

# Modelos de aprendizagem em IA e Psicologia

PAVEL BRAZDIL \*

## 1. INTRODUÇÃO

Várias questões relacionadas com a aprendizagem têm sido estudadas em Filosofia, Psicologia, Pedagogia, e mais recentemente em Inteligência Artificial (IA). Os objectivos da IA são em alguns aspectos semelhantes aos de Psicologia, e que são fornecer uma explicação do processo de aprendizagem. No entanto, os investigadores em IA não têm ficado satisfeitos com a mera descrição deste processo.

O objectivo da investigação em IA é expressar a teoria numa língua formal e assim criar um modelo do processo. A capacidade de ver como o modelo funciona tem fornecido aos investigadores em IA muitos e novos conhecimentos, e essa a razão pela qual as teorias têm evoluído muito consideravelmente na última década. O progresso em IA tem sido suficientemente independente do trabalho realizado em Psicologia para que se torne interessante comparar as teorias da aprendizagem em IA com questões semelhantes discutidas em Psicologia. A finalidade deste artigo é fazer essas comparações.

## 2. TRABALHO DE PIAGET

O trabalho de Piaget é importante na medida em que tem estudado muitos aspectos do processo de aprendizagem e daí o relevo que lhe é dado por quem se interessa por estas questões. O próprio Piaget reconheceu as vantagens de expressar o conhecimento numa língua formal, mas, evidentemente, as linguagens computacionais de hoje não estavam ainda disponíveis quando a maior parte da investigação de Piaget foi levada a efeito.

Piaget sustenta que a criança tenta compreender o mundo usando um conjunto de esquemas que representam as acções da criança e que vão sendo modificados à medida que vai desenvolvendo a sua compreensão do mundo. Para ilustrar isto Piaget dá o exemplo da criança que quer alcançar um brinquedo e consegue puxar a carpete. O esquema inicialmente criado é generalizado e aplicado a novas situações aprendendo, assim, a criança a obter coisas puxando o suporte (Piaget, 1962). Piaget não descreve este processo em pormenor, contudo, e não é difícil ver porquê. Não é possível, por exemplo, interrogar a criança com a finalidade de descobrir que esquemas ela tem utilizado e como os tem modificado. Isso tem que ser inferido a partir das acções da criança, o que é bastante difícil. No entanto, os modelos de IA podem ser examinados em pormenor, o que

\*Faculdade de Economia do Porto

nos permite ver como é que os esquemas são modificados a cada passo.

### 3. A IDEIA DE REFINAMENTO PROGRESSIVO DE WINSTON

O modelo de aprendizagem de Winston mostra em pormenor como a representação de um determinado conceito é modificada no decurso da aprendizagem (Winston, 1970).

O programa de Winston aprende a partir de exemplos e pode até aprender a reconhecer várias estruturas tais como casas ou arcos construídos a partir de simples blocos de brinquedo. O primeiro exemplo apresentado é usado para criar a representação inicial do conceito. Cada exemplo subsequente ou contra-exemplo é usado para aperfeiçoar o modelo do conceito que o sistema detém. Se se descobre que alguma relação não é satisfeita com o exemplo seguinte apresentado, e se este é um exemplo do mesmo conceito, a relação é abandonada. Em certo sentido, o programa aprende por abstracção.

Os contra-exemplos apresentados têm um papel importante no sistema de Winston porque lhe permitem identificar todas as relações que são importantes e que devem ser satisfeitas com qualquer exemplo apresentado. Estas relações que existem no modelo mas que não são satisfeitas num determinado contra-exemplo não devem ser apagadas do modelo.

Vemos, assim, que a aprendizagem no sistema de Winston implica o desenvolvimento de descrições (esquemas) que podem ser refinados várias vezes no decurso da aprendizagem. Isto foi também observado por Boden (1981).

### 4. ESTRUTURA DO SISTEMA INATO

Vere tem usado uma abordagem, em certa medida semelhante, no seu sistema que pode aprender quais são os defeitos de uma determinada acção e quando pode ser executada (Vere, 1977). As acções foram obtidas na base de dois estados do mundo: um mostrando o mundo como aparece antes de uma determinada acção ser executada, e outro como surge depois. A generalização tem aqui novamente um papel importante no processo.

Talvez uma das críticas centrais aos modelos de Winston e Vere seja a de que o sistema tem que ser informado o que é ou não é um determinado exemplo de um certo conceito, pois sabemos que até as crianças muito novas aprendem a partir daquilo que fazem. O programa de Sussmann modela este processo (Sussmann, 1975). O seu sistema tem três partes básicas:

- um solucionador de problemas
- um crítico
- um modificador de conhecimento.

A finalidade do *solucionador de problemas* é resolver os problemas dados. A do *crítico* é a de supervisionar esta actividade e apontar os erros e a do *modificador de conhecimento* é a de considerar as sugestões do *crítico* e fazer modificações no programa existente.

Estes três subsistemas básicos são aparentes em vários sistemas de aprendizagem que foram escritos posteriormente (Brazdil, 1981; Langley, 1981; Mitchell, 1981). A sua função afecta substancialmente o comportamento do sistema na sua globalidade e essa a razão por que a sua função merece uma atenção mais minuciosa.

No que se segue, a preocupação central será a da função do *modificador de conhecimento*. Discutiremos uma das questões chave -- se é a generalização ou a especialização que é usada no processo de modificação do conhecimento existente. Explicaremos também como é que são usadas neste processo hierarquias de conceitos e como é que isto se relaciona com as ideias de Piaget sobre inclusão de classes.

### 5. GENERALIZAÇÃO VERSUS ESPECIALIZAÇÃO

A recente discussão entre Piaget e Chomsky (Piattelli-Palmarini, 1980) apresenta duas visões bastante diferentes sobre como é adquirido um novo conhecimento. Piaget e outros construtivistas acreditam que as novas estruturas cognitivas são obtidas a partir de outras pelo processo de generalização.

Chomsky, por outro lado, postula, entre outros, que as estruturas gerais são inatas e que a criança aprende pelo processo de especialização progressiva. Sustenta, pois, que o organismo tem uma pre-

disposição natural para seleccionar a hipótese específica. Pela nossa parte, cremos que tanto a especialização como a generalização são usadas no processo de aprendizagem.

No nosso sistema<sup>1</sup>, por exemplo, a nova regra é criada de forma a ser mais específica que a original usada pelo sistema. A nova regra é, contudo, mais geral do que a instância específica dessa regra. Vejamos o seguinte exemplo:

Regra original:  $e=d \leftarrow f=d$

Nova regra:  $(a+b)+c=d \leftarrow a+(b+c)=d$

Instância específica:  $(2+1)+2=5 \leftarrow 2+(1+2)=5$

Cada regra pode ser interpretada da seguinte forma: se se quer resolver o objectivo (predicado) apresentado à esquerda da seta, então resolver os subobjectivos (predicados) à direita. Por exemplo, se o nosso objectivo é resolver a equação  $(2+1)+2=X$ , a segunda regra apresentada acima (a nova regra) diz-nos que devemos rearranjar os termos e resolver o objectivo  $2+(1+2)=X$ . Em geral, cada regra pode conter qualquer número de objectivos do lado direito.

Esta é uma boa razão pela qual cada nova regra deve ser mais específica do que a original. Imagine-mos que o sistema adquiriu um certo número de regras, algumas mais específicas do que outras e assumamos que ocorreu um erro que requer que uma nova regra seja gerada. Suponhamos ainda que se decide modificar uma das regras já existentes. A questão básica é saber se devemos procurar uma regra específica com a finalidade de a generalizar, ou se uma regra geral e torná-la mais específica.

Esta última abordagem foi a adoptada no plano de ELM. Isto deve-se ao facto de as regras que são utilizadas pelo sistema são, em certa medida, mais gerais do que as efectivamente requeridas. Cada regra tem que ser suficientemente geral para ser aplicada e as que forem demasiado específicas são simplesmente ignoradas. Porém, as novas regras são criadas na base de regras efectivamente usadas pelo sistema e aquelas são sempre mais específicas do

que as originais.

Cremos que o Homem aprende a fazer coisas de uma forma semelhante. Um conjunto de regras bastantes gerais são inatas conjuntamente com um mecanismo capaz de anotar erros e produzir versões especiais das regras existentes.

## 6. SIGNIFICÂNCIA DA INCLUSÃO DE CLASSES

De acordo com Piaget, a criança numa certa idade será normalmente capaz de incluir subclasses específicas dentro de classes mais largas e gerais. Será, portanto, capaz do que é frequentemente referido como «inclusão lógica». Segundo Piaget, é por volta dos sete ou oito anos que esta capacidade é adquirida pois antes desta idade não é capaz de dizer se há mais flores do que malmequeres, por exemplo.

O poder responder a tais questões não é muito importante em si mesmo mas sim o facto de a criança poder criar e usar várias hierárquias de conceitos.

Muitos modelos de aprendizagem usam hierárquias de conceitos no processo de criação de regras e isto sugere a sua importância na medida que ajudam os sistemas a seleccionar a mais apropriada de entre um número de alternativas.

Brazdil (1981) usou a hierarquia de conceitos para identificar o predicado mais geral que é depois usado para restringir as condições de selecção da regra dada. Os predicados mais gerais aparecem no topo da hierarquia e estes são preferidos aos mais específicos. Assim a condição que afirma que X é um inteiro, por exemplo, é preferida a uma mais específica que afirma que X é, por exemplo, igual a 3.

Mitchell (1981) usou aquele conceito ainda mais extensivamente mantendo duas versões de uma determinada regra em qualquer momento dado: a versão mais geral e a mais específica, sendo ambas modificadas com a ajuda da hierarquia de conceitos.

Estas hierárquias são úteis porque permitem ao sistema seleccionar um ou mais conceitos de entre o número dos mais apropriados, sendo os outros ignorados. Não está, no entanto, ainda claro como é que estas hierárquias são geradas pois nenhum dos sistemas mencionados tenta gerá-las, tendo que ser fornecidas ao sistema previamente.

<sup>1</sup> O programa escrito na linguagem de programação Prolog chama-se «ELM». Todo o conhecimento em ELM é representado sob a forma de regras que são referidas como *cláusulas* e que são semelhantes às usadas por Kowalski (1979).

## 7. SIGNIFICÂNCIA DOS ERROS

Na aprendizagem, ela não tem sido sempre reconhecida e isso talvez porque durante algum tempo muitos investigadores estiveram mais interessados naquilo que a criança aprende e quando do que como adquire o seu conhecimento.

Os erros têm, contudo, uma parte muito importante no processo de aprendizagem juntamente com a capacidade da criança em avaliar os seus próprios progressos. É este conhecimento que lhe permite modificar as representações internas ( esquemas, regras, ect.).

Em ELM (e outros modelos da IA) os erros são detectados pelo *crítico* cujo papel fundamental é supervisionar a actividade do *solucionador de problemas*, notar os erros na base das suas expectativas, e fazer várias recomendações ao *modificador de conhecimentos*.

É claro que, se queremos que um sistema seja capaz de dar conta de diferentes problemas de domínios diferentes, o crítico tem que possuir um corpo bastante geral de conhecimentos que lhe permitam reconhecer vários tipos de erros. Os que temos analisado parecem cair dentro de uma das seguintes categorias: (1) *erros de selecção* que surgem se uma regra correcta não foi seleccionada ou se não está claro qual o devia ser; (2) *erros lógicos* que surgem se a regra seleccionada não está suficientemente correcta. Em cada um dos casos uma acção diferente deve ser efectuada pelo crítico (Brazdil, 1981).

Mais experiências deviam ser levadas a efeito com a finalidade de descobrir como é que as crianças detectam erros, aquilo de que se lembram acerca de cada um, e como é que isto contribui para a sua capacidade em resolver problemas. Finalmente, deveríamos considerar como é que está de acordo com as ideias avançadas pela IA.

## 8. RECORRÊNCIA DE ERROS

Nem sempre as crianças são bem sucedidas ao corrigir os erros de que têm consciência e assim estes continuam a ocorrer. O estudo dos modelos de IA mostra que isto é, por vezes, inevitável: o sistema é às vezes enganado ao fazer modificações que não estão correctas; outras vezes o erro é temporariamente corrigido mas surge mais tarde quando outras mudanças são feitas.

O estudo destas questões é particularmente importante, uma vez que há uma pergunta muito insistente para responder: como surge o erro? Terá a criança sido descuidada ou o método de ensino não adequado?

Há ainda uma outra razão para considerar esta questão importante. Cremos que o conhecimento da recorrência ou não de um determinado erro é extremamente valiosa pois pode ajudar a criança (ou o sistema) a vir a eliminar o erro.

ELM é capaz de detectar que um erro ocorreu e então percorrer os passos necessários para evitar mais problemas. A recorrência de erros é detectada observando as regras, e se são encontradas várias versões de uma regra e uma outra está a ser produzida, então isto deve ser tomado como um aviso de que se deve ser cauteloso no processo. É muito possível que uma decisão incorrecta tenha sido feita quando as regras foram geradas e para evitar posteriores problemas várias outras opções são consideradas. Se desta vez for feita a decisão correcta, então o erro não voltará a surgir nunca mais.

Julgamos que a verificação de que reocorreram erros actua como uma força positiva no desenvolvimento da criança, forçando-a a considerar novas opções quando modifica o seu conhecimento.

As crianças muito novas confiam fortemente em certas chaves perceptuais e essa a razão por que tendem a crer, por exemplo, que um recipiente alto e estreito contém mais água do que um largo e raso, mesmo quando a água é deitada de um para outro em frente dos seus olhos. Este paradoxo aparente foi estudado por Piaget e depois por muitos outros psicólogos sendo referido como o problema de *conservação*.

O fracasso da criança em responder a perguntas acerca da quantidade de água actua como pressão só para não considerar chaves perceptuais. Contudo, segundo Piaget a criança tem que alcançar um certo estado de desenvolvimento antes de ser capaz de verificar que o facto de a água ser deitada é insignificante, e só então pode relacionar a quantidade de água de um prato com a do outro (ver também Bryant, 1971).

## 9. CONCLUSÕES

Não há dúvida de que os modelos de IA de aprendizagem são valiosos na medida que nos permitem examinar em pormenor como é que os no-



vos conhecimentos são adquiridos. Muitos dos modelos de aprendizagem em IA existentes consistem em três subsistemas: solucionador de problemas, crítico e modificador de conhecimento, devendo os três cooperar para que o sistema seja capaz de aprender. Os modelos de IA ajudam-nos a identificar como é que cada um dos subsistemas funciona e como comunicam uns com os outros, assim como a ganhar um melhor conhecimento de como as crianças aprendem.

O estudo dos modelos de IA tem implicações filosóficas, tendo sido apresentadas duas visões bastante opostas sobre como o conhecimento é adquirido: uma reclamando que os novos conhecimentos são gerados pelo processo de generalização; outros sustentam que isso é feito através da especialização de uma ou mais das hipóteses existentes.

O estudo dos modelos de IA indica que tanto a especialização como a generalização são, provavelmente, usados no processo de produção de novos conhecimentos. Em ELM, por exemplo, novas regras são criadas a partir de já existentes pelo processo de especialização, sendo ao mesmo tempo, porém, cada uma mais geral do que a instância específica da regra original usada pelo sistema no processo de execução da solução.

Na medida que a capacidade do sistema em aprender várias tarefas é gradualmente aumentada se lhe for dado um número inicialmente bastante geral de regras, podemos postular que também a criança possuirá algum conhecimento do mundo quando nasce, conjuntamente com o mecanismo geral permitindo-lhe adquirir novos conhecimentos.

Os erros, por seu turno, têm uma parte significativa na aprendizagem dado que são um dos sinais que nos diz que as representações do conhecimento possuídas internamente devem ser modificadas.

É claro que os modelos teóricos têm as suas limitações pois, geralmente, reflectem um certo ponto de vista e muitos pormenores são deixados de parte. Como estes modelos nunca podem substituir a realidade, eles devem ser vistos simplesmente como instrumentos bastante úteis para nos ajudar a explorar a realidade.

## RESUMO

*O autor discute a significância dos modelos de IA para a compreensão do processo de aprendiza-*

*gem. A vantagem principal destes modelos é a de podermos ver como é que as representações tidas internamente são modificadas em cada fase. O autor sustenta que tanto a especialização como a generalização são usadas no processo de aprendizagem, e postula que a criança recém-nascida possuirá provavelmente algum conhecimento do mundo numa forma bastante geral, conjuntamente com um mecanismo que lhe permite adquirir outros conhecimentos específicos mais tarde. A estrutura deste mecanismo de aprendizagem é esboçado e a importância dos erros na aprendizagem é discutida. A ocorrência de erros mostra que as referidas representações devem ser modificadas e a sua reocorrência significa que novos métodos devem ser explorados, e assim actua como força positiva em desenvolvimento.*

## SUMMARY

*We discuss the relevance of AI models for understanding learning. One advantage of these models is the possibility to follow the changes of the internal representations. We defend that specialization and generalisation are used during the learning process, and that babies may have some general knowledge and a mechanism for acquiring specific knowledge. We sketch the structure of this mechanism, and we show the importance of failure in learning.*

## REFERÊNCIAS

- BODEN, M. (1981) — *Minds and Mechanisms*, Harvester Press.
- BRYANT, P. E. (1971) — Cognitive development, in A. Summerfield (ed.), *Cognitive Psychology*, *Brit. Medical Bull.*, 27, No. 3.
- BRADZIL, P. (1981) — *A Model of Error Detection and Correction*, PhD Thesis, Edinburgh.
- KOWALSKI, R. A. (1979) — *Logic for Problem Solving*, Artificial Intelligence Series, North Holland Publishing Co., Amsterdam.
- LANGLEY, P. (1981) — «Language Acquisition through Error Recovery», CIP Working Paper No. 432, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh.
- MITCHELL, T. M., UTGOFF P. E., NUDEL B. e BANERJI R. (1981) — «Learning Problem-

- solving through Practice», *Proc. of 7th IJCAI*, Toronto, pp. 127-134.
- PIAGET, J. (1962) – «The Stages of the Intellectual Development of the Child», *Bulletin of the Menninger Clinic*, vol. 26, pp. 120-8.
- PIATTELLI-PALMARINI, M. (ed.) (1980) – *Language and Learning*, Routledge and Kegan Paul.
- SUSSMAN, G. J. (1975) – *A Computer Model of Skill Acquisition*, New York, American Elsevier.
- VERE, S. A. (1977) – «Induction of Relational Productions in the Presence of Background Information», *Proc. of 5th IJCAI*, Cambridge, Mass., pp. 349-355.
- WINSTON, P. H. (1970) – *Learning Structural Descriptions from Examples*, Ph. D. Thesis MIT AI-TR-231.