tendo também a grande vantagem, sobre outras formas de representação, de, ao aparecer num écran de computador, permitir que a simulação do modelo seja observada e não simplesmente imaginada.

Outra característica importante do diagrama estrutural do STELLA é a capacidade de se poder incorporar informação quantitativa, pois permite a compreensão do «porquê» e «como» ocorrem as variações mais importantes entre as várias relações que definem o sistema, sendo esta uma das partes mais críticas da compreensão da actividade de um sistema dinâmico. A ordem dos cálculos é determinada por um diagrama de fluxo (ver fig. 9). Tal diagrama diz respeito a um modelo dos fenómenos de difusão e osmose, aperfeiçoado pelos autores e que irá ser tratado no próximo ponto. Entre os objectos programáveis, com o auxílio do instrumento representado pelo ícone «mão», ou alienáveis com o auxílio do instrumento representado pelo ícone da «dinamite», constam:

- variáveis de «stock» (neste caso referentes à sacarose e água),
- variáveis de «fluxo», que são os incrementos (positivos ou negativos) das variáveis de «stock»,
- «conversores», que estabelecem as relações existentes entre as variáveis,
- «conectores», que ligam as variáveis entre as quais existe uma relação de causa e efeito, para além dos fluxos.

«Stocks» e conversores, são de facto, janelas que correspondem a células de uma folha de cálculo, que podem ser abertas e onde existe espaço para serem escritas as equações do modelo. No caso dos «stocks» figuram as equações que definem o valor inicial das variáveis. Nos conversores as equações incrementais que definem os fluxos, assim como todas as outras relações, são estabelecidas sob uma forma algébrica ou gráfica.

A simulação do tempo pode ser desencadeada a partir do Menu Run, notando-se no diagrama o esvaziamento de alguns «stocks» e o enchimento de outros. A simulação pode ainda ser feita de uma forma numérica. Uma outra alternativa de seguir a simulação é através da opção gráficos do menu Windows (ver fig. 10).

EXPLORAÇÃO DIDÁCTICA DO MODELO DIFUSÃO/OSMOSE EM STELLA

Objectivos

Pretende-se agora analisar a «estratégia natural» que um grupo de quatro alunos, do 10º ano de escolaridade — disciplina de Biologia, utilizou para compreender⁽²⁾ um modelo de difusão/osmose, implementado em computador, na aplicação STELLA. Pretende-se também analisar a contribuição dos alunos para a sua própria aprendizagem, quando colocados numa situação interactiva (grupo restrito de quatro alunos).

Metodologia

Tendo em vista estes objectivos organizadores, o método de recolha de dados utilizado foi a observação de um grupo de alunos, aos elementos do qual se pediu que falassem em voz alta, expressando o seu pensamento à medida que iam realizando uma determinada tarefa. Essa tarefa consistia em compreender o comportamento de um modelo de difusão/osmose — sistema dinâmico representado em STELLA — solicitando o menor auxílio possível ao professor.

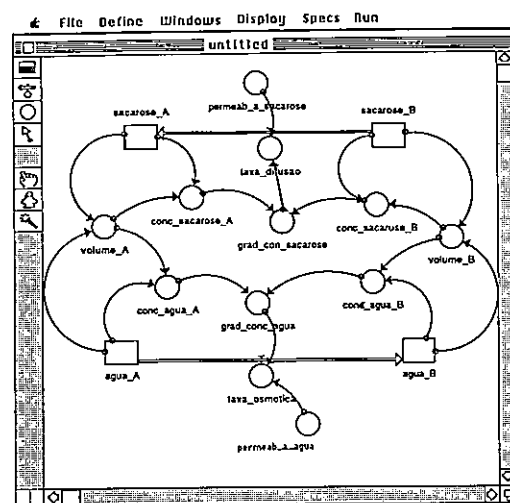
De referir que os alunos passaram previamente por uma fase de aprendizagem do sistema operativo do Macintosh e explicitamente de noções de manipulação do programa STELLA.

Em termos de conteúdo científico, os alunos possuíam alguns conhecimentos relativos a fenómenos de difusão e conceitos relacionados, não lhes tendo sido ainda apresentado o conceito de osmose.

O modelo de difusão/osmose foi apresentado aos alunos sob a forma de um diagrama estrutural (ver fig. 9), que representava os principais elementos intervenientes nos fenómenos de difusão e de osmose, bem como as principais relações entre eles. Para além disso, e esta é uma característica fundamental da aplicação STELLA, este diagrama estrutural permitia simular o fenómeno em questão, apresentando as modificações inerentes a essa simulação nos vários elementos do modelo. Assim a simulação do modelo podia ser observada e não simplesmente imaginada.

Fig. 9

Diagrama do modelo de difusão/osmose em STELLA



Procurou-se criar condições que promovessem uma verdadeira interacção no sentido da noção de conflito sócio-cognitivo de Perret-Clermont (1979). Cada elemento teve então oportunidade de confrontar as suas representações com as dos outros elementos do grupo de modo a conseguir uma representação mais apurada. A interacção dos alunos foi registada em gravador, sendo posteriormente transcrita e analisada.

Descrição e análise dos resultados

Da análise das intervenções dos vários elementos do grupo, verifica-se que num primeiro passo os alunos exploraram o modelo que lhes foi apresentado. A sua primeira preocupação consistiu em tentar estabelecer uma ligação entre o diagrama e a representação de um modelo do quotidiano, através da observação da interacção das diferentes variáveis:

Segmento 1

«Clara⁽³⁾ — ... este esquema deve representar duas soluções de sacarose.

Manuel — Ah! isto é permeável à sacarose.

Clara — Isto deve ser assim: está a haver um fluxo de B para A. No meio há ali uma coisa qualquer que deve ser uma membrana que é permeável à sacarose».

Esta transcrição evidencia que a estratégia de exploração utilizada pelos alunos foi do tipo serialista⁽⁴⁾ concentrando a sua atenção na parte superior do diagrama (referente à sacarose) (ver fig. 9) e esboçando já uma cadeia de causalidade. O primeiro obstáculo conceptual com que se depararam foi o conceito de taxa de difusão:

Segmento 2

«Susana — ... e a taxa de difusão?

Manuel — ... cá está, ela vai depender do gradiente de concentração de sacarose.

Clara — ... e da concentração da sacarose em B e em A.

Manuel — ... ah! quer dizer que o gradiente é a diferença, não é? Portanto a concentração deste e a concentração do outro vai provocar um gradiente de concentração e o gradiente vai provocar a taxa de difusão e a taxa de ... não se percebe»

No intuito de esclarecerem esta dúvida os alunos tentam compreender as relações entre as variáveis que afectam, directa e indirectamente, a taxa de difusão (grad-conc-sacarose, conc-sacarose-A, conc-sacarose-B) (ver fig. 9). Estabelecem, por fim, o conceito de gradiente como sendo resultante da diferença da concentração da sacarose em A e em B. No entanto, não explicitam a relação entre o gradiente e a taxa de difusão. De facto a ausência deste conceito, no modelo conceptual dos alunos, impede-os de uma compreensão mais profunda.

A exploração continua, tentando os alunos observar as variáveis que afectam a concentração da sacarose, e deduzindo posteriormente os factores que influem no fluxo da sacarose. É então estabelecido o primeiro modelo analítico para a parte superior do diagrama, sem haver uma compreensão do modo como a taxa de difusão se relaciona com o fluxo.

Segmento 3

«Clara — ... como é que se sabe a concentração da sacarose? É através do volume de A. Ah! então pronto, a passagem da sacarose B para a sacarose A vai depender da permeabilidade à sacarose e da concentração desta em A e em B que vai originar um gradiente de concentração, e a taxa de difusão ...»

Note-se que o conhecimento prévio dos alunos terá sido activado pelas características organizacionais do diagrama, que lhes permitiu de acordo com as suas grelhas conceptuais, construir uma primeira aproximação de um modelo mental baseado na análise superior do diagrama. O facto de existir uma lacuna no seu conhecimento relativamente ao conceito de taxa de difusão, veio contribuir para que, de momento, esse modelo ficasse incompleto, em termos operatórios.

Numa segunda fase exploratória do diagrama estrutural os alunos percebem de imediato a seta de A para B correspondente ao fluxo da água (ver fig. 9). A observação do conversor taxa osmótica suscita-lhes uma nova dúvida conceptual: «o que é a osmose?». Apesar dos alunos não terem aprendido, em termos formais, o conceito de osmose, exibem algumas concepções relativamente a este conceito, pelo que se seguiu um debate teórico dentro deste âmbito. Nesse sentido uma aluna exprime o seguinte:

Segmento 4

«Ana — ... a membrana é permeável à água. A osmose é a passagem de uma substância de um meio mais concentrado para outro menos concentrado».

O desacordo dos colegas relativamente a esta explicação da osmose — referindo um deles que ela se reportava à difusão e outro que a osmose é a difusão — acarreta a continuação da exploração do diagrama no sentido de serem esclarecidas estas dúvidas. Observam então a interacção das variáveis volume, concentração da água (em A e B) e gradiente de concentração da água, o que conduz os alunos à comparação dos lados esquerdo e direito do diagrama e respectiva descoberta da existência de dois esquemas paralelos (simetria vertical do modelo) (ver fig. 9):

Segmento 5

«Manuel — ... a concentração da água em A e em B dá o gradiente da concentração da água. Ah já percebi! há aqui dois esquemas paralelos. Portanto no volume A vai haver um gradiente de sacarose e também um gradiente de água e isto passa-se igualmente para B».

Gera-se então um conflito pois os restantes colegas estavam mais interessados em explicar fluxo de água de A para B. A discussão faz com que um dos elementos do grupo centre a sua observação na comparação dos fluxos sacarose e água e respectiva direcção dos mesmos:

Segmento 6

«Ana — já repararam que a sacarose está a passar de B para A e a água de A para B?»

Surge então a primeira preocupação temporal, pois uma aluna (Clara) não compreende se os fluxos de água e sacarose representados no diagrama acontecem ao mesmo tempo. Esta mesma aluna sente então necessidade de impor ao grupo uma certa ordem nas observações realizadas, já que segundo transparece (ver segmento 1) existe um conflito entre a representação do diagrama estrutural e a representação do modelo analógico do quotidiano. É então que começa a fazer uma análise idêntica à que um dos seus colegas (Manuel) já tinha realizado, centrando-se na observação das variáveis que afectam a concentração da água. Só que ao exprimir a sua dúvida de um modo pouco claro («a concentração da água está ligada a quê? ...») obtém como resposta não a causa mas o efeito («a concentração da água está ligada ... ao gradiente de concentração de água.») (ver fig. 9). Então esclarece a sua preocupação conceptual «o que é concentração?» conduzindo a atenção dos colegas para as variáveis que afectam a concentração de água. Começam, então, a analisar a variável volume e formulam a hipótese deste ser igual às quantidades de sacarose e água. A hipótese é testada pela consulta da equação que define a variável volume:

Segmento 7

«Clara ... cá está, é certo. O volume vai depender da sacarose e da água. Então o volume de A é igual à sacarose A mais a água A e a de B é igual à sacarose de B mais a água B»

Ao analisarem a concentração da água, os alunos só conseguem observar a sua dependência em relação ao volume de A, ficando pois incompleto o estabelecimento das relações dos factores que afectam a concentração da água A. Esta é influenciada pelo valor assumido pelo stock de água A e pelo volume A (ver fig. 9). Este é o primeiro caso em que os alunos exprimem as relações de um modo quantitativo.

Os alunos apresentam concepções pouco correctas quanto ao conceito de concentração que, funcionando como grelha de leitura, interferem, conseqüentemente, na compreensão da dinâmica desta parte do modelo. A análise prossegue, focalizada na taxa osmótica. Note-se que uma primeira tentativa de compreensão deste conceito tinha gerado, anteriormente, um debate sobre o conceito de osmose (ver segmento 4) o qual é agora repescado e continuado. Este obstáculo conceptual estimula um dos alunos a idealizar um modelo explicativo com base na observação da parte inferior do diagrama (ver fig. 9):

Segmento 8

«Manuel — ... a não ser que a taxa osmótica... seja ... e a osmose a passagem da água para a água... até haver equilíbrio das duas substâncias, quer dizer água-água. Reparem por exemplo a água está mais concentrada em A do que em B portanto vai de A para B.

Clara — mas isso é difusão! e já demos isso na aula»

A não adesão dos colegas ao modelo explicativo do Manuel, mantém persistente o obstáculo conceptual, que por sua vez começa a acarretar obstáculos afectivos. O Manuel insiste, novamente, na sua ideia e pede aos colegas que centrem a sua observação nos factores que vão influenciar a taxa osmótica — gradiente de concentração de água e permeabilidade à água. Comparando as partes superior e inferior do diagrama afirma «...quando for a água é osmose, para outras substâncias é difusão!». Para o Manuel tudo está perfeitamente claro, e as suas tentativas para convencer os outros elementos são infrutíferas. Transparece pois uma falta de confiança nas explicações do Manuel ou estas não foram suficientemente plausíveis (talvez uma certa resistência à mudança). Parece então, que há uma divisão do grupo em dois, pois, como não há consenso na compreensão do modelo, duas alunas resolvem mudar a estratégia de análise do diagrama para concluir a diferença entre osmose e difusão, enquanto outros dois se centram na discussão dos conceitos.

Ana e Susana preocupam-se em observar a simetria horizontal, comparando as partes superior e inferior do diagrama estrutural, tentando clarificar as semelhanças e as diferenças. Enquanto o diálogo entre o Manuel e a Clara continua, manifestando este a sua incompreensão relativamente ao diagrama cuja parte superior se refere à sacarose e a parte inferior à água, e encarando o diagrama como duas partes distintas. A Clara parece então estar mais preocupada com os possíveis valores das variáveis e assinala ao Manuel essas diferenças, exibindo o seu raciocínio proporcional:

Segmento 9

«Clara — ... a concentração é contrária onde a água é maior a sacarose é menor. Se o volume é igual em A e B, se temos a mesma concentração tens de ter menos água. Há uma coisa no meio que é permeável»

Os dois discutem, entretanto, a permeabilidade à água e à sacarose, não ficando esclarecidos quanto às características da permeabilidade da membrana pelo facto de não terem consultado a «janela das equações», que os informaria do valor que assumem. Manuel insiste, novamente, na ideia de que o diagrama é simétrico e que a única diferença reside na taxa de difusão e de osmose, afirmando que a diferença entre difusão e osmose se refere unicamente à substância que se difunde — água — para o caso da osmose, sacarose — para o caso da difusão — e chegando ao conceito de osmose como sendo a difusão da água. Apesar de acharem lógica a explicação do colega, os outros elementos do grupo permanecem em dúvida, expressando a seguinte ideia:

Segmento 10

«Manuel — ... ela disse para analisarmos isto em quinze minutos e nós fizemo-lo em cinco.

Ana — ... e certamente não dissemos o que ela queria!»

Meirieu (1985) chama a atenção para o facto dos alunos se interrogarem muitas vezes sobre aquilo que esperamos deles, e como não o podem formular precisamente, já que não dominam o conhecimento, constroem representações imaginárias. «Temos pois que aceitar o facto de que os alunos avançam em direcção ao objectivo da tarefa por caminhos aleatórios à sua história, às suas representações e aos seus projectos» (Meirieu, 1985). O autor designa este fenómeno como uma estratégia de sobrevivência.

Posteriormente, os alunos exibem mecanismos de verificação no intuito de se certificarem da exactidão das suas análises, após os quais optam pela simulação do diagrama estrutural. De facto, o processo de compreensão do diagrama, à medida que a sua leitura progride, implica uma contínua avaliação do modelo mental, que está a ser construído por cada um em contínua interacção com os restantes elementos do grupo.

Até este momento, parece terem ficado por compreender os conceitos de taxas de difusão e osmótica, a relação destas com os gradientes de concentração, bem como as características relativas à permeabilidade da membrana. Das variáveis que afectam a concentração da água, os alunos apenas analisam o volume e não consultam os valores assumidos pelas variáveis de «stock». Fazendo um balanço do tipo das interrelações estabelecidas entre as variáveis, parece que predominam as de cariz qualitativo embora se tenham constatado algumas de índole quantitativa.

A simulação é um modo de se obter um traço do comportamento dinâmico do sistema permitindo o esclarecimento da estrutura causal dos fenómenos através da observação das interrelações causais. Como já foi referido, a simulação do tempo pode ser desencadeada a partir do «Menu Run», notando-se no diagrama o esvaziamento de alguns «stocks» e o enchimento de outros.

Nesse sentido, os alunos simulam o diagrama e observam o comportamento dos «stocks» de sacarose e água e detectam que «a água subia no stock B e descia no stock A, não havendo qualquer alteração nos stocks de sacarose».

Colocam então hipóteses explicativas para a permanência do comportamento da sacarose:

Segmento 11

«Clara — ... a membrana é permeável à sacarose.»

Os alunos poderiam ter acedido directamente às características da membrana se lhes tivesse ocorrido a ideia de consultarem o valor da permeabilidade à água e à sacarose testando desse modo a sua hipótese. Como não o realizaram consideraram a membrana

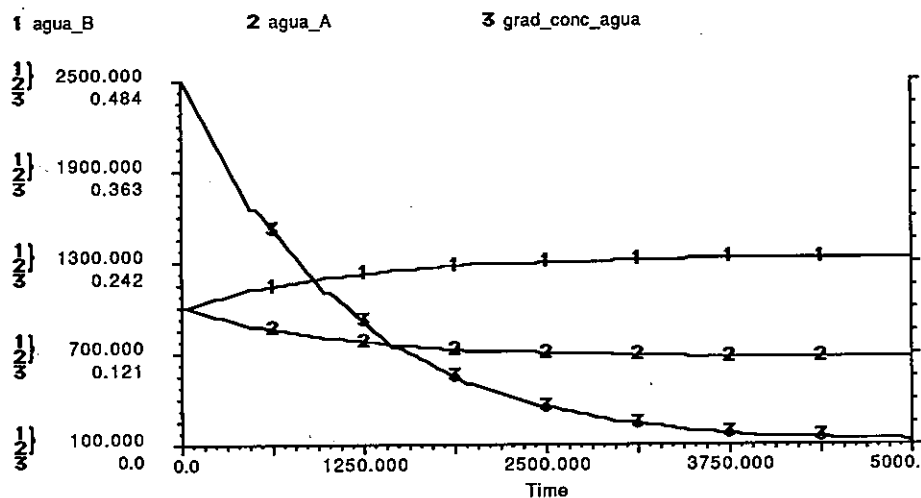
impermeável à sacarose; só que um dos elementos do grupo, observando os factores que afectam a taxa de difusão, afirma:

Segmento 12

«Clara — ... o facto da permeabilidade à água influir na taxa de difusão não quer dizer que a membrana seja permeável ou não.»

Em busca da compreensão do comportamento dinâmico do sistema os alunos resolvem proceder à simulação gráfica (ver fig. 10)

Fig. 10
Gráfico representativo da variação temporal das variáveis:
1-água B; 2-água A; 3-gradiente de concentração da água



A Susana não compreende porque é que «... o gradiente estava a diminuir ...», e os colegas auxiliam-na:

Segmento 13

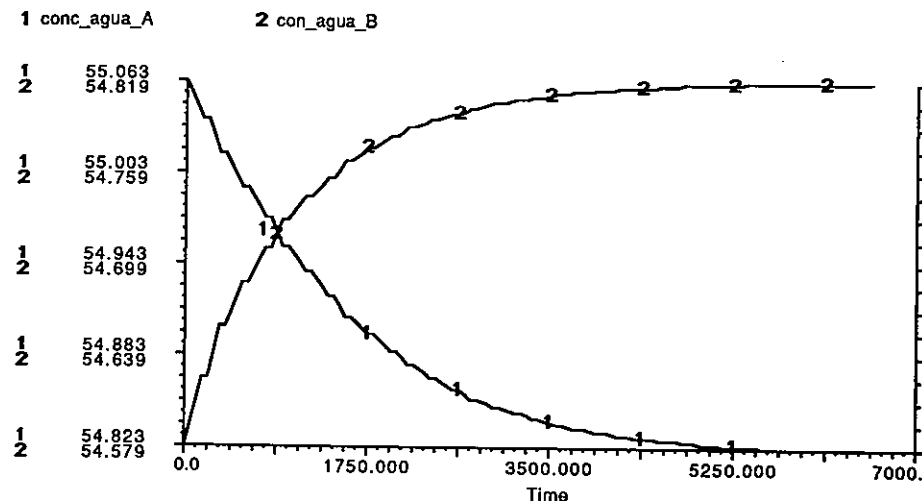
«Manuel — ... não vês! o gradiente é expresso pelas diferenças de concentração, portanto, tem que diminuir.»

Clara — ... repara 1 é a quantidade de água em B e 2 a quantidade de água em A; se a quantidade de água em B está a aumentar e depois estabiliza, e a quantidade de água em A diminui, então o gradiente de concentração também diminui, e o movimento pára quando o gradiente for nulo.»

Note-se que é a primeira vez que os alunos verbalizam a condição de paragem do fluxo de água que propositadamente se destaca no segmento 13.

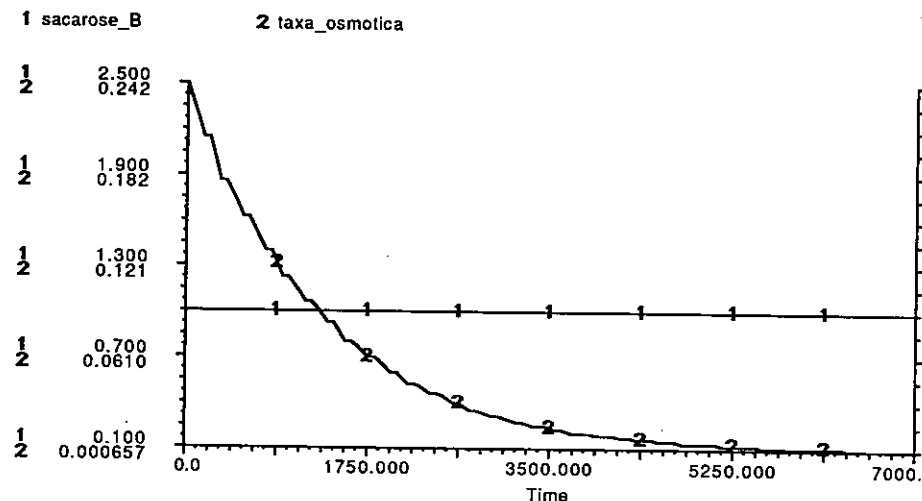
Os alunos analisam seguidamente outra representação gráfica (ver fig. 11):

Fig. 11
Gráfico representativo da variação temporal das variáveis
1-concentração de água em A, 2-concentração de água em B



Os alunos não estranham o comportamento destas variáveis ao longo do tempo, não verbalizando qualquer explicação digna de destacar. Continuando o processo de análise de simulação gráfica, os alunos escolhem a representação de duas variáveis: sacarose em B e taxa osmótica (ver fig. 12).

Fig. 12
Gráfico representativo da variação temporal das variáveis:
1-sacarose B e 2-taxa osmótica



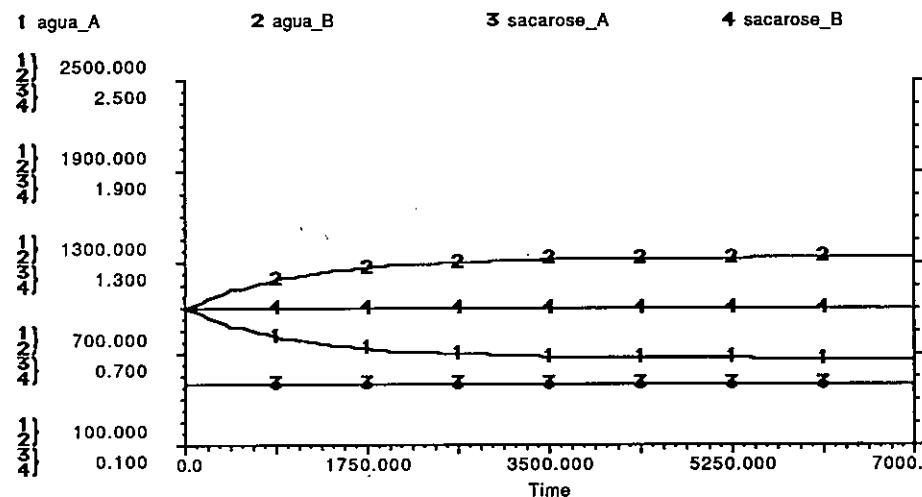
Os alunos não justificam esta escolha, a qual não parece óbvia, pois se já tinham concluído que a osmose estava relacionada com a água, nada mais natural que a escolha da taxa osmótica se relacionasse com a concentração de água. No entanto esta observação ajuda-os a reforçar o modelo físico que tinham idealizado por observação do diagrama estrutural (ver fig. 9). Recorde-se que a leitura do diagrama tinha sugerido à Clara um modelo analógico considerando a sacarose e água como estando em recipientes separados. Observando a simulação representada na figura 12 a aluna exclama:

Segmento 14

«Clara — ... A água está junta com a sacarose só que no diagrama estão representados em separado!»

A simulação seguinte reporta-se à análise do comportamento dos «stocks» de água e sacarose (ver fig. 13).

Fig. 13
Representação do comportamento das variáveis:
1-água A, 2-água B, 3-sacarose A, 4-sacarose B



Da análise da discussão observa-se que um dos alunos considera os dados discrepantes em relação ao seu modelo conceptual. Na verdade, ele idealiza o seguinte:

Segmento 15

«Manuel — ... se o gradiente é a diferença, se houvesse mais sacarose num frasco e menos sacarose no outro, teria de haver um fluxo de sacarose e o gráfico da sacarose seria diferente»

Este comentário reflecte o facto do aluno não ter integrado conceptualmente as características relativas à permeabilidade da membrana. Esta possui características de impermeabilidade à sacarose, impedindo o fluxo de sacarose, mesmo que haja um gradiente de concentração desta substância. É então, que os colegas lhe relembram o que já tinham discutido anteriormente acerca deste assunto. Segue-se um debate, apresentando o Manuel críticas ao modo como o diagrama se apresenta conceptualizado pois «se a membrana não é permeável à sacarose, então essa variável não devia estar aí representada». Os outros elementos do grupo rebatem esta ideia e colocam ao colega uma hipótese explicativa baseando-se nos dados recolhidos:

Segmento 16

«... repara que a permeabilidade à sacarose tem que ser constante pois se não há passagem (da sacarose) ela não pode diminuir de um lado e aumentar do outro. Com a água já não pode ser a mesma coisa pois, como há fluxo, aumenta em B e diminui em A.»

Da análise da sequência posterior do diálogo, parece que o modelo do Manuel se adapta ao dos outros colegas, conseguindo explicar os dados em termos de concentrações das soluções A e B:

Segmento 17

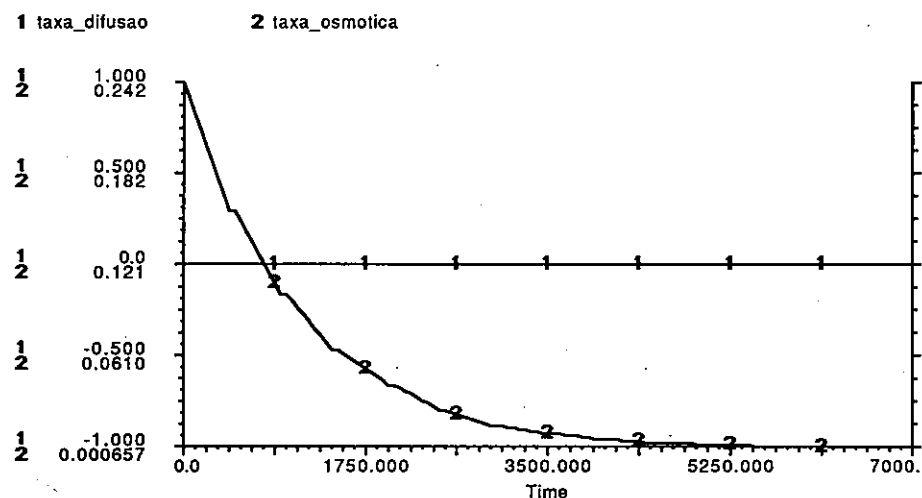
«... a água aumenta em B e diminui em A pois, como vimos, há mais sacarose na solução B do que na A; e quanto maior for a quantidade de água menor vai ser a concentração da solução.»

Parece que neste momento o Manuel entrou em consonância com o grupo, apesar de não ser fácil para este aluno apresentar este tipo de comportamento. Se é habitual dizer-se que o trabalho de grupo é complementar, parece que isso nem sempre se verifica, pois há à partida uma eleição da Clara que funciona, a maior parte das vezes, no papel cultural do professor.

Ao analisarem o comportamento das taxas osmóticas e da difusão (ver fig. 14) os alunos «esbarraram» novamente com o significado do conceito de osmose, de taxas de difusão e osmótica, resolvendo pedir ajuda ao professor. Apesar de se ter proposto aos alunos uma aprendizagem autónoma em grupo, mas mais uma vez se verifica que o professor não pode passar sem ser o mediador social da aprendizagem. Os alunos requerem e solicitam informações ao professor, pondo em causa uma perspectiva individualista da aprendizagem.

Fig. 14

Gráfico representativo das variáveis: 1-taxa de difusão e 2-taxa osmótica



Os alunos apresentam ao professor as suas dúvidas seguindo-se, então, um diálogo no qual o professor desempenha um papel não de mero transmissor de conhecimentos mas essencialmente de mediador da aprendizagem (Giordan, 1988), preocupando-se em estudar a compreensão dos alunos relativamente ao modelo representativo dos fenómenos de difusão e osmose. Os alunos explicitam o seu modelo do seguinte modo:

Segmento 18

«... há duas soluções de sacarose com diferentes concentrações. Entre elas há uma membrana que é permeável à água e impermeável à sacarose; isto é assim pois simulando o diagrama os stocks de sacarose não se mechem e observa-se que há fluxos de água.»

O professor tenta, então, certificar-se da estratégia exploratória seguida pelos alunos para concluírem acerca das características de permeabilidade da membrana. De facto, a estratégia foi inferida através da simulação do diagrama e observação dos «stocks». O professor tenta chamar a atenção para a utilização de uma estratégia mais fácil que apenas consistia em observar o modo como estão definidas as variáveis no modelo. Fazendo um duplo «click» em cima da variável permeabilidade à água, os alunos observam que esta assume um valor constante (neste caso igual a 0,5). Os alunos são então convidados a expor mais dúvidas. Em unísono respondem que queriam aprofundar as noções de taxas de difusão e osmótica. O professor não responde directamente às dúvidas colocadas e inicia um diálogo centrado no conceito de difusão, já previamente trabalhado em aulas anteriores. Os alunos exprimem então o seu conceito de difusão a um macronível:

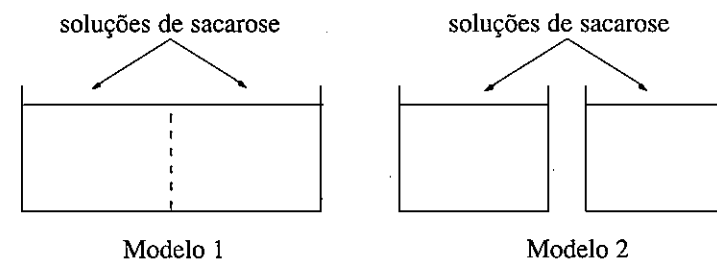
Segmento 19

«Passagem de uma substância de um local mais concentrado para um local menos concentrado .

Utilizando este conceito, o professor chama a atenção para a tendência que existe para o equilíbrio, condição de paragem do fluxo, e aproveita a ocasião para aprofundar o conceito a um micronível, confrontando a concepção de equilíbrio que os alunos possuem com a concepção científica de equilíbrio dinâmico. É então que explicita verbalmente o conceito de taxa de difusão. Prontamente os alunos centram o professor na velha dúvida do conceito de osmose, à qual este responde utilizando um procedimento idêntico ao anteriormente referido. Curiosamente, esta estratégia permite que os alunos testem as suas concepções acerca destes conceitos, já anteriormente muito debatidos, contribuindo para que todo o grupo apoie as deduções do Manuel (que começa então a possuir uma certa credibilidade dentro do grupo). Nota-se aqui, a autoridade conceptual do professor como detentor do conhecimento científico, autoridade essa que não foi até este momento atribuída ao Manuel. Chamando a atenção para o facto de que o diagrama representado no ecran pretende simular um sistema físico, o professor pede aos alunos que traduzam os seus modelos através de um esquema. Surgem então os seguintes esquemas:

Fig. 15

Esquema representativo dos modelos físicos conceptualizados pelos alunos



Como o professor considerou que o modelo 2 se afastava da lógica de funcionamento expressa no diagrama STELLA, tenta interferir com o autor desse modelo. Começa, então por chamar a sua atenção para a simetria vertical do diagrama, o que desencadeia imediatamente por parte do aluno a seguinte simulação mental, conducente a uma nova representação:

Segmento 20

«Manuel — Em A há menos sacarose e portanto maior concentração de água. Vai acontecer que a água passa de A para B. A parte central do diagrama pode representar

as variáveis da membrana. Portanto penso que o modelo das minhas colegas (modelo 1) é o mais correcto.»

O professor sobrepõe no ecrã do computador a sua representação do modelo, escrita em acetato. Segue-se um debate de ideias no qual o professor observa o nível de compreensão atingido pelos alunos, relativamente aos fenómenos em estudo. De referir que, só a partir do momento em que o professor refere os valores das concentrações das soluções, é que os alunos começam a explicitá-los. Até então tinham deduzido que, por exemplo, a solução A tinha menor concentração, apenas por observação do sentido das setas representativas dos fluxos e inferindo que:

Segmento 21

«Se a água flui de A para B, então é porque em A a água está mais concentrada do que em B (correspondendo a uma solução de menor concentração).»

Só assim, e de acordo com as suas representações conceptuais das leis de difusão, conseguem explicar o fluxo da água no sentido de A para B. Esta estratégia de exploração é bastante lógica, mas muito mais trabalhosa, em termos conceptuais, do que a de aceder directamente aos valores da concentração em A e em B. Esta foi a segunda vez que os alunos não utilizam a via mais rápida e naturalmente esperada de obter informação.

Continuando a observação do processo de compreensão dos alunos sobre os fenómenos simulados, o professor tenta então analisar o conhecimento relativo à identificação da concentração dos compartimentos (stocks) possuidores de soluções. Os alunos expressam o seguinte raciocínio:

Segmento 22

«De início a solução mais concentrada é a do compartimento B, pois esta tem maior concentração do soluto — sacarose — e menor concentração de água do que a existente em A.»

Seguidamente, discutem-se as características da membrana clarificando-se o conceito de membrana semi-permeável.

O professor tenta novamente que os alunos elicitem a representação do diagrama simulado, mas desta vez verbalizando-o. Todos os alunos se mostram de acordo relativamente à representação do diagrama dizendo que o que está em jogo é o comportamento dinâmico de um sistema, contendo duas soluções de sacarose, de diferentes concentrações, separadas por uma membrana semipermeável. Curiosamente, um dos alunos estabelece um paralelo entre este modelo físico e o mundo vivo, explicando a entrada de água para as células. Este facto mostra que está a decorrer uma aprendizagem significativa pois os conhecimentos a adquirir são activamente relacionados com outros pré-existentes na mente do

aluno e que compõem os seus modelos conceptuais. Os próprios alunos tentam compreender os fenómenos utilizando metáforas para a compreensão dos novos conhecimentos sendo por isso mediadores do seu próprio conhecimento. Pensa-se que o professor pode facilitar essas ligações, ajudando à interligação do conhecimento familiar e não familiar.

O professor dirige a discussão para a análise da interrelação das variáveis gradiente de concentração, taxa osmótica, variação de volume em A e em B, pedindo simultaneamente aos alunos que expressem os seus modelos mentais relativamente à descrição microscópica do fenómeno. Desse modo certifica-se da uniformidade conceptual dos alunos, bem como da respectiva estruturação de conhecimentos:

Segmento 23

«Quanto maior for o gradiente de concentração da água mais rápida é, inicialmente, a taxa osmótica. As moléculas de sacarose não atravessam a membrana, pois ela é impermeável à sacarose. As de água passam, pois a membrana é permeável à água, e está está mais concentrada em A. Interessa-nos pensar em termos de concentração de água, pois como em A a concentração de água é maior do que em B, há um fluxo do local de maior concentração do solvente para o de menor concentração. Sendo assim, em A vai haver uma diminuição do volume e em B um aumento.»

Apenas um dos alunos (Manuel) chama à atenção para o caso da condição de paragem do fluxo afirmando que:

Segmento 24

«... esta ocorrerá quando as concentrações de água forem iguais nas duas soluções, bem como as concentrações de sacarose.»

Esta afirmação gera um conflito cognitivo em relação a um colega (Clara). De referir que ao longo do diálogo se observam, com bastante frequência, conflitos de opiniões entre os dois. De facto, a Clara defende a ideia de que no final da simulação a concentração da sacarose seria diferente nos dois lados da membrana pois não existiria fluxo dessa substância para nenhum dos lados. O que falta a esta aluna é pensar em termos proporcionais, relacionando por exemplo a variação do volume com as respectivas concentrações de água e sacarose. Manuel, apercebendo-se desta dificuldade, tenta interferir com a colega expondo-lhe a sua hipótese de uma forma bastante clara:

Segmento 25

«... repara! No final a concentração de sacarose vai ser igual, pois ao passar água para B, vai aí aumentar a concentração de água. Consequentemente se a água aumenta, diminui no volume total a quantidade de sacarose. Em A passa-se exactamente o contrário: gradualmente, como sai água de A e há uma diminuição do volume, a quantidade de sacarose vai aumentando, e o fluxo pára quando o gradiente de sacarose for nulo.»

Apesar da Clara manifestar que compreende este raciocínio, mostra-se um pouco céptica. O professor, atento à conflitualidade dos seus alunos, pede-lhes que confrontem as suas ideias, observando os valores que as variáveis assumem ao longo do tempo; mas primeiro sugere-lhes que investiguem como estava definida a concentração da sacarose e que testem as suas hipóteses no final da simulação. Os alunos não seguem essa orientação e continuam a defender hipóteses diferentes. Neste caso o conflito sócio-cognitivo do grupo leva a que, neste momento, se reafirmem ainda mais as ideias erradas em vez de se darem as transformações conceptuais necessárias. Manuel insiste na defesa da sua ideia contra os restantes elementos do grupo, os quais retornam à hipótese inicial. Observemos o raciocínio da maioria:

Segmento 26

«Em B a quantidade de sacarose mantém-se; não há fluxo, e o volume aumenta. A concentração da água no final, vai ser igual nos dois lados pois a água vai passar de um lado para o outro. Então no final, a concentração da água vai ser igual nos dois lados, se em B a concentração da sacarose é maior (ela não passa para A) então em B continua a ser maior a concentração de sacarose.»

Este raciocínio reflecte, em nossa opinião, uma certa limitação na observação das variáveis que intervêm no ciclo causal que influencia a variação da concentração da sacarose nas duas soluções, raciocínio esse que já tinha sido previamente manifestado. Nessa altura, coloca-se a hipótese, dos alunos apresentarem concepções pouco correctas relativamente ao conceito de concentração o qual, funcionando como grelha de leitura, interfere com a compreensão desta parte do modelo. Na verdade, concepções alternativas relativamente ao conceito de concentração, têm sido descritas na literatura (Murray, 1983; Vilar Correia, Costa Pereira, 1989), referindo-se o facto de os alunos exprimirem as suas concepções baseando-se na comparação das quantidades de solutos ou solventes ou soluções, enquanto que as concepções dos peritos são baseadas em comparações relacionais tais como quantidade de soluto numa dada quantidade de solvente ou solução.

De repente a Clara, que sempre manifestou interesse em relacionar todas as variáveis intervenientes no comportamento do sistema, revê o seu modo de pensar:

Segmento 27

«O Manuel tem razão. De facto a concentração da sacarose em B diminui pois o volume vai aumentar. Vamos consultar a fórmula e observar se a concentração vai depender da quantidade de sacarose por volume (concentração de sacarose = sacarose A/volume A). Parece ser claro, pois se aumenta o volume e a sacarose continua na mesma, então vai diminuir a sua concentração. No outro lado é ao contrário.»

O professor, pensando que seria altura de fazer um balanço de situação pergunta aos alunos: *«no final como vão ser as concentrações?»* Obtendo como resposta unânime: *«que vão ser diferentes»*. Surpreso com esta resposta, o professor sugere aos alunos que testem as suas ideias, analisando os valores assumidos pelas variáveis — concentração de sacarose em A e B e concentração de água em A e B ao longo do tempo, utilizando para isso a simulação numérica.

O professor assinala que a hipótese colocada não está correcta, e que perante os resultados a concentração de sacarose iria ser praticamente a mesma nos dois compartimentos.

Segmento 28

«mas nós estávamos a comparar os valores entre o estado inicial e o estado final da concentração de sacarose, por essa razão dissemos que ia ser diferente».

Professor — Ah! Estavam a referir-se a isso? Mas não foi isso que eu perguntei.»

O que os alunos estão a analisar é a previsão do valor assumido pelas variáveis de concentração de sacarose em A e em B e o que o professor pretende é estabelecer a comparação entre essas duas variáveis no final da simulação. É importante enfatizar neste momento o desfazamento entre a mensagem emitida pelo professor e a recebida pelos alunos. Problemas de comunicação, tal como este, são frequentes na sala de aula e devem a todo o custo ser evitados, já que se pretende que as mensagens a transmitir cheguem sem «ruído» aos receptores, de modo a que estes sejam capazes de as descodificar convenientemente. Neste caso, este procedimento de «feedback» foi essencial na correcção da mensagem. Caso não fosse realizado poderia acarretar problemas de aprendizagem. Superados estes obstáculos de comunicação, discutidos e comparados os valores assumidos pela concentração de sacarose e água no final da simulação, o professor chama a atenção do grupo para o facto de este ser o caso de um modelo representativo de um sistema ideal.

Como conclusão desta actividade procede-se a uma sistematização do conhecimento relativo aos fenómenos em estudo, a qual decorre sem problemas nem conflitos conceptuais. O professor tem também oportunidade de se aperceber da compreensão dos alunos, relativamente a estes fenómenos.

CONCLUSÃO

Da análise dos comportamentos interactivos dos alunos com o computador e especificamente com o programa STELLA, pode-se concluir que o computador desempenhou um papel determinante na compreensão do fenómeno de difusão/osmose. O programa de modelagem em questão — STELLA — foi também de certa forma avaliado

e como resultado dá-se um aval positivo à utilização deste programa, no ensino de fenómenos dinâmicos, mais ou menos abstractos, com alunos do 10º ano de escolaridade.

De facto os alunos foram construindo a representação dos fenómenos dinâmicos inerentes ao modelo, por confrontação com os modelos conceptuais presentes nas suas estruturas cognitivas, assistindo-se à utilização frequente de metáforas para a compreensão de novos conhecimentos. A utilização de uma pedagogia de confronto, no entanto, nem sempre surtiu os seus efeitos.

Embora a compreensão do diagrama estrutural possa parecer um tanto complexa para alunos deste nível etário, este aspecto foi compensado com a utilização de uma metodologia de aprendizagem autónoma em grupo, que se mostrou motivadora de uma aprendizagem verdadeiramente significativa. Nesta situação de aprendizagem os fenómenos eram apresentados como uma teia de factores interdependentes, promovendo-se o uso de relações circulares de causalidade e de explicações, em vez de asserções, na construção de modelos mentais. Para isso utilizou-se um modelo pedagógico baseado na explanação e recorreu-se à simulação do modelo dinâmico em questão.

Relativamente à metodologia de aprendizagem autónoma em grupo verificou-se que a existência de relações assimétricas, observáveis na disputa da liderança, nem sempre facilitou a comunicação, que era desejada, entre todos os elementos do grupo. O papel do professor como facilitador e mediador social da aprendizagem foi fundamental.

A realização de um estudo experimental, em que a compreensão dos alunos fosse avaliada concretamente através de um instrumento de avaliação do conhecimento, seria fundamental para a conclusão sobre as reais potencialidades do Programa STELLA na Educação.

NOTAS

1. Bolseira do I. N. I. C.
2. Compreensão: construção de uma representação complexa dos vários elementos de uma situação, e das relações entre esses elementos.
3. Os nomes dos alunos são fictícios e destinam-se apenas a melhorar a legibilidade do texto.
4. Serialista: estilo de aprendizagem que utiliza procedimentos focalizados no detalhe, decompondo o todo nas suas partes.

BIBLIOGRAFIA

- BRUNER, J. S., (1968). *Towards a Theory of Instruction*, W. W., New York: Norton & Comp.
- CALADO, J. C. G., (1985). O Diálogo entre a Ordem e a Desordem, *Boletim da S. P. Q.*, 20(II), 9-11.
- DRIVER, R., (1983). *The Pupil as Scientist*, Milton Keynes: Open University.

- EINSTEIN, A., (1920). *Relativity: The Special and General Theory. A Popular Exposition*, London.
- GIORDAN, A., De Vecchi (1987). *Les Origines du Savoir. Des Conceptions des Apprenants aux Concepts Scientifiques*. Paris: Delachaux & Niestle Ed.
- GIORDAN, A. (1988). *De la Categorization des Conceptions des Apprenants a un Environnement Didactique «Optimal»*. Protée, Autome.
- HABERMAS, J., (1987). A Ideia da Universidade: Processos de Aprendizagem, *Revista de Educação*, 2, 1, 3-9.
- HINTON, G. E. & Anderson J. A., (1981). *Parallel Models of Associative Memory*, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- JOHNSON-LAIRD, P. N., (1983). *Mental Models*, Cambridge: Cambridge University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P. N., (1988). *The Computer and the Mind*, Cambridge: Harvard University Press.
- KUHN, T., (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: University of Chicago Press.
- MADUREIRA, C., (1984). *Introdução à Informática*, CIUP, Porto.
- MEIRIEU, J. (1985). *L'Ecole, Mode d'Emploi. Des Methodes Actives à la Pédagogie Différenciée*, Paris: Ed. E.S.F.
- MC CLELLAND, J. L., Rumelhart, D. E. and the P. D. P. Research Group, (1986). *Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol. 2: Psychological and Biological Models, Bradford Books, MIT Press, Cambridge Massachussets.
- OGBORN, J., (1989). *Modelling with the Computer: Possibilities and Prospects, Comunicação pessoal*.
- PERRET-CLERMONT, (1979). In de Meirieu *L'ecole, Mode d'Emploi. Des Methodes Actives à la Pédagogie Différenciée*. Paris. E.S.F. (1985).
- POPPER, K., (1972). *Conjectures and Refutations: the Growth of Scientific Knowledge*, London: Routledge & Kegan Paul.
- RICHMOND, B., Peterson S. & Vescuso P., (1987). *An Academic User's Guide to Stella*, New Hampshire: High Performance Systems.
- ROSADO, L., (1986). *Modelos en los Procesos de la Ciencia y su Contrastación*, Madrid: UNED.
- VILAR CORREIA, M. R.; Costa Pereira, D. (1989). Categorização Preliminar das Concepções dos Alunos do 10º Ano de Escolaridade Sobre Mecanismos de Regulação à Água em Células Animais e Vegetais. Comunicação apresentada no Congresso Internacional «Piaget e os Novos Desafios nas Ciências e na Educação». Instituto Piaget, Lisboa, 3-7 de Julho, 1989. In Press na *Revista Aprendizagem e Desenvolvimento*.