



Sistemas Tutores Inteligentes

**Jorge Juan Zavaleta Gavidia
Leila Cristina Vasconcelos de Andrade**

**Trabalho de conclusão da disciplina Inteligência
Artificial do Programa de Pós-Graduação da COPPE-
Sistemas da Universidade Federal do Rio de Janeiro.**

Profa. Inês Dutra

Rio de Janeiro, Junho de 2003

SUMÁRIO

1. Introdução	3
2 . História dos Sistemas Tutores Inteligentes	3
2.1 Instrução Assistida por Computador (CAI)	3
2.2 O nascimento dos Sistemas Tutores Inteligentes (STI)	6
3 . O que é um Sistema Tutor Inteligente?	6
3.1 Características de um STI	7
4. Arquitetura dos Sistemas Tutores Inteligentes	8
4.1 Modelo do aluno	11
4.2 Modelo do domínio	14
4.3 Modelo pedagógico	15
4.4 Modelo da interface	16
5. A pesquisa, o desenvolvimento e o futuro dos STI	17
5.1 Domínios de ferramentas cognitivas específicas	17
5.2 Educação a Distância	18
5.3 Aprendizagem colaborativa	19
5.4 Os STI verdadeiramente inteligentes	19
6. Conclusão	20
Referências Bibliográficas	21

Sistemas Tutores Inteligentes

1. Introdução

Este trabalho apresenta uma introdução acerca dos Sistemas Tutores Inteligentes (STI), fazendo uma breve revisão histórica dos primeiros softwares projetados com objetivos educacionais até os atuais STI's. Alguns aspectos da teoria Behaviorista e do Construtivismo são brevemente apresentados com a intenção de incorporar à discussão algumas questões sobre as possíveis implicações da incorporação de uma metodologia de ensino/aprendizagem numa proposta de STI.

2. História dos Sistemas Tutores Inteligentes

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) têm uma história interessante, originada na área de Inteligência Artificial (IA). No final dos anos 50 e princípio dos anos 60, muitos pesquisadores tais como Alan Turing, Marvin Minsky, John McCarthy e Allen Newell acreditavam que os computadores que poderiam “pensar”, tal qual os seres humanos, rapidamente se tornariam uma realidade. No entanto, isso não aconteceu. Alguns pensavam que o principal obstáculo à realização desse objetivo era a necessidade de criação de computadores maiores e mais rápidos. Parecia razoável assumir que, uma vez criadas as máquinas que poderiam pensar, elas seriam capazes de realizar qualquer tarefa que estivesse associada com o pensamento humano como, por exemplo, a instrução¹.

Os Sistemas de Instrução Assistida por Computador (CAI) foram o passo inicial na história dos Sistemas Tutores Inteligentes. A criação da Instrução Assistida por Computador (CAI), que será detalhada na seção 2.1, seguiu um caminho natural nos anos 50 onde a CAI era vista como um simples “programa linear”. A Figura 1 mostra a evolução desses sistemas até STI's.

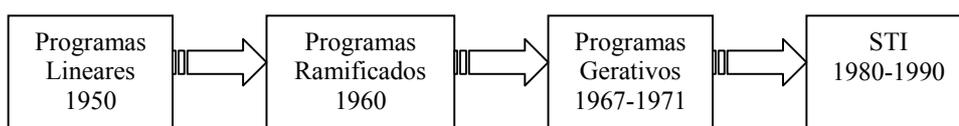


Figura 1: Evolução dos sistemas de ensino utilizando o computador.

2.1 Instrução Assistida por Computador (CAI)

O desenvolvimento da Instrução Assistida por Computador (CAI) foi influenciado pelas teorias psicológicas Behavioristas [SKI58] e as máquinas de ensino programado do século anterior. Na década de 50 apareceram os primeiros sistemas de ensino assistidos por computador, os chamados *programas lineares*. Esses programas caracterizavam-se por

¹ Nesse contexto, a instrução refere-se ao processo de ensino/aprendizado caracterizado principalmente pelo ensino de técnicas e de um conteúdo específico, semelhante ao treinamento.

mostrar o conhecimento de uma forma linear, isto é, nenhum fator podia mudar a ordem de ensino estabelecida na sua criação pelo programador. Esta atuação dos sistemas tinha sua origem na Teoria Behaviorista, defendida por B.F. Skinner. A Teoria Behaviorista propunha que as pessoas funcionam por estímulos e que à igual estímulo corresponde igual resposta. Por esta razão, não se devia permitir que os alunos cometessem erros, já que estes lhe dariam um reforço negativo. No desenvolvimento de uma sessão de ensino não se levava em consideração, para nenhum fim, o erro do aluno. Acreditava-se que quando uma operação era seguida por um estímulo de reforço, a força da ação era aumentada. Para este fim, a saída do programa de computador dos primeiros CAIs era um *frame* de texto, que verificava se o conteúdo até aquele ponto havia sido “apreendido”. O aluno então dava algum tipo de resposta baseado no que já conhecia ou por tentativa e erro. Finalmente, o programa informava ao aluno se ele estava certo. A ordem pré-definida de tais passos formou o que é conhecido como um “programa linear”. O aluno podia trabalhar usando o material em seu próprio tempo e suas respostas corretas eram recompensadas de imediato.

Nesta abordagem os CAI apenas apresentavam o conteúdo, não instigando o aprendizado evolutivo do aluno frente ao software. Sendo assim, o aluno seguia uma seqüência finita e pré-determinada de passos sem com isso estimular o raciocínio frente a diferentes situações. No entanto, a partir dos anos 60, começou-se a considerar que as respostas dos alunos podiam ser usadas para controlar o material de estudo e que se os alunos tivessem acesso ao seu esquema de resolução pessoal, eles aprenderiam minuciosamente como eles “tentaram” resolver os problemas de um determinado grau de dificuldade até achar uma forma de resolução sistemática.

Os sucessores dos programas lineares no campo do ensino assistido por computador, foram os *programas ramificados* ou “programação ramificada” ou ainda programação em árvore que era mais adequada por ter *feedback*, sendo adaptada ao ensino para dar as respostas aos alunos. Estes tinham um número fixo de temas, semelhantes aos programas lineares, mas diferenciavam-se pela capacidade de atuar segundo a resposta do aluno. A melhora oferecida por estes sistemas foi obtida pela ajuda da técnica de *Pattern-matching*² e a utilização de linguagens de autoria. A técnica de *Pattern-matching* permitia tratar as respostas do aluno como aceitáveis ou parcialmente aceitáveis, no lugar de totalmente corretas ou incorretas como exigia a proposta de Skinner. Outra questão considerada foi que os materiais de ensino contidos nos programas lineares eram, em geral, muito extensos e intratáveis por meios clássicos. Por esta razão as “linguagens de autoria” foram desenvolvidas e se caracterizavam por serem linguagens específicas e apropriadas para o desenvolvimento de materiais CAI de forma tratável pelo sistema. Nesta década, a maioria das aplicações educacionais usando computadores adotava o paradigma da instrução programada e seu enfoque era centrado no professor, ou seja, o aluno deveria compreender a lição passada pelo professor para posteriormente responder alguma questão relativa ao conteúdo previamente passado.

Ao final dos anos 60 e princípio dos anos 70, surgiram os *sistemas gerativos* (também chamados de **sistemas adaptativos**). Esses sistemas foram associados a uma nova filosofia educacional que defende que os alunos aprendem melhor enfrentando-se a

² A técnica de *Pattern-matching* consiste em comparar padrões de strings.

problemas de dificuldade adequada, do que atendendo a explicações sistemáticas, isto é, adaptar o ensino às suas necessidades. Os sistemas gerativos são capazes de gerar um problema de acordo com ao nível de conhecimento do aluno, construir sua solução e diagnosticar a resposta do aluno. Em geral, a solução para um problema concreto não é única, no entanto, os sistemas gerativos criam só uma solução que era a base de seu diagnóstico.

Nesta década foi descoberto um novo nível de sofisticação no design dos sistemas CAI, onde, em alguns domínios tais como a aritmética, foi possível que o próprio sistema gerasse o seu material de ensino usando o computador. Por exemplo, um gerador randômico de números podia produzir dois números para serem adicionados pelo aluno, e logo o resultado do computador da adição era comparado como o resultado do aluno, para gerar a resposta. Assim, tais sistemas somente precisariam de uma estratégia de ensino geral e eles produziriam uma árvore de possíveis interações com um número infinito de ramificações. Tal sistema “gerativo” podia responder algumas das questões dos alunos, também como incorporar alguma classificação de medida de dificuldade da tarefa. Mas, os sistemas gerativos não valiam para todo tipo de domínio de ensino. Mesmo obtendo bons resultados em áreas como a da aritmética, a dificuldade para gerar problemas aumentava consideravelmente em outras áreas de conhecimento.

A partir desta década, a área educacional tenta aliar aos recursos computacionais para produzir um meio de ensino eletrônico, onde o aluno aprenda por si próprio utilizando os recursos disponíveis nos computadores. No entanto, o uso de computadores na educação fez com que se produzissem softwares que hoje são intitulados de “viradores de páginas eletrônicas”, ou seja, apenas apresentam o conteúdo ao aluno sem se preocupar com o seu aprendizado.

Apesar destes sistemas terem evoluído em termos de recursos gráficos, os sistemas CAI ainda possuem a mesma síntese preestabelecida pelo professor e não adaptável a cada tipo de aluno que o estiver utilizando. Nenhum destes sistemas tem conhecimento, como o ser humano, do domínio que eles estão ensinando, nenhum pode responder questões sérias dos alunos como, o “*porque*” e o “*como*” as tarefas são realizadas. De forma genérica, os sistemas CAI’s ainda têm em comum as seguintes características [URR01]:

1. Os *cursos* são muito extensos.
2. A *comunicação* entre o tutor e o aluno não está muito bem definida.
3. O conhecimento do *como e porque se executam as tarefas de ensino* estão fusionados. Isto é, os sistemas de ensino reagem segundo os modelos estabelecidos e com certa independência das atitudes e preferências do aluno concreto.
4. O desenho e implementação dos sistemas são feitos sob medida.
5. O conhecimento que inclui não se vê modificado com o tempo, não evolui.

No contínuo desenvolvimento dos algoritmos para os sistemas CAI, durante os últimos 30 anos, observamos que eles têm melhorado na riqueza do *feedback* e no grau de individualização que eles oferecem aos alunos. Os sistemas CAI’s parecem ter melhorado acima da expectativa em sofisticação computacional desde seu humilde início. Contudo, eles estão longe de se igualarem a qualquer professor humano. O principal problema é o empobrecimento do conhecimento que eles detêm. Nos sistemas gerativos existe uma má

combinação entre os processos internos do programa (aritmética Booleana, regras e tabelas) e os processos cognitivos do aluno.

2.2 O nascimento dos Sistemas Tutores Inteligentes (STI)

Durante as décadas dos anos 60 e 70 esperava-se um rápido desenvolvimento em IA. Os rápidos avanços no poder computacional faziam supor que IA tivesse também uma rápida evolução. No entanto, os problemas que a IA se dispunha a tratar envolviam uma grande complexidade tanto formalmente como em termos do poder computacional. Apesar disso, os pesquisadores de IA continuaram otimistas nas décadas dos 60, 70 e 80.

Aproximadamente nesta mesma época, a Psicologia Cognitiva começou a questionar as suposições do Behaviorismo (comportamentalismo). Novas teorias da aprendizagem e o Construtivismo de Piaget começavam a ter influência. Chomsky, junto com Newell e outros, introduziram as idéias de processamento de informação simbólica [GRE94], idéias essas que despertaram o interesse da comunidade de IA, em lingüística e processamento de linguagem natural. O processamento da informação (PI) tornou-se um paradigma dominante no final anos 70 e começo dos 80.

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI), nascem como iniciativa no intento de tratar as falhas dos sistemas gerativos e podem ser vistos como CAI inteligente dos anos 80. Esta iniciativa foi beneficiada pelo trabalho dos pesquisadores de Inteligência Artificial (IA), que tinham uma permanente preocupação com o problema da melhor forma de *como* representar conhecimento dentro de um sistema inteligente. Nesta década, começaram a surgir pesquisas na área de IA através da criação dos ICAI (Instruções Assistidas por Computador Inteligentes). Os ICAI apresentam uma estrutura diferenciada para trabalhar com domínios educacionais, visto que utilizam técnicas de IA e Psicologia Cognitiva para guiar o processo de ensino-aprendizagem.

Já, no ano de 1982, Sleeman e Brown revisaram o estado da arte nos sistemas CAI e criaram o termo de ***Sistemas Tutores Inteligentes*** (Intelligent Tutoring Systems), para descrever os sistemas ICAI e distingüi-los dos sistemas CAI antecessores. Este termo tinha uma suposição implícita acerca de como aprender focalizada em ***aprender fazendo***. Estes sistemas facilitam o ensino/aprendizagem fazendo-o mais efetivo, correto e também mais agradável.

3. O que é um Sistema Tutor Inteligente?

Existe várias definições de STI's :

“Os STI são programas de software que dão suporte às atividades da aprendizagem” [GAM01].

“Os STI são programas de computador com propósitos educacionais e que incorporam técnicas de Inteligência Artificial. Oferecem vantagens sobre os CAIs (Instrução Assistida

por computador), pois podem simular o processo do pensamento humano para auxiliar na resolução de problemas ou em tomadas de decisões” [FOW91].

“Sistema Tutor Inteligente, é um termo amplo, abrangendo qualquer programa de computador que contem alguma inteligência e pode ser usado em aprendizagem” [FRE00].

“Os Sistemas Tutores Inteligentes são sistemas instrucionais baseados em computador com modelos de conteúdo instrucional que especificam ‘*que*’ ensinar, e estratégias de ensino que especificam ‘*como*’ ensinar” [WEN87].

3.1 Características de um STI

Segundo Jonassen, um STI deve passar em três testes antes de ser considerado inteligente [JON93]:

1. Conteúdo do tema ou especialidade deve ser codificado de modo que o sistema possa acessar as informações, fazer inferências ou resolver problemas.
2. Sistema deve ser capaz de avaliar a aquisição deste conhecimento pelo aluno.
3. As estratégias tutoriais devem ser projetadas para reduzir a discrepância entre o conhecimento do especialista e o conhecimento do aluno.

As características mais importantes de um STI segundo [URR01], são:

1. O conhecimento do domínio está restrito e claramente articulado.
2. Possuem conhecimento do aluno que lhes permite dirigir e adaptar o ensino.
3. A seqüência do ensino não esta predeterminada pelo designer instrucional.
4. Realizam processos de diagnóstico mais adaptados ao aluno e mais detalhados.
5. A comunicação Tutor-Aluno melhora, permitindo que o aluno realize perguntas ao tutor.

Assim, de uma forma genérica, os STI se caracterizam por representar separadamente a matéria que se ensina (modelo do domínio) e as estratégias para ensiná-la (modelo pedagógico). Por outro lado, caracterizam o aluno (a través do modelo do aluno) com o objetivo de obter um ensino individualizado. Outra característica marcante é a necessidade da interface de comunicação ser um módulo bem planejado, de fácil manipulação, e que favoreça o processo de comunicação tutor-aluno.

Podemos resumir um conjunto de características que devem ser contempladas em todos os Sistemas Tutores Inteligentes (STI).

1. Dá-se o adjetivo de “Inteligente” para contrastá-lo com os sistemas tradicionais de instruções assistidas por computador (CAI), sendo uma diferença marcante o uso de técnicas de Inteligência Artificial nos STI.
2. Uma razão para atribuir “inteligência” a estes sistemas, está na sua capacidade de resolver os problemas que apresenta aos alunos, e explicar como os fez.
3. Ao contrário dos sistemas CAI tradicionais, os STI permitem um maior grau de individualização na instrução; em particular, um STI relaciona a instrução com o entendimento das metas e crenças do aluno.

4. Num sistema CAI não inteligente, a ordem e o plano de interação estão pré-definidos; enquanto que num STI se usam técnicas de IA tais como o planeamento, a otimização e buscas, deixando que o sistema decida “inteligentemente” a ordem de apresentação do conteúdo ao aluno.
5. A interação pode ser muito variada num STI; desde os passivos ou reativos que dependem completamente de esperar a que o aluno realize uma ação bem determinada; até os que constantemente apresentam nova informação, passando pelos assessores, caracterizados por observar ao aluno enquanto faz uma tarefa, sem interferir constantemente, mas explicando ou ensinando um conceito num momento importante ou quando o aluno pede.
6. Recentemente, se tem ampliado o uso de interfaces mais sofisticadas, que reforçam a disponibilidade e facilidade de uso dos Sistemas Tutores Inteligentes. Duas tendências importantes neste sentido são a utilização da multimídia e a WWW.

4. Arquitetura dos Sistemas Tutores Inteligentes

O principal objetivo dos Sistemas Tutores Inteligentes é proporcionar um ensino adaptado a cada aluno, tentando se aproximar ao comportamento de um professor humano na sala de aula. Estes sistemas se baseiam em uma arquitetura composta basicamente por quatro componentes. A arquitetura básica tradicional (Figura 2), tem quatro componentes:

1. **Modelo do aluno:** neste módulo estão armazenadas/modeladas as características individuais do aluno.
2. **Modelo do tutor:** possui o conhecimento sobre as estratégias e táticas para seleccioná-las em função das características do aluno (representadas no Modelo do aluno).
3. **Modelo do Domínio:** detêm o conhecimento sobre a matéria no formato de regras de produção, estereótipos, etc.
4. **Modelo da Interface:** intermedia a interação entre o tutor e o aluno.

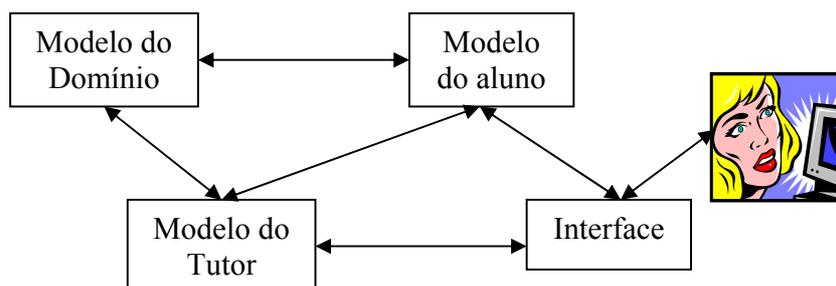


Figura 2: Arquitetura clássica de um STI.

Esta arquitetura é denominada clássica e também conhecida como função tripartida ou arquitetura tradicional de STI. O termo tripartido se refere às funções associadas aos modelos do tutor, do aluno e do domínio. Esta proposta trouxe grandes avanços à modelagem de ambientes educacionais, pois separou o domínio da sua forma de

manipulação (utilização). Permitindo assim, que estratégias de ensino fossem associadas em função das informações oriundas da modelagem do aluno.

A arquitetura proposta por McTaggart (Figura 3), tem quatro componentes.

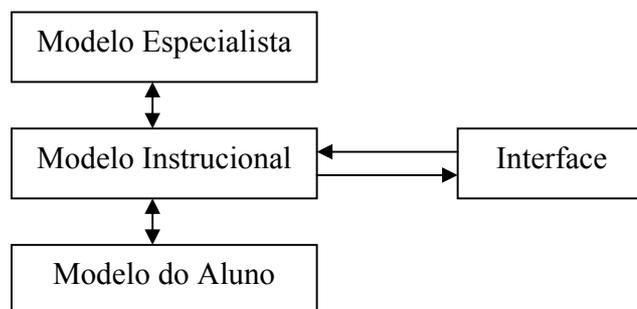


Figura 3: Arquitetura de um STI, segundo [MCT01].

Os vários componentes, trabalham juntos para produzir um sistema instrucional que pode reconhecer padrões de comportamento do aprendiz e responder com instruções apropriadas a esses padrões. Este processo é dirigido pela representação do conhecimento num modelo especialista, mas os outros componentes devem também ser projetados para novos processos de aprendizagem.

A arquitetura proposta por Kaplan [KAP95] (Figura 4), também tem quatro componentes.

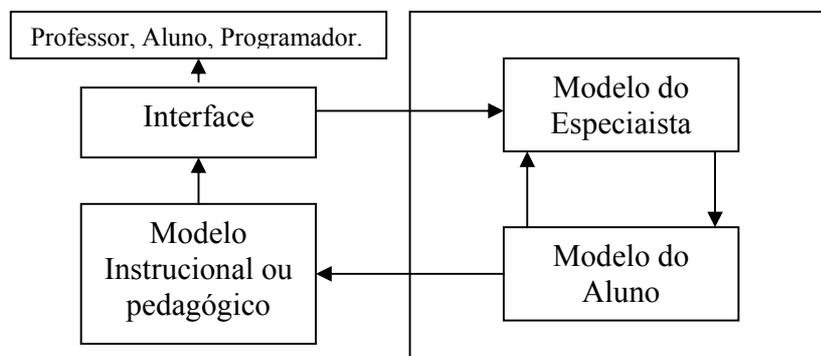


Figura 4: Arquitetura de um STI, segundo Kaplan.

Os componentes que Kaplan [KAP95], reconhece são:

1. A interface, que permite aos usuários interagir com o sistema. Distinguem-se três tipos específicos de usuários: O Aluno, o Professor, e o Programador do sistema.
2. O modelo instrucional ou pedagógico é responsável por definir a estratégia para transmitir o conhecimento aos usuários.

3. O modelo especialista ou do domínio, o qual contem o material do curso que se ministrará.
4. O modelo do aluno, que reflete o quanto conhece o aluno sobre o domínio, assim como as experiências cognitivas e de aprendizagem que tem levado, do qual pode obter-se um diagnóstico.

Outra arquitetura geral proposta por Clancey [CLA 87] (Figura 5) tem sete componentes.

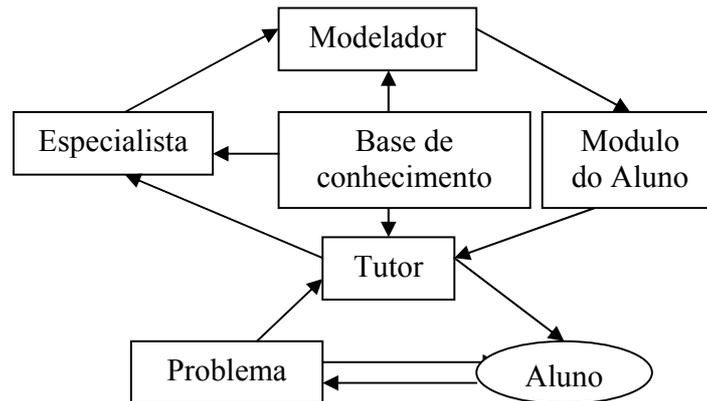


Figura. 5: Arquitetura de um STI, segundo Clancey.

A arquitetura proposta por Clancey separa as funções dos módulos: Por um lado, o modelo do aluno se constrói e se atualiza através de um diagnóstico, realizado por o modulo “modelador”, que pode ser considerado o primeiro “especialista”; e por outro lado, o tutor guarda as informações sobre o aluno, mas também o realimenta, para o qual requer de uma estratégia e tomar decisões.

A arquitetura de um STI proposto por Wenger [WEN87] (Figura 6) tem cinco componentes.

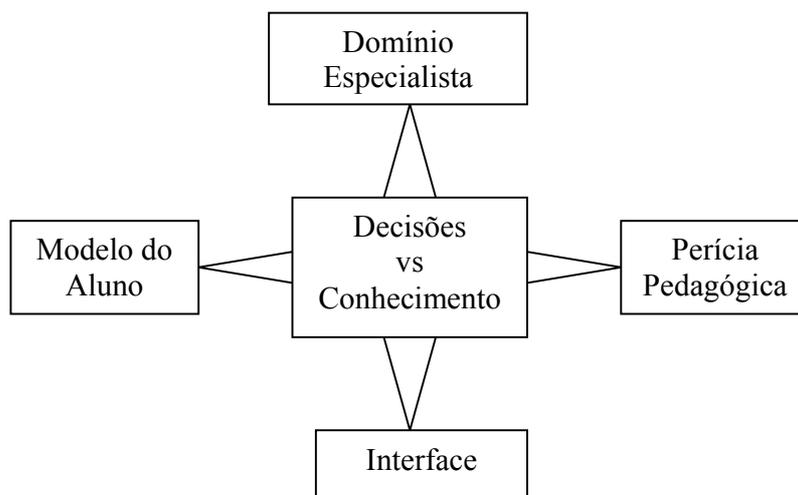


Figura 6: Arquitetura de um STI, segundo Wenger.

Enquanto as arquiteturas tradicionais de um Sistema Tutor Inteligente coincidem, Wenger tenta abstrair os vários componentes acima das mais tradicionais definições de Engenharia de Software, visualizando-o como *‘ferramenta de comunicação de conhecimento’*. Também, propõe um estudo em conjunto das disciplinas de Inteligência Artificial (IA), Ciência Cognitiva e Educação.

Apesar de algumas arquiteturas propostas possuírem mais de quatro componentes, em geral, a arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente é dividido em quatro módulos funcionais. A esses quatro módulos podem ser adicionados outros como, por exemplo, uma Base de Conhecimento (BC), um módulo para tomada de decisões e outros. A adição de mais módulos à arquitetura básica, dependerá basicamente do domínio no qual se está modelando a arquitetura do STI. Os quatro componentes básicos da arquitetura de um STI são detalhados a seguir.

4.1 Modelo do aluno

O Modelo do Aluno permanece no centro da pesquisa de STI [GRE94]. O que distingue os STI dos CAI é objetivo de serem capazes de responder ao estilo individual de aprendizagem do aluno para distribuir instruções sob medida. Embora, alguns autores têm questionado o objetivo do modelo do aluno, por causa de limitações técnicas [McC92] ou por questões filosóficas [SAC94], esta é ainda uma área de pesquisa ativa. Segundo Mitchell [MIT93], um STI deve modelar o mundo, o aprendiz, e a interação professor-aluno.

Este módulo representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento. É constituído por dados estáticos e dados dinâmicos [VIC90] que serão de fundamental importância para o tutor poder comprovar hipóteses a respeito do aluno. Contém uma representação do estado do conhecimento do aluno no momento que interage com o STI. A partir desse modelo e do conteúdo a ser ensinado, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada em seguida. Um modelo realista do aluno implica numa atualização dinâmica à medida que o sistema avalia o desempenho do aluno.

Os dados dinâmicos referem-se ao desempenho do aluno frente às questões formuladas pelo tutor e confrontadas com as hipóteses elaboradas pelo aluno, frente ao uso que o aluno faz do sistema e frente aos novos conhecimentos que o aluno pode vir a ensinar ao tutor. Muitas técnicas são utilizadas para construir o modelo do aluno como, por exemplo:

- Incluir um reconhecimento de padrões aplicados à história das respostas fornecidas por ele.
- Comparar a conduta do aluno com a de um especialista e verificar os pontos em comum.
- Colocar as preferências do aluno.
- Seus objetivos particulares.
- Coisas que ele sempre costuma esquecer quando interage com o tutor.
- Indicação dos seus objetivos particulares.

O modelo do aluno, segundo [COS96], pode ser representado apoiando-se em alguns modelos de descrição, sendo eles:

- **Modelo diferencial:** onde a resposta do aluno é comparada com a base de conhecimento. Esta modelagem, segundo [DAM95b], se compara a performance do especialista com a do aluno e não o conhecimento deles. A modelagem por diferenciação divide o conhecimento em duas classes: a do conhecimento que se espera que o aluno tenha e a outra que não se espera que ele possua. Nesta modelagem o conhecimento do aluno é somente um subconjunto do conhecimento do especialista
- **Modelo de Overlay ou superposição:** o conhecimento do aluno é representado como um subconjunto da base de conhecimento do sistema tutor. Obviamente, isso implica em que a representação de conhecimento utilizada no modelo do aluno e na base do domínio seja a mesma.
O *modelo overlay* assume (implícita ou explicitamente) que os erros ou comportamentos anômalos do aluno são sempre devidos à ausência de alguma informação presente na base do domínio. Este pressuposto psicológico é excessivamente simplista: muitos comportamentos incorretos originam-se da presença de concepções incorretas na mente do aluno.
- **Modelo de Perturbação:** também relaciona o modelo do aluno com a base de conhecimento do domínio. Este modelo foi proposto inicialmente por Brown e Burton e recebeu o nome de modelo BUGGY. O modelo de perturbação assume que os erros do aluno são decorrentes da concepção errônea de algum conceito ou ausência dele.
- **Modelo de Simulação:** O ambiente possui um modelo de como o aluno pode ou deve se comportar em determinada situação e através deste modelo ele permite prever o comportamento futuro do aluno, ou seja, a resposta do aluno baseado no seu comportamento durante a sessão de trabalho [ASA91].
- **Modelo de Crenças:** consiste em um conjunto de crenças refletindo o grau que pensamos que o aluno entende sobre um conceito em particular.

O Modelo do aluno segundo Wenger [WEN87], tem três tarefas:

1. Deve colher dados do e sobre o aprendiz. Estes dados podem ser:
 - a. Explícitos: pedir ao aluno para resolver problemas específicos.
 - b. Implícitos: caminhos de navegação dos alunos e outras interações e compará-los com informações a cerca de respostas similares do aprendiz.
2. Deve usar os dados para criar uma representação do conhecimento do aluno e processos de aprendizagem. Estes muitas vezes tomam forma dos modelos 'buggy' que representam o conhecimento do aluno em termos de desvios de um conhecimento especialista.
3. O Modelo do Aluno deve representar os dados fazendo algum tipo de diagnóstico, tanto no estado do conhecimento do aluno como em termos de seleção ótima de estratégias pedagógicas para apresentar depois a informação do domínio ao aluno. Uma das grandes mudanças é representar os dados errados, o fato é que o aluno não sempre responde consistentemente, em particular quando seu conhecimento é frágil e eles estão indecisos acerca das respostas corretas.

O Modelo do aluno segundo McTaggart [MCT01], abrange tanto o comportamento e conhecimento do aprendiz como a interatividade com o STI, atua como sistema de conselhos que ajudam a levar ao aluno através da base de conhecimento do domínio. O diagnóstico feito pelo modelo instrucional usa o modelo do aluno para reconhecer erros, gerar e adaptar explicações ou conselhos, gerar problemas, e controlar o progresso através do currículo.

Em Inteligência Artificial, é comum chamar de "conhecimento" às informações que o sistema possui a respeito do domínio da aplicação. No entanto, uma noção epistemologicamente mais rigorosa do termo define "conhecimento" como sendo "crença verdadeira e justificada" [NIL88] - o que em geral não é o caso da informação armazenada em um sistema computacional. O "conhecimento" de um sistema especialista, por exemplo, é quase sempre sujeito a revisão e frequentemente não-justificado - em geral, a palavra do especialista é justificativa suficiente. Assim, a rigor, seria mais correto falar em "bases de crenças" no lugar de "bases de conhecimento". Na maioria dos sistemas, essa diferença não tem conseqüências práticas, pois o comportamento do sistema não é afetado. No entanto, a distinção é fundamental para a modelagem do aluno. Supor que o modelo do aluno é uma base de conhecimento implica em supor que:

- ✓ O aluno não possui concepções incorretas (o que não é razoável);
- ✓ O sistema é capaz de inferir corretamente o estado cognitivo do aluno (o que não parece uma suposição realista; na melhor das hipóteses, o modelo do aluno é uma aproximação útil).

O comportamento lógico das concepções do aluno assemelha-se muito mais a uma lógica de crenças do que a uma lógica de conhecimento. As concepções estão sujeitas a revisão; o aluno não é logicamente onisciente; sua teoria pode ser inconsistente, etc. Além disso, o modelo do aluno é na verdade um conjunto de crenças aninhadas: crenças do tutor a respeito das crenças do aluno. Este conjunto está sujeito a revisão, pois não somente as hipóteses do tutor podem estar incorretas, como também o próprio estado cognitivo do aluno muda com o tempo, em conseqüência da interação entre aluno e tutor. Douglas [DOU88] aponta que tutores humanos consomem até 20% de seu tempo reparando suas próprias falhas, e não as do aluno; a maior parte dessas falhas derivam de suposições incorretas a respeito do estado cognitivo do aluno.

A habilidade de um STI para distribuir apropriadamente instruções individualizadas para os alunos depende do tipo e calibre da informação segura acerca do aluno no modelo do aluno. Esta volta depende do tipo e nível de sofisticação da representação do conhecimento usado no sistema, e sobre a eficácia dos métodos usados para extrair nova informação acerca do aluno e incorporar a nova informação dentro do modelo do aluno.

Como o conhecimento do aluno muda, o modelo do aluno deve incorporar dinamicamente essas mudanças. Um tutor humano está constantemente avaliando quanto o aluno conhece, e está estimando uma taxa de aprendizagem do aluno para guiá-lo através do currículo. O problema de modelar o aluno, então, chega a ser outra forma de testar e avaliar, que pode ser construído dentro do modelo como um meio de desenvolver uma representação do conhecimento do aluno. Segundo Everson [EVE95] é fundamental

discutir as formas nas quais as aproximações psicométricas podem ser aplicadas ao problema de modelar o aluno. Estas novas técnicas incluem o uso de modelos teóricos item-resposta, reconhecimento de padrões estatísticos, e redes de inferência Bayesiana. Construir um modelo de aluno mais efetivo terá também um impacto sobre o modelo instrucional.

Um tutor inteligente efetivo terá um grande sentido do que o aluno entende, conhece e pode fazer. Se esta informação é usada para ordenar o material de aprendizagem, resultará num melhor modelo do aluno. O modelo não está baseado em heurísticas, mas gera evidências e usa inferências para modelar a sessão tutorial. O modelo não está baseado sobre *quanto* o aluno conhece, mas sim sobre *o que* o aluno conhece.

4.2 Modelo do domínio

O modelo do domínio é o componente especialista do tutor, constituído pelo material instrucional, por uma sistemática geração de exemplos, pela formulação de diagnósticos e pelos processos de simulação. Contém o conhecimento sobre o domínio que se deseja ensinar ao aluno. Vários modelos de representação de conhecimento podem ser usados aqui: redes semânticas, frames, scripts, regras de produção, programação orientada a objetos (OOP), entre outras. A escolha deve recair sobre aquele método que melhor e mais facilmente atenda os requisitos de representação e manipulação do raciocínio.

O modelo de domínio, segundo McTaggart [MCT01], é um banco de dados organizado em conhecimentos declarativos e procedurais num domínio específico. Os sistemas especialistas (sistemas baseados em regras) e redes semânticas são duas formas para capturar o conhecimento do especialista. A forma apropriada é determinada pelo tipo e complexidade do conhecimento a ser representado. Desenvolver um modelo de domínio que forneça uma cobertura abrangente do conteúdo do material pode ser uma grande dificuldade e uma tarefa cara.

O objetivo de um STI seria então reproduzir estas estruturas de conhecimento na mente do aprendiz. O modelo de domínio está muito ligado com o modelo do aluno, e esta é uma tarefa simples para o sistema buscar o domínio do conhecimento exaustivamente comparando o modelo de aprendizagem do aluno com o domínio do conhecimento.

A forma na qual o modelo de domínio trabalha não é necessariamente a forma humana de resolver problemas. Os humanos não usam busca exaustiva, mas aplicam técnicas apropriadas para domínios de resolução de problemas. Novos modelos para o modelo do domínio têm surgido que simulam a resolução humana de problemas de forma real. Esses modelos incorporam conhecimento reflexivo dos fatos, procedimentos, e qualidades que os humanos usam para estruturar sua própria representação do conhecimento [ORE93].

A relação entre a teoria que fornece os fundamentos para um domínio de conhecimento particular, e sua expressão num STI é outra questão. Um método instrucional bem sucedido reflete sobre a exatidão da teoria capturada no modelo de conhecimento.

Entendendo e usando os processos cognitivos apropriados para aprendizagem, o domínio pode resultar numa estrutura que é generalizável para a assimilação de outros princípios em modelos especialistas. Os STI podem ser úteis para técnicas de aquisição, mas também podem ajudar no desenvolvimento de processos cognitivos.

4.3 Modelo pedagógico

Os modelos pedagógicos contêm as estratégias e as táticas de ensino. As estratégias constituem conhecimento sobre como ensinar, ou seja, sobre como gerar, a partir das informações de diagnóstico, monitoração e análise, uma seqüência de táticas de ensino capazes de apresentar com sucesso um determinado tópico a um determinado aluno. Segundo Breuker [BRE88], a maioria dos autores concorda em que uma estratégia de ensino deve definir:

1. Quando interromper? Que razões justificam interromper o curso de raciocínio ou aprendizagem do aluno?
2. O que dizer? Esta questão desdobra-se em:
 - a. Seleção do(s) tópico(s) a ser apresentado(s);
 - b. Ordenação dos tópicos, se houver mais de um.
3. Como dizer? Esta é provavelmente a questão mais difícil. Não há soluções gerais concretas, e muitos autores apontam aqui a falta de teorias pedagógicas suficientemente detalhadas.

Um método muito utilizado pelos tutores, de um modo geral, é o chamado método socrático, em que partindo de conhecimentos que o aluno já domina, o tutor ensina através de perguntas e diálogos, levando o aluno a tirar suas próprias conclusões. Sendo este seu grande ganho em relação aos CAI tradicionais onde as conclusões são apresentadas ao aluno e ele as recebe de forma passiva, mesmo que as mesmas sejam apresentadas em sofisticados recursos multimídia.

Outro modelo teórico empregado em STI é o modelo *coaching* (treinamento), que emprega atividades de entretenimento, como jogos, para transmitir conceitos relacionados. A aprendizagem é uma consequência indireta da atuação nessa simulação. Utilizam-se ainda as estratégias pedagógicas de orientação (o sistema é explicitamente chamado pelo aluno quando este requisita palpites, expansões ou críticas) e cooperação.

Um terceiro modelo surgiu com a utilização de hipertextos, em que o aluno navega numa estrutura de hipertexto e explora o conteúdo a partir de seus interesses e pré-requisitos. Este documento está organizado de tal maneira que cada subdivisão lógica do assunto está ligada com o documento através de diversos tipos de ligações, possibilitando que o aluno navegue por diferentes alternativas para explorar o domínio.

O modelo de hipertexto abre excelentes perspectivas para a construção de STI, uma vez que podem abrigar, no mesmo documento, diferentes formas de representação de conhecimento. Além disto, o aluno pode trabalhar de forma mais participativa e dinâmica,

podendo ser orientado no aspecto pedagógico de forma diversificada do que ocorre num STI tradicional. O aluno pode controlar dinamicamente as informações, refletindo sua lógica pessoal que pode (e na maioria das vezes é) diferenciada da lógica do autor do sistema. Com as atuais tecnologias de acesso em rede, podemos pensar na possibilidade de acessos simultâneos às informações, por vários usuários e usam os sistemas hipermídia que podem ser vistos como ferramentas de aprendizagem, e não de ensino, dada sua natureza “informal”.

O que realmente acontece na sala de aula é uma tomada de decisão baseada na experiência e no *feeling* do professor, que ao perceber que sua estratégia não está funcionando é capaz de trocá-la em função dos múltiplos *insights* que recebe dos seus alunos. É por isto que o projeto de um STI, no que concerne ao design do módulo instrucional, deve envolver designers instrucionais, professores e alunos.

O modelo instrucional ou estratégias de ensino contem conhecimento para tomar decisões acerca das táticas do tutor. A sobreposição dos componentes do STI faz do modelo instrucional altamente dependente no processo de diagnóstico do modelo do aluno para tomar decisões acerca de que informação apresentar ao aprendiz, e quando e como apresentar essa informação. Idealmente, o STI se ajustará a uma descrição desdobrada ao nível da técnica do aluno [BUI99].

4.4 Modelo da Interface

Sabe-se que uma boa interface é vital para o sucesso de qualquer sistema interativo, e os sistemas tutores inteligentes não constituem a exceção. Pelo contrário, pode-se dizer que a questão da interação cresce de importância nesta classe de sistemas, pois é na interação que o sistema tutor exerce duas de suas principais funções:

- a) a apresentação do material instrucional;
- b) a monitoração do progresso do aluno através da recepção de suas respostas.

Dessas duas funções, podemos derivar alguns objetivos a serem cumpridos pelo módulo de interface:

- 1) é necessário evitar que o aluno se entedie - ou seja, é preciso riqueza de recursos na apresentação do material instrucional;
- 2) é desejável que haja facilidade para troca da iniciativa do diálogo: o aluno deve poder intervir facilmente no discurso do tutor, e vice-versa;
- 3) o tempo de resposta deve, evidentemente, permanecer dentro de limites aceitáveis;
- 4) a monitoração deve ser realizada o máximo possível em "background", para não onerar o aluno com questionários excessivos, mas respeitando também a barreira do tempo de resposta.

A interface homem-computador continua sendo uma importante área de pesquisa em Ciência da Computação. Uma boa interface antecipa as ações do usuário, deve ser consistente, fornecer um alto nível de interação, e empregar a metáfora [ORE93]. O usuário aprende a relação da interface junto com o conteúdo, assim alguma carga cognitiva adicional deve ser mínima.

Existem muitos tipos de interfaces. Um estilo particular pode depender da habilidade do aprendiz e o conhecimento a ser aprendido. A interface é importante como meio de comunicação, como um ambiente de solução de problemas que dá suporte ao aluno nas tarefas disponíveis, como uma representação externa de sistema especialista e modelos instrucionais.

Por causa do grau elevado da interconexão entre os quatro maiores componentes de um STI, as técnicas usadas num modelo podem ser aplicadas aos outros modelos. O uso de um modelo cognitivo para verificar erros do aprendiz ou desentendimento (modelo do aluno), tem o potencial não somente para apresentar conhecimento para o aprendiz (modelo do domínio), como faz o tradicional CAI ou a instrução baseada em computador (CBI), mas para comunicar conhecimento real usado durante a solução de problemas relevantes melhor que em situações abstratas (modelo instrucional). As possibilidades de comunicar conhecimento (modelo de interface), baseada na prática atual, também fornece oportunidades para implementar estratégias educacionais que fornecem um fundamento para o aprendiz durante as fases iniciais da aprendizagem e logo gradualmente desvanecer-se como a perícia desenvolvida pelo aprendiz.

As possibilidades na apresentação do material instrucional têm recebido um significativo avanço a partir da utilização de sistemas de hipertexto e *hipermídia*. Em seu nível mais básico, um sistema de hipertexto é um sistema de gerenciamento de bases de dados que permite conectar telas de informação através de ligações associativas definidas pelo usuário. O termo *hipermídia* é utilizado quando as informações conectadas compreendem, além de texto, material gráfico, recursos de vídeo, animação, som, etc., [CAM96]. Essa variedade de recursos, aliada à possibilidade de percorrer o material de maneira vinculada à semântica do conteúdo, fazem dos sistemas de *hipermídia* uma ferramenta de alto potencial para apresentação do material instrucional em sistemas tutores inteligentes.

5. A pesquisa, o desenvolvimento e o futuro dos STI

Fazendo um estudo sobre o “estado da arte” dos STI pode-se verificar um número significativo de pesquisas e projetos dedicados ao seu desenvolvimento. Nesta seção examinaremos alguns das futuras aplicações concebíveis atualmente para estes sistemas. Dado a diversidade de pesquisadores na área, e as grandes diferenças entre estudantes, haverá, na realidade, muitos fluxos diferentes de pesquisa por acontecer e o futuro será provavelmente uma combinação alguns deles. Veremos alguns dessas possibilidades a seguir.

5.1. Domínios de ferramentas cognitivas específicas

Nesta visão do futuro, os Sistemas Tutores Inteligentes “onipotentes” seriam substituídos por coleções educacionais especializadas ou ferramentas cognitivas: dispositivos tecnológicos que ajudarão as pessoas a executar tarefas cognitivas (i.e. lhes ajudaria, a saber, pensar, ou aprender). O aprendizado e o treinando através dos STI seria

presentido como a fonte principal de dar habilidade, em conjunção com outras ferramentas cognitivas, permitindo a avaliação e a condução desse processo de uma forma mais adequada às necessidades cognitivas do aprendiz. A utilização de diferentes tipos de simuladores, por exemplo, poderia ser uma ferramenta extremamente útil caso sejam utilizados sob a supervisão de um tutor inteligente, relacionando as situações de treinamento e simulação com eventos de mundo real dentro de um contexto aprendizagem significativa. Neste domínio de aplicação, no entanto, existem alguns pesquisadores que questionam o uso do termo Sistemas de Tutores Inteligentes em função de questões filosóficas relacionadas à natureza da inteligência. Alguns associam inteligência com consciência e, consideram que dificilmente um sistema de IA poderia alcançá-la, assim, apesar da potencialidade de desenvolver capacidades cognitivas, eles não poderiam ser considerados realmente inteligentes, considerando o termo impróprio ou enganoso.

5.2 Educação a Distância

Este futuro é atraente por muitas razões. A Educação a Distância (EAD), pode permitir que os aprendizes fiquem em casa ou em alguma outra localização de aprendizagem conveniente (poupando tempo e custos de transporte) e conectados a uma rede de informações e software com diferentes oportunidades de aprendizagem/treinamento. Será possível ter acesso rapidamente à bibliotecas on-line, bibliotecas digitais virtualmente ilimitadas para a aprendizagem pessoal, permitindo ainda, através de um ambiente integrado, a aprendizagem colaborativa. É necessário salientar que EAD não será limitada apenas a acessar conhecimento declarativo em bancos de dados, outros softwares como, por exemplo, simuladores tecnologia de Realidade Virtual poderão ser agregados aos ambientes de EAD para praticar habilidades em qualquer domínio específico.

Uma questão que permeia a utilização de qualquer sistema integrado de Educação a Distância é a necessidade de se avaliar ao longo de todo o processo de ensino/aprendizado a evolução do aluno e suas possíveis dificuldades. Esse acompanhamento atualmente é feito por um tutor humano que tem de empreender um tempo significativo para realizar essa tarefa de acompanhamento. Alguns sistemas um pouco mais evoluídos, como AulaNet³, oferecem alguns dados quantitativos a respeito das interações e do tempo que o aluno dedicou ao aprendizado e às possíveis tarefas definidas. No entanto, apesar desses dados quantitativos oferecerem uma pequena indicação sobre possíveis problemas no aspecto da interação e do ritmo do aprendiz, eles são insuficientes para uma análise qualitativa e a possível utilização automática de recursos para minimizar os problemas detectados. A integração de mecanismos inteligentes, tais como os STI, à sistemas de EAD pode contribuir num futuro próximo, para avaliação qualitativa ao longo de todo o processo de ensino e aprendizagem.

No entanto, para que esse futuro seja atingido devemos considerar a necessidade refletir sobre algumas mudanças fundamentais, principalmente em relação ao que se pensa em relação à educação. A concepção estreita de educação (por exemplo, "escola"), só pertinente para alunos entre idades 5 e 18, já não é apropriada. A educação deveria ser para todos, todas as idades, contínua, disponível em todos os lugares e sob medida para necessidades específicas de cada aprendiz.

³ O AulaNet é um ambiente integrado de Educação a Distância baseado na Web desenvolvido pela Puc-Rio.

5.3 Aprendizagem colaborativa

A força que motiva este futuro é a convicção de que a aprendizagem colaborativa é superior à aprendizagem individual. Isto é, a aprendizagem pode ser ampliada através de discussões com todos aqueles que têm diferentes opiniões, *background*, habilidades ou saibam mais sobre algum tópico do tema que está sendo estudado. Nessas discussões é natural o aparecimento de questões e argumentos que podem provocar o pensamento crítico e aprofundamento do tema que está sendo tratado. Algumas pesquisas estão sendo conduzidas em psicologia cognitiva e social buscando respostas para perguntas que pertencem às ótimas composições de grupos de estudantes em aprendizagem colaborativa, tais como: É melhor misturar gêneros, ou ter agrupamentos mais homogêneos? Caso o grupo seja dividido, qual critério adotar? Quando se pode estabelecer o grupo baseado em níveis de aptidão? É melhor emparelhar altos com altos, ou um alto com um baixo? E que outras considerações cognitivas/sociais deveriam ser feitas?

A tecnologia está evoluindo ao ponto onde os sistemas de computador habitualmente podem conter ambientes de aprendizagem que suportam um nível alto de interação social. Esta tecnologia importante facilita a aprendizagem efetiva, especialmente dentro da sala de aula. Estas salas de aula colaborativas podem suportar diferentes recursos, o que significa que os estudantes, aprendizes e especialistas podem interagir entre escolas e locais distantes, e que os aprendizes e instrutores podem compartilhar a mesma experiência. Os estudantes podem trabalhar colaborativa no mesmo projeto. Por outro lado, estudantes diferentes podem trabalhar ao mesmo tempo no mesmo projeto, sem ter consciência da presença de um ou do outro. O número de combinações é assombroso, o potencial dessa modalidade de aprendizagem/treinamento associada aos STI ainda é praticamente desconhecida, sendo possível campo para futuros projetos e pesquisas.

5.4 Os STI verdadeiramente inteligentes

Para que a inteligência dos STI possa ser ampliada, o sujeito da questão deve ser entendido pelo computador suficientemente bem para que o especialista embutido possa obter inferências ou resolver problemas no domínio. Logo, o sistema deve poder deduzir a aproximação do estudante daquele conhecimento. Finalmente, a estratégia do tutorial deve ser inteligente até o ponto onde um tutor on-line pode implementar estratégias para reduzir as diferenças entre o especialista e o desempenho do estudante.

Soluções para problemas que envolvem dificuldades em IA, Psicologia, e Pedagogia emergirão dos empenhos das pesquisas que renderão informações relevantes sobre formas efetivas e eficientes para:

- (a) representar, utilizar, e comunicar conhecimento do domínio;
- (b) representar a evolução do estado de conhecimento do indivíduo (para conhecimento declarativo e habilidade procedural); e
- (c) instruir o material mais efetivamente para um estudante particular. Algumas perguntas de pesquisa específicas incluem: Como os computadores podem entender melhor a linguagem natural (as entradas como também as saídas)? Que tipos de mecanismos de inferência podem otimizar o estado do modelo de conhecimento do estudante? Como os

computadores podem ser programados para entender raciocínio "semi-lógico" (incluindo intuições, instinto, experiências anteriores)? Quais são as características específicas de estudantes que se desempenham melhor em certos tipos de ambientes de aprendizagem e não em outros? São melhor certos domínios para métodos instrutivos específicos? Quando a realimentação deveria ser provida, o que deveria dizer, e como deveria ser apresentado melhor? Quanto controle ao estudante deveria ser permitido? A evolução dos STIs certamente colaborará para avanços nos campos da IA, Educação, e Psicologia.

Algumas limitações dos STI correntes já foram mencionadas (por exemplo, os modelos do estudante não podem especificar todos os possíveis caminhos da solução em domínios complexos, o modelo é só satisfatório para aprendizagem procedural). Uma possível solução seria usar um tipo de aproximação do modelo de traçado para instruir habilidades procedurais bem-definidas usando um especialista subjacente e o modelo do estudante que são principalmente baseados em regras. E para instruir informação declarativa ou complexa, domínios mal estruturados, o STI pode incluir uma base de conhecimento que é uma rede semântica com indexação extensa (como CBR).

6. Conclusão

Antes da era da informação, a abordagem instrutivista prevalecente era suficiente (por exemplo, um professor que ensinava para aproximadamente 30 estudantes). As implementações iniciais de CAI refletiram esta abordagem, até certo ponto alguns STI, também, ainda não romperam completamente com antigos modelos de ensino/aprendizagem. No entanto, a revolução da informação exige cada vez mais conhecimento especializado, contínuo e crítico.

Na sociedade da informação atual, poderosos recursos envolvendo as Novas Tecnologias da Informação e da Comunicação (NTICs) já estão disponíveis em *notebooks* e outros dispositivos em formato de calculadora que se ajustaram em nossas mãos. Ferramentas de software nos permitem aprender diferentes conteúdos como álgebra, biologia, física, história da arte, ciência da computação, economia, psicologia, botânica, cálculo, contabilidade, medicina, engenharia e muitos outros. Com as pontas dos dedos, podemos recobrir informação, traduzir idiomas estrangeiros e assim sucessivamente. No entanto, é preciso observar que a maior parte da sociedade ainda está à margem de tudo isto. É urgente uma reflexão a respeito das mudanças necessárias, quer de ordem filosófica, educacional ou das tecnologias utilizadas.

Para que os STI possam ser incorporados a ambientes de EAD, a ambientes de aprendizagem cooperativa e a ferramentas cognitivas específicas, pesquisas com esse objetivo devem ser conduzidas envolvendo pelo menos três áreas de conhecimento: Psicologia Cognitiva, Inteligência Artificial e a Educação. Essas pesquisas fornecerão a base para a definição de modelos do domínio do especialista, modelos do estudante, e do tutor mais próximos dos processos cognitivos humanos.

Referências Bibliográficas

- [ALV99] ALVES, M.B.M. **Tutoriais Inteligentes**. Florianópolis:CPGCC - UFSC. Trabalho final da disciplina Informática Educativa.
- [AND83] ANDERSON, J. R. *The Architecture of Cognition*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.1983.
- [ARR99] ARROYO-ANLLÓ, Eva M^a., *Aprendizajes procedimentales y enfermedades neurológicas*. Neuropsicología. CHU La Milétrie.Revista de Neurologia, 1999.
- [ASA91] ASANOME, C. **Sistemas Tutoriais Inteligentes: um estudo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. Monografia. Final do Curso de especialização em Engenharia de Software. Dez., 1991.
- [BLO84] Bloom, B.S. The 2 sigma problem: the search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Research* 13(6), p. 4-16. 1984.
- [BRE 88] BREUKER,J. Coaching in Help Systems. In: SELF,J.(Ed.) **Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer Aided Instruction**. London: Chapman Hall, 1988.
- [BRO78] Brown, J.S., Burton, R.R. An investigation of computer coaching for informal learning activities. Technical Report, Defense Advanced Research Project Agency, Human Resources Lab., Lowry AFB, CO. 1978.
- [BUI99] BUIU, Catalin. *Artificial intelligence in Education – state of the art and perspectives*. (ZIFF Papiere 111). Germany: Fern University: Institute for Reseach into Distance Education. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 434903). 1999.
- [BUR76] Burton & Brown, J.S. A tutoring and student modeling paradigm for gaming environments. In R. Colman & P. Lorton, Jr., eds. *Computer science and Education*. ACM SIGCSE Bulletin 8(1), 236-46. 1976.
- [CAM96] CAMPOS, G.H.B. **Avaliação da Qualidade de Software Educacional**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ,1996. (RT-COS811).
- [CAR70] Carbonell, J.R. AI in CAI: an artificial intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine systems* 11(4), 190-202, 1970.
- [CHI93] CHIPMAN, S. F. *Gazing Once More Into the Silicon Chip: Who's Revolutionary Now?* In S. P. Lajoie, Ed. & S. J. Derry, Ed (Eds.), *Computers as Cognitive Tools* (pp. 341-367). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.1993.
- [CLA87] Clancey, W.J. *Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program*, The MIT Press, 1987.
- Tutoring rules for guiding a case method dialogue. *International Journal of Man-Machine Studies* 11(9), 25-49, 1979
- [COL77] Collins, A. Processes in acquiring knowledge. In R.C. Anderson, R.J. Spiro & W.E. Montague, eds. *Schooling and the acquisition of knowledge*, 339-63. Hillsdale, NJ:Erlbaum, 1977.
- [COR92] CORBETT, A. T., & Anderson, J. R. *LISP intelligent Tutoring System: Research in Skill Acquisition*. In J. H. Larkin & R. W. Chabay (Eds.), *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared Goals and Complementary Approaches* (pp. 73-109). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.1992.

-
- [COS96] COSTA, R.M.E.M.; WERNECK, V.M.B. **Tutores Inteligentes**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1996. (ES - 392/96).
- [DAM95b] DAMICO, C. **Modelo de usuário para Sistemas Tutores Inteligentes**. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1995. (Exame de Qualificação em Profundidade).
- [DAV93] DAVIES, Simon P., & Castell, Adrian M. *Embodying theory in intelligent tutoring systems: an evaluation of plan-based accounts of programming skills*. Computers and Education, 20(1), 89-96. 1993.
- [DIL89] DILLENBOURG, Pierre. **The Design of a Self-Improving Tutor: PROTO-TEG**. Disponível por WWW em:
- [DOU88] DOUGLAS, S. *Detecting and Repairing Tutoring Failures*. Third CeRCLe Workshop on Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring, 3., 1988. **Proceedings...** Ullswater, [S..e.], 1988.
- [EVE95] EVERSON, H.T., *Modeling the student in intelligent tutoring systems: the promise of a new psychometrics*. Instructional Science, 23(Nov.), 433-452. 1995.
- [FIX96] FIX, Vikki, & Wiedenbeck, Susan. *An intelligent tool to aid students in learning second and subsequent programming languages*. Computers and Education, 27(2), p. 71-83, 1996.
- [FOW91] FOWLER, D.G., "A Model for Designing Intelligent Tutoring Systems", Journal of Medical Systems, Vol. 15, N.1, 1991.
- [FRE00] FREEMAN, Reva. *What is an Intelligent Tutoring System?*. Published in Intelligenge, 11(3): 15-16, 2000.
- [GAM01] GAMBOA, Hugo., Ana Fred. *Designing Intelligent Tutoring Systems: a Bayesian Approach*. 3rd International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS'2001.
- [GIR99] GIRAFFA, L. M. M. *Uma Arquitetura de Tutor Utilizando Estados Mentais*. Porto Alegre: CPGCC - UFRGS, 1999. Tese de Doutorado.
- [GIR98] GIRAFFA, L. M. M. **Fundamentos de Sistemas Tutores Inteligentes**. Porto Alegre: CPGCC - UFRGS
- [GRA95] GRATTO, Karen Smith. **Toward Combining programmed Instruction and Constructivism for Tutorial Design**. Disponível por WWW em: www.coe.uh.edu/insite/elec_pub/html1995/199.htm
- [GRE94] GREENO, J. G., Collins, A., Beranek, B., & Resnick, L. B. *Cognition and Learning*. In D. Berliner & R. Calfee (Eds.), Handbook of educational psychology (pp. 1-51). 1994.
- [GRE94a] GREER, J.E., & McCalla, G.I. *Student Model: The Key to Individualized Knowledge-base Instruction*. V.125. Berlin: Springer-Verlag. 1994.
- [JON93] JONASSEN, D.H., WANG, S., "The Physics Tutor: Integrating Hypertext and Expert Systems", Journal of Educational Technology Systems, Vol. 22(1), pp. 19-28, 1993.
- [JON93a] JONASSEN, D.H., Wilson, Brent G., Wang, Sherwood, & Grabinger, R, Scott. *Constructivist uses o expert systems to support learning*. Journal of Computer-Based Instruction, 29(3). pp. 86-94. 1993.
- [KAP95] KAPLAN, Randy., Rock, Denny. "New Directions for Intelligent Tutoring". *AI Expert*, February, 1995.

-
- [KOE93] KOEDINGER, K. R., & Anderson, J. R. *Reifying Implicit Planning in Geometry: Guidelines for Model-Based Intelligent Tutoring System Design*. In S. P. Lajoie, Ed. & S. J. Derry, Ed (Eds.), *Computers as Cognitive Tools* (pp. 15-45). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.1993.
- [LES88] Lesgold, A. Toward a theory of curriculum for use in designing intelligent instructional systems. In H. Mandl & A. Lesgold, eds. *Learning issues for intelligent tutoring systems*, 114-37. New York: Springer, 1988.
- [McC92] McCALLA, G. I. *The Central Importance of Student Modelling to Intelligent Tutoring*. In E. Costa (Ed.), *New Directions for Intelligent Tutoring Systems*. Vol. 91, pp. 107-131. Berlin: Springer-Verlag.1992.
- [MCT01] McTAGGART, John. *Intelligent Tutoring System and Education for the Future*. CI 512X Literature Review, 2001.
- [MIT93] MITCHELL, P.D.,& Grogono, P.D. *Modelling Techniques for Tutoring Systems*. *Computers and Education*, 20(1),55-61, 1993.
- [MUR99] MURRAY, Tom. *Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art*. *International J. of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 10, pp. 98-129. 1999.
- [NEV81] NEVES D.M., Ardeson, J.R. *Knowledge compilation: mechanisms for the automatization of cognitive skills*. In Aderson JR, ed. *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale: Erlbaum; p.57-84. 1981.
- [NIL88] NILSSON, N.; GENESERETH, M. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. [S.I.]Morgan Kaufmann, 1987
- [ORE93] OREY, Michael A., Nelson, Wayne A. *Development principles for intelligent tutoring systems: integrating cognitive theory into the development of computer-based instruction*. *Educational technology Research and Development*, 41(1), 59-72. 1993.
- [SAC92] SACK, W., Soloway, E. *From PROUST to CHIRON: ITS design as Iterative Engineering; Intermediate results are Important!* In J.H. Larkin & R.W. Chabay(Eds.), *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shsred Goal and Complementary Approachs* (pp. 293-274). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. 1992.
- [SAC94] SACK, W., Soloway, E., & Weingrad, P. *Re-Writing Cartesian Student Models*. In J. E. Greer & G. I. McCalla (Eds.), *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction* (NATO ASI Series ed., Vol. 125, pp. 355-376). Berlin: Springer-Verlag.1994.
- [SAH99] SAHIBEN, Hamilton. *Inteligência Artificial na Educação*. Disponível por: WWW em: <http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/iaed/iaed.htm> (16 Jan 03)
- [SHO76] Shortliffe, E.H. *Computer based medical consultations: MYCIN*. Amsterdam, Holland:Elsevier. 1976.
- [SIL98] SILVEIRA, Ricardo Azambuja. *Ambientes Inteligentes Distribuídos de Aprendizagem*. Porto Alegre: CPGCC - UFRGS, 1998. Dissertação de Mestrado.
- [SLE84] Sleeman, D.H. *Intelligent tutoring systems: a review* (Report No. IR011683). Stanford, CA: Stanford University, School of Education & Department of Computer Science. 1984.

-
- [SOL89] SOLOWAY, E. ,& Spohrer, J. Novice Mistakes: Are the Folk Wisdoms Correct? In E. Soloway & J. Spohrer (Eds.), *Stdyng the Novice Programmer*. pp. 401-418. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 1989.
- [SKI58] SKINNER, B.F. *Teaching Machines*. Science, 128., 1958.
- [UHR69] Uhr, L. Teaching machines programs that generate problems as a function of interaction with students. Proceedings of the 24th National Conferences, 125-34, 1969.
- [URB03] URBAN-LURAIN, Mark. *Intelligent Tutoring Systems: An Historic Review in the Context of the Development of Artificial Intelligence and Educational Psychology*. Disponível em <http://www.cse.msu.edu/rgroups/cse101/ITS/its.htm>. Acessado 09/01/2003.
- [URR01] URRETAVIZCAYA L. Maite. *Sistemas Inteligentes em el âmbito de la educación*. Revista Iberoamericana de Inteligência Artificial. Nro. 12. pp.5-12. 2001.
- [VIC90] VICCARI, R. **Um Tutor Inteligente para a programação em Lógica -Idealização, Projeto e Desenvolvimento**, Universidade de Coimbra, 1990. (Tese de Doutorado).
- [WEN87] WENGER, E. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communications of Knowledge*. Los Altos, CA: Morgam Kaufmann Publishers.