

ANTONIO EDISON URBAN

## **AO REDOR DOS SISTEMAS**

**Os saberes não-aristotélicos e os limites em sistemas de ensino-aprendizagem.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Alexandre Ibrahim Direne

CURITIBA

2003

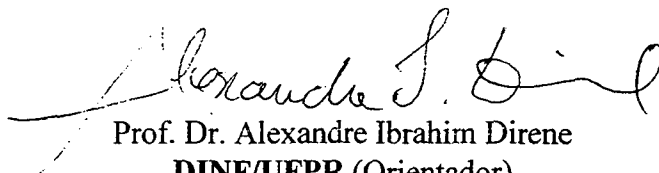


Ministério da Educação  
Universidade Federal do Paraná  
Mestrado em Informática

## PARECER

Nós, abaixo assinados, membros da Banca Examinadora da defesa de Dissertação de Mestrado em Informática, do aluno *Antônio Edison Urban*, avaliamos o trabalho intitulado, "*Ao Redor dos Sistemas: Os Saberes Não-Aristotélicos e os Limites em Sistemas de Ensino-Aprendizagem*", cuja defesa foi realizada no dia 26 de fevereiro de 2003, às dez e trinta horas, no anfiteatro A do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. Após a avaliação, decidimos pela aprovação do candidato.

Curitiba, 26 de fevereiro de 2003.



Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne  
DINF/UFPR (Orientador)



Prof. Dr. José Tarcísio Pires Trindade  
DIN/UEM



Prof. Dr. Marcos Sfair Sunye  
DINF/UFPR



O dotado filósofo Aristóteles afetou talvez o maior número de pessoas alguma vez influenciadas por um único homem. As nossas tragédias começaram quando o biólogo 'intensivo' Aristóteles ultrapassou o filósofo matemático 'extensivo' Platão e formulou todas as identificações primitivas num sistema imponente, que durante mais de dois mil anos não estivemos autorizados a rever, sob pena de perseguição. Devido a isto, o seu nome foi usado para as doutrinas de dois valores do aristotelismo e, por oposição, às realidades de muitos valores da ciência moderna é dado o nome de não-aristotelismo.

Alfred Korzybsky

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta minha dissertação à Sofia, minha primeira neta, cujo nome está relacionado com a sabedoria, resultado da aplicação do conhecimento com amor, bom senso e emoção. Tenho a convicção que este meu trabalho há de contribuir para que, em um mundo menos aristotélico, Sofia possa viver cercada de sabedoria.

## AGRADECIMENTOS

Um conjunto de fatores embrulhados com muito carinho e emoção por pessoas queridas foi responsável pelo estímulo necessário para que eu reiniciasse a caminhada do crescimento acadêmico, interrompida há alguns anos. Quero manifestar meu agradecimento aos familiares que compreenderam o distanciamento exigido e sempre demonstraram confiança e entusiasmo impedindo quantas vezes o meu abatimento; aos amigos próximos que toleraram meu falar interminável sobre as descobertas não-aristotélicas, sempre dispostos a ouvir mais, que suportaram os maus-humores retribuindo com atenção e, acima de tudo, com prontidão; aos amigos distantes que, de todos os lugares deste Brasil e de tantos outros lugares do mundo, graças a essa maravilha virtual que é a Internet, incansavelmente me escreviam e, com doses de sabedoria, de bom humor, de compartilhamento das dificuldades, me aconchegaram, me relaxaram, me iluminaram, e comigo dividiram tantos momentos difíceis; aos colegas professores que sempre me animaram a prosseguir quando eu esmorecia; e a tantos alunos que não esconderam a alegria ao saber desta minha caminhada, em especial às duas turmas que ao me homenagear convidando-me para ser paraninfo em suas formaturas, foram de inestimável ajuda para minha recuperação em momentos difíceis. Finalmente, quero agradecer ao Alexandre Direne, meu orientador, colega professor, amigo próximo e amigo distante, que com sabedoria ímpar sempre soube me conduzir no caminho adequado para a finalização desta tarefa.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ANTECEDENTES E TENDÊNCIAS.....</b>	<b>6</b>
2.1 OS RECORTES DISCIPLINARES ARISTOTÉLICOS.....	7
2.1.1 O pensamento aristotélico na análise e projeto de sistemas.....	9
2.1.2 O pensamento aristotélico e os sistemas tutores inteligentes.....	11
2.2 UM NOVO OLHAR. A DIALÉTICA E SUAS CONSEQÜÊNCIAS.....	11
2.2.1 Impactos da dialética na análise e projeto de sistemas.....	14
2.2.2 A dialética e os sistemas tutores inteligentes.....	16
2.3 POR UM MUNDO NÃO-ARISTOTÉLICO: A SEMÂNTICA GERAL.....	16
2.3.1 A Semântica Geral e a análise e projeto de sistemas.....	17
2.3.2 A Semântica Geral e os sistemas tutores inteligentes.....	19
2.4 A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS .....	20
2.4.1 Uma influência já sentida na análise e projeto de sistemas.....	24
2.4.2 A teoria geral dos sistemas e os sistemas tutores inteligentes.....	25

2.5 UMA TENDÊNCIA: O PENSAMENTO TRANSDISCIPLINAR.....	25
<b>3 A EVOLUÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS.....</b>	<b>32</b>
3.1 EVOLUÇÃO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE E PROJETO DE SISTEMAS.....	33
3.2 EVOLUÇÃO DOS RECURSOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS PROJETOS DE SISTEMAS.....	37
3.2.1 Tecnologia da Informação e Comunicação.....	37
3.2.2 Linguagens de Programação.....	38
3.2.3 Tecnologia para armazenamento e recuperação de dados.....	38
3.3 A PARTICIPAÇÃO DO UTILIZADOR E AS METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DE SISTEMAS.....	39
3.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	40
3.5 A FORMAÇÃO DOS DESENVOLVEDORES DE SISTEMAS.....	46
3.6 O PONTO CRUCIAL.....	47
<b>4 POTENCIALIDADES DO CONCEITO DE LIMITES NO ÂMBITO DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES.....</b>	<b>50</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO DE PERFIS DE APRENDIZES.....	51
4.2 UMA VISÃO DE ARQUITETURA PARA ESSA ABORDAGEM.....	55
<b>5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>58</b>

5.1 CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS CONVENCIONAIS.....	58
5.2 CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES.....	59
5.3 TRABALHOS FUTUROS.....	61
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Limites e a lei da causalidade.....	8
2	Limites e o materialismo dialético.....	14
3	Limites e o pensamento transdisciplinar.....	30
4	Arquitetura do ambiente RUI.....	56

## RESUMO

Explorar o pensamento filosófico e algumas disciplinas não-aristotélicas na avaliação da dinâmica das relações entre ambiente e sistema é a proposta deste trabalho. Em contraposição ao predomínio da lógica clássica no projeto e desenvolvimento de sistemas são avaliadas as possibilidades de algumas alternativas não-aristotélicas. O resultado é um elenco de possíveis contribuições no âmbito da formação de desenvolvedores de sistema e em uma nova abordagem para a definição de perfis de aprendizes por meio de linguagens e ferramentas de autoria para sistemas de ensino-aprendizagem.

## **ABSTRACT**

The purpose of this dissertation is to explore the philosophical concepts and some non-aristotelic disciplines on the evaluation of the relationship between environment and system dynamics. As opposed to the predominant models of classical logic reasoning in system design and development, some alternative, non-aristotelic approaches are assessed throughout the text. The result is a list of possible contributions on the scope of professional training for the system developer and in new approaches for defining learning profiles through authoring languages and tools for computer-based learning systems.

## 1. INTRODUÇÃO

É considerável o número de sistemas de informação que sofrem restrições por parte dos utilizadores finais. Muitos inclusive são rejeitados em sua totalidade. Em 1994, o *Standish Group*, uma empresa de pesquisa continuada em tecnologia da informação, publicou um relatório denominado *Chaos* [Standish Group, 1994], onde aparecem os seguintes resultados de suas atividades de pesquisa continuada: somente 16,2% dos projetos de tecnologia da informação entregues aos utilizadores são considerados bem sucedidos (terminados dentro de cronograma e orçamento estimados com todas as funcionalidades solicitadas); 52,7% dos projetos de tecnologia da informação entregues aos utilizadores foram contestados (ultrapassaram cronograma e orçamento estimados e apresentaram menos funcionalidades do que as solicitadas); e 31,1% dos projetos foram cancelados (projetos interrompidos durante o ciclo de desenvolvimento).

Estatísticas referidas por Bertrand Meyer [Meyer, 1991], em *Conception et programmation par objets*, mostram que ao redor de 70% dos custos de um software durante seu ciclo de vida correspondem a custos de manutenção e, destes 70%, 41,8% devem-se a modificações nas necessidades dos utilizadores.

No livro **Técnicas de manutenção de programas e sistemas**, Girish Parikh [Parikh, 1990] faz uma coletânea de artigos sobre manutenção. São reproduzidos mais de 100 artigos e são raros os que não mencionam a preocupação com os altos e crescentes custos de manutenção. Também são abundantes as referências a alguma técnica de desenvolvimento ou documentação que, aplicada, reduziriam estes custos.

Esta dissertação trata da importância que o estudo da dinâmica das relações entre um sistema e o ambiente tem para a compreensão e prevenção dos problemas que surgem.

Existem outras áreas de pesquisa investigando possibilidades de melhorar a qualidade das especificações, aumentar a resistência dos sistemas em relação à sua sobrevivência no tempo, suportando as freqüentes adaptações e a necessidade de contínua evolução, mas tenho a firme convicção de que a aplicação de uma abordagem não-aristotélica, mesmo sobre essas investigações, trará avanços.

Um sistema de informação tem por finalidade produzir um modelo de representação de uma realidade para instrumentar a tomada de decisões.

O fato de ser um modelo relativamente rígido — a sua manutenção é periódica e não contínua — utilizado para representar uma realidade dinâmica resulta em que, desde o momento da sua implantação, há uma defasagem entre a realidade que serviu de base para a sua concepção ou manutenção e a realidade em que está operando.

Não é possível evitar completamente essa situação, mas o estudo da dinâmica das relações entre o sistema e o ambiente permite criar mecanismos que, implementados, podem diminuir as suas conseqüências e reduzir a mortalidade prematura dos sistemas convencionais e aumentar o alcance e a eficiência dos sistemas especialistas.

Uma possibilidade singular aparece nas linguagens e ferramentas de autoria para sistemas tutores, que poderiam levar em consideração os limites do sistema através do estudo do conjunto de relações existentes entre o sistema e o ambiente em que está inserido de acordo com percepções da realidade como em constante modificação, expressas pela dialética,

pela semântica geral e teoria geral dos sistemas. Esse estudo certamente proporcionará impactos na avaliação dos limites do próprio sistema tutor que esteja sendo projetado.

Os sistemas tutores inteligentes costumam ser referidos como aqueles que, dotados da capacidade de aprender, obtém informações sobre os aprendizes durante a interação, enriquecem suas bases de conhecimento e adaptam suas estratégias de ensino continuamente. O fato de ainda haver uma certa distância entre este conceito a realidade das aplicações, principalmente na questão do sistema aprender as características do aprendiz, torna estes sistemas especialmente interessantes para os propósitos desta dissertação.

Uma boa maneira de demonstrar essa possibilidade, seja por constituir a porta de entrada do sistema, seja pela possibilidade de estender a metodologia futuramente, está na especificação dos limites de comportamento possíveis da interface humano-computador de um sistema tutor inteligente como fronteiras flexíveis.

O interessante desse tipo de aplicação está no fato de que o sistema pode aprender a conhecer o utilizador pelas características das entradas produzidas, adaptando-se a cada utilizador enquanto indivíduo. Isso seria de grande utilidade em sistemas voltados para a educação, treinamento e pesquisa.

Tome-se como exemplo um software educacional que visa acompanhar o aluno na aquisição de perícia em programação de computadores.

Um fato reconhecido pelos professores da disciplina de programação de computadores é que, enquanto alguns alunos rapidamente percebem como aplicar a lógica para criar algoritmos, outros demandam mais tempo, inclusive ficando reprovado várias vezes

antes de adquirir perícia.

Entender os limites (e as limitações) dos alunos através da sua interação com o software, levando em consideração a visão sistêmica de organização dos problemas a serem resolvidos ao longo de toda a sua formação, exige a organização de seqüências de ensino com duração de meses ou até anos para desenvolver as capacidades que compõem a perícia.

Interação Humano-Computador, Engenharia Cognitiva, Semiótica, são áreas de investigação que às vezes concorrem entre si, mas na maioria das vezes se completam na perseguição de formas mais eficientes de relacionar-se com os utilizadores de sistemas computacionais. O conhecimento derivado das investigações dentro destas disciplinas estabelece as principais bases para a construção das interfaces entre o aprendiz e o sistema tutor inteligente atualmente em uso.

O estudo do espaço definido pelas relações entre sistema e ambiente sob a ótica das disciplinas não-aristotélicas permite que sejam respeitadas perícias já adquiridas pelo aprendiz em uma dimensão de conhecimento específico ou definidos objetivos colaterais a serem atingidos, como a aquisição de perícia em dimensão paralela de conhecimento que ajudará a avançar no aprendizado.

Esta visão do aprendiz, de longo prazo, contrasta com aquela da construção de sistemas convencionais de ensino, cujas interfaces estão preparadas para reconhecer, acompanhar e individualizar o aluno por apenas alguns minutos ou por poucos passos de interação.

No capítulo 2 deste trabalho há uma volta no tempo para identificar as limitações

do raciocínio aristotélico e para apresentar as mais notáveis rupturas ocorridas com o aparecimento da dialética, com as percepções da semântica geral e com a organização da teoria geral dos sistemas. Após o passeio pelo passado, apresenta uma tendência que vem se afirmando, o pensamento transdisciplinar.

No capítulo 3 são apresentadas algumas resenhas — das metodologias de análise de sistemas tradicionais, da literatura a respeito de sistemas voltados ao ensino–aprendizagem — , uma sugestão baseada em uma constatação de insuficiência na formação de analistas de sistemas e um panorama da evolução de algumas tecnologias de software.

No capítulo 4 são propostas algumas aplicações dos saberes não–aristotélicos em projetos de linguagens e ferramentas de autoria para Sistemas Tutores Inteligentes tendo como resultado hipóteses integradoras de soluções, hoje, aplicadas de forma isolada e dispersa. Também são apresentados a possibilidade de acompanhamento dinâmico de perfis de aprendizes e o uso de monitoramento continuado do fluxo de produção e consumo de material de ensino distribuído pelos autores aos aprendizes como forma de minimizar os desajustes de modelagem que um Sistema Tutor Inteligente pode acumular em treinamentos de longa duração.

No capítulo 5, é apresentado um retrospecto das principais contribuições do trabalho e há indicação de diretrizes futuras de pesquisa.

## 2 ANTECEDENTES E TENDÊNCIAS

O surgimento da escrita, o registro da informação, a amplitude do conhecimento levou o homem a criar uma estrutura que pudesse separar uma área de conhecimento de outra. Aristóteles foi o primeiro e um dos mais importantes classificadores dessas áreas de conhecimento. A lógica por ele utilizada para a classificação permanece até os dias de hoje refletida, de tempos em tempos, por importantes pensadores e cientistas como Descartes e Newton e consagrada nas metodologias científicas usualmente adotadas.

Os recortes disciplinares produzidos por Aristóteles apoiados pelos elementos de organização apresentados na obra **Organon** [Aristóteles, 1985 e 2001] permitiam que o olhar do pensador ou do cientista pousasse sobre aspectos específicos de cada disciplina, possibilitando assim o seu desenvolvimento sem as dificuldades decorrentes da complexidade derivada da percepção da totalidade em cada passo dado.

Esta visão permaneceu praticamente inalterada, com pouca evolução, até os dias de hoje, apesar de várias tentativas de ruptura, como o Materialismo Dialético [Marx & Engels, 1974/1857], a Semântica Geral [Korzybsky, 1933, citado por Van Vogt, 1988/1945], a Teoria Geral dos Sistemas [Bertalanffy, 1998/1969] e, mais recentemente, a Transdisciplinaridade [Nicolescu, 1999/1994].

Essa situação se reflete fortemente nas metodologias elaboradas para análise e projeto de sistemas de informação divulgadas até o momento.

Entender as relações entre os diversos conhecimentos do homem é uma busca antiga. A discussão sobre o que é verdade científica e o que não pode ser comprovado tem

sido uma constante na evolução do pensamento humano. A seguir mostro como alguns pensadores lidam com a questão de limites e ajudam a melhorar a compreensão das facilidades e dificuldades existentes para a construção adequada desses limites.

## 2.1 OS RECORTES DISCIPLINARES ARISTOTÉLICOS

Aristóteles (-384 a -322 a.C.), mantém-se influente até os dias de hoje. Como parte de sua obra, ele concebeu os primeiros recortes disciplinares conhecidos pela humanidade, com a intenção de permitir que cada um dos segmentos do conhecimento pudesse ser desenvolvido sem precisar, a cada momento, estabelecer o relacionamento com a totalidade.

Os três princípios básicos da lógica tradicional (formal) são: princípio da identidade (um vegetal é um vegetal, ou  $A$  é  $A$ ); princípio da não-contradição (uma coisa não pode ao mesmo tempo ser ela mesma e seu contrário, ou  $A$  não é não- $A$ ); e princípio do terceiro-excluído (ou há vida ou há morte, não há um terceiro caso, ou se  $A$  e não- $A$  são contraditórios, determinada coisa é  $A$  ou não- $A$ ) [Politzer, 1970].

A lógica tradicional, derivada do pensamento aristotélico [Haack, 2002], estabelece métodos (silogismos) para a obtenção de recortes bem definidos e autocontidos de modo a facilitar a compreensão do núcleo de cada disciplina sem ambiguidades. Dentro do cerne de cada disciplina tudo deve ser explicado: "Não há efeito sem causa" e "Todo efeito deve ser atribuído à sua causa" (que acaba por constituir um outro princípio, talvez não menos importante que os acima mencionados: o princípio da causalidade) [Aristóteles, 3—a.C. ed. 2001].

Quando consideramos a área de contorno das disciplinas ou mesmo de sistemas, a utilização dogmática do princípio da causalidade resulta em perdas de informações sobre o objeto delimitado.

Pode-se dizer que o cerne admitido pela lógica tradicional situa-se bastante aquém do limite estabelecido pelo recorte, ou seja, aquilo que é efeito e aquilo que é causa devem estar contidos no cerne, mas como causas e efeitos constituem um continuum ilimitado, remanesce uma área entre o cerne e o limite onde há efeitos sem causa identificada, como ilustra a figura 1.

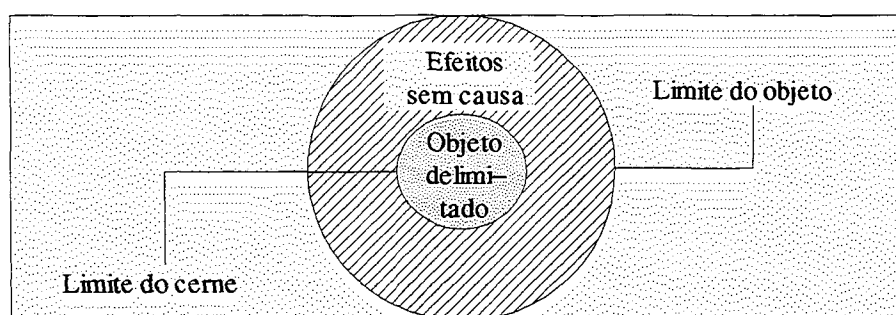


Figura 1 – Limites e a lei da causalidade

As características principais da lógica tradicional aristotélica foram mantidas na lógica clássica e influenciam a metodologia científica até os dias de hoje.

Pode-se perceber isso em **O Problema das Definições em Matemática** [Tahan, 1965] onde esse matemático brasileiro organiza os métodos e os conceitos associados à obtenção de definições em matemática baseando-se em diversas fontes secundárias que exalam claramente a influência de Aristóteles bem como no próprio, em relação às definições de ponto e reta.

Mais ilustrativo talvez seja a apresentação à edição em português do **Organon** de Aristóteles, traduzido e organizado por Pinharanda Gomes, onde é dito, sobre a obra de Aristóteles: "(...) Organizador da lógica dedutiva, baseada no silogismo, que funciona qual aritmética de matemática pura, ainda hoje a humanidade não dispõe de outro método que não seja a lógica fundamentada no sistema analítico e crítico de Aristóteles".

### 2.1.1 O pensamento aristotélico na análise e projeto de sistemas

Houve um período inicial, na análise e projeto de sistemas de informação, em que os papéis de analista e programador se confundiam e as metodologias aplicadas para uma e outra tarefas pouco se diferenciavam.

Em desenvolvimento de algoritmos para programação de computadores a aplicação dos princípios da lógica clássica é quase obrigatória dado que os programas constituem um cerne delimitado artificialmente para executar uma tarefa específica.

A extensão da aplicação da lógica clássica em atividades de análise e projeto de sistemas de informação acaba gerando cernes pouco flexíveis e sem capacidade de adaptação à dinâmica contínua da realidade que se busca modelar.

Este uso pode ser adequado na delimitação de sistemas de informação para apoio às atividades operacionais das organizações, onde predominam decisões estruturadas, baseadas em informações determinísticas atualizadas e geradas periodicamente. Nessa situação ficam bem estabelecidos os princípios da identidade (não é admissível ambiguidade na identidade de qualquer componente do sistema); da não contradição (um valor está dentro de parâmetros de

aceitação ou não); do terceiro excluído (não ocorre a possibilidade de uma terceira possibilidade na contradição); e da causalidade (uma situação dada sempre decorre de uma causa determinada). As decisões ocorrem normalmente baseadas em políticas bem definidas restando ao decisor simplesmente a sua aplicação. É possível dizer que nesses casos as decisões têm como base aquilo que ocorre dentro dos limites do cerne (ver Figura 1, acima).

No caso de sistemas de informação para apoio a decisões acima do nível operacional das organizações ocorrem situações que exigem considerar tendências, probabilidades e informações não-determinísticas. O cenário descrito pelas informações deve favorecer o julgamento do decisor e, por isso mesmo, o decisor não pode e nem deve ser considerado como mero receptor passivo de informações: a cultura, os costumes e o conhecimento de cada decisor acabam influenciando a qualidade do julgamento e devem ser levados em conta na conformação das informações. Pode-se dizer que grande parte das decisões devem ser tomadas com base naquilo que ocorre entre o limite do cerne e o limite do objeto (ver Figura 1, acima), onde A parece A, A e não-A podem se confundir e não ser excludentes, permitindo inclusive outras possibilidades e, como já foi dito, as causas de A podem não ser claramente identificadas.

A construção de sistemas de informação para apoiar decisões não-operacionais baseados na lógica clássica resulta em sistemas desatualizados antes de sua implantação, em razão da rapidez com que ocorrem mudanças na região entre o cerne e o limite do objeto, mudanças que, via de regra, afetam o próprio limite do objeto representado pelas informações.

### 2.1.2 O pensamento aristotélico e os sistemas tutores inteligentes

A aplicação da lógica clássica na construção de sistemas voltados para a educação ou o treinamento de pessoas, os chamados sistemas tutores inteligentes, acaba por estabelecer um perfil médio do aprendiz a partir do qual trabalham, em decorrência da necessidade de evitar a incerteza da região entre o perfil restrito (médio) e o perfil amplo (genérico).

Aqueles que se encontram abaixo da média escolhida como referência para o processo de aprendizado ou treinamento dificilmente conseguirão obter progresso já que as definições adotadas não respeitam as suas insuficiências; os que coincidem com a média escolhida deverão obter somente o progresso esperado e aqueles que estiverem acima da média eleita estarão sendo sacrificados em suas potencialidades.

Mesmo quando, na construção de linguagens e ferramentas de autoria para sistemas tutores inteligentes são adotados conjuntos de características estereotípicas para abranger múltiplos perfis de usuários [Rich,1983; citada por Pietruchinski, 2001], a medida é paliativa e não apresenta ruptura com a lógica clássica.

Aplicações em inteligência artificial certamente são das que mais perdem com as limitações da lógica clássica.

## 2.2 UM NOVO OLHAR: A DIALÉTICA E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831) desencadeou uma revolução na filosofia alemã com a publicação de sua *Phäomenologie des Geistes*<sup>1</sup> (1807) e *Enzyklopädie*

---

1 Traduzido no Brasil como Fenomenologia do Espírito

*der Philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*<sup>2</sup> (1817), ao estabelecer os princípios da lógica dialética em contraposição à lógica que chamava de metafísica.

Ludwig Andreas Feuerbach (1804 –1872), na obra *Das Wesen des Christentums*<sup>3</sup> (1841), questionou o corolário espiritualista da obra de Hegel, "restaurando o materialismo em seu trono. A natureza existe independentemente de toda filosofia, ela constitui a base sobre a qual os homens cresceram e se desenvolveram, como produtos da natureza que são; nada existe fora da natureza e dos homens; e os entes superiores, criados por nossa imaginação religiosa, nada mais são que outros tantos reflexos fantásticos de nossa própria essência." [Engels, 1885, p.177].

Marx e Engels, inspirados pela dialética hegeliana e pelo materialismo feuerbachiano construíram um método para conhecer a natureza e a sociedade em seu processo evolutivo que ficou conhecido como Materialismo Dialético.

Nem sempre os escritos de Marx e Engels são de fácil compreensão. Para um melhor entendimento do Materialismo Dialético torna-se necessário explorar trabalhos de outros autores.

Claus Germer em seu estudo **Contribuição ao entendimento do método da economia política, segundo Marx** [Germer, 2002], resgata a etimologia e a epistemologia da terminologia adotada por Marx no texto **Método para a Economia Política** [Marx, 1974]. A contribuição deste trabalho não restringe-se ao texto de referência, pois a mesma terminologia permeia outros escritos de Marx e Engels, bem como trabalhos relativos ao

---

2 Traduzido no Brasil como Enciclopédia das Ciências Filosóficas em Compêndio

3 Traduzido no Brasil como Essência do Cristianismo

materialismo dialético produzidos por outros autores quase sempre envoltos em um certo hermetismo. Um bom exemplo do resgate propiciado por Germer está no trecho: "Os termos abstrato e concreto, integrantes da terminologia própria da filosofia clássica alemã até Hegel, possuem significados diferentes em Hegel e em Marx, que é necessário esclarecer. Em uma primeira aproximação o abstrato designa um conceito, produto do chamado método da abstração, que consiste em extrair ou remover da realidade perceptível — como representação mental — uma parte ou aspecto específico." (Em nota de rodapé: "Alternativamente a 'abstração' pode ser definida como o processo de eliminar as características não essenciais de um conjunto de fenômenos, preservando a característica geral comum a todos eles").

O Materialismo Dialético [Marx, 1844, 1845 e 1847; Engels, 1885; Pulitzer, 1970; Germer, 2000] oferece algumas ferramentas metodológicas cuja aplicação permite uma melhor compreensão da realidade em transformação:

- Considerar que tudo se relaciona estabelece como condição inicial da investigação a percepção das relações entre o objeto em estudo e os demais objetos que compõem o ambiente onde ele se encontra.
- Perceber que tudo se transforma impõe a consideração de que um objeto em estudo está em processo contínuo de mudança, mesmo durante o próprio estudo.
- Reconhecer que o acúmulo de mudanças quantitativas resulta em mudanças qualitativas favorece a compreensão de efeitos (aparentemente) sem causas.
- Admitir a contradição como o motor dialético da mudança propicia a compreensão da essência do movimento, onde a acumulação quantitativa cria a condição para o salto qualitativo.

As características acima descritas não esgotam as possibilidades da dialética como ferramenta de apoio ao pensamento e ao conhecimento. São suficientes, porém, para apoiar as pretensões deste trabalho em relação à sua aplicação no estudo do comportamento da dinâmica das relações entre os sistemas e seus ambientes.

É importante que seja percebida a importante mudança que ocorre na visão de limites quando o materialismo dialético é aplicado ao estudo de uma realidade ou algum objeto. Na Figura 1, que representa a visão aristotélica, o objeto tem dois níveis de limite: o limite do cerne, que se comporta de acordo com os princípios da lógica clássica, e um limbo onde os eventos não explicados permanecem ocorrendo, mas são desconsiderados, prevalecendo a imutabilidade do cerne. Na Figura 2, que representa a visão dialética, percebemos a ausência do cerne, desnecessário porque é admitida a permanente transformação do objeto decorrente da luta dos contrários que ocorre internamente ao objeto e das mudanças decorrentes das relações do objeto com o ambiente onde está inserido.



Figura 2 –Limites e o materialismo dialético

### 2.2.1 Impactos da dialética na análise e projeto de sistemas

Mesmo em sistemas de informação para apoio às atividades operacionais das organizações, onde predominam decisões estruturadas, baseadas em informações

determinísticas atualizadas e geradas periodicamente existe espaço para uma investigação mais profunda das causas, buscando recorrências e relações, inclusive permitindo antecipar-se ao agravamento de mudanças degenerativas.

A característica de exigir a consideração de tendências, probabilidades e informações não-determinísticas, presente nos sistemas de informação para apoio a decisões acima do nível operacional, torna-os fecundos campos para aplicação da dialética. Quando a dialética impõe, como método, o estudo das relações, a compreensão do processo de mudança através da identificação das contradições e a percepção do acúmulo quantitativo e das possibilidades de saltos qualitativos, obtemos uma identificação mais segura das tendências, um estudo mais abrangente das probabilidades e o estabelecimento de fontes mais confiáveis de informações não-determinísticas.

A supressão do engessamento estabelecido pela lógica clássica favorece a inclusão do decisor, com suas características culturais, seus costumes e conhecimento acumulado, como fator determinante na escolha da forma e conteúdo das informações, de modo a favorecer o seu julgamento.

A construção de sistemas de informação baseados na dialética para apoiar decisões não-operacionais permite a construção de sistemas flexíveis e evolutivos mesmo durante o processo de desenvolvimento, acompanhando a rapidez com que ocorrem mudanças no âmbito interno do objeto e nas suas relações com o ambiente, permitindo que, mesmo mudanças que afetam o próprio limite do objeto representado pelas informações possam ser percebidas a tempo para o planejamento de sua absorção pelo sistema.

### 2.2.2 A dialética e os sistemas tutores inteligentes

O reconhecimento das diferenças, a preocupação com as relações em toda a sua amplitude, as possibilidades já faladas de flexibilidade e evolutibilidade constituem características, em sistemas projetados com base na dialética, que tornam extremamente atraente este caminho para sistemas destinados à educação e ao treinamento.

## 2.3 POR UM MUNDO NÃO-ARISTOTÉLICO: A SEMÂNTICA GERAL

O autor de ficção científica Alfred Elton Van Vogt, em 1945 teve publicado, em episódios, seu romance *The World of Null-A*<sup>4</sup>, onde explora as idéias de Alfred Korzybsky, conde polonês radicado nos Estados Unidos, divulgadas em seu livro *Science and Sanity – an introduction to non-aristotelian systems and general semantics*, publicado em 1933. A estória se passa em um mundo dominado por máquinas que estabelecem a programação das memórias pessoais de cada indivíduo; essas máquinas são confrontadas pelo personagem principal que, utilizando os princípios da semântica geral, consegue espetaculares façanhas mentais e físicas.

Jean-Luc Godard, no filme *Alphaville*, também se inspira em Korzybsky para conduzir a trama decorrente do enfrentamento entre um agente secreto e um computador que controla a vida na cidade.

Apesar de Korzybsky ter manifestado intenções que estimularam a idéia de domínio do homem por máquinas, situação inspiradora das duas obras de ficção acima

---

4 Publicado em Portugal, em 1988, como *O Mundo de Zero-A*.

referidas, algumas de suas reflexões nos permitem avançar no terreno da discussão de limites.

As principais idéias de Korzybsky estão contidas nos exemplos utilizados para as ilustrar: a) um mapa não é o território; b) um mapa não representa tudo de um território; e c) um mapa é auto-reflexivo.

### 2.3.1 A Semântica Geral e a análise e projeto de sistemas

Quando adota como premissa que o mapa não é o território, Korzybsky exemplifica a idéia de que o modelo não é o objeto representado. A realidade e a sua representação não podem ser confundidos. Quando alguém se utiliza de um sistema de informações, está tentando alterar o seu conhecimento a respeito da realidade com base na sua interpretação dos relatórios por ele gerados e tomar decisões com base nesse conhecimento alterado. O desenvolvimento do sistema deve levar isso em conta, deixando claro ao utilizador o alcance da representação a ele oferecida.

Outra premissa estabelece que um mapa não representa tudo de um território. Aqui Korzybsky refere-se à parcialidade dos modelos em relação aos objetos. A construção de modelos depende de um objetivo o que acaba impondo um viés da realidade ao modelador; e todo o viés é parcial. Os sistemas de informação estão fortemente associados às decisões que devem ser tomadas a partir de seus relatórios. Seus objetivos estão atrelados a essas decisões. A complexidade da realidade impõe a abstração de todos os aspectos da realidade que não estejam relacionados com os objetivos do sistema de informações. A correção do método adotado para a escolha do que deve ser representado e do que deve ser abandonado é crucial para a qualidade das decisões que serão alimentadas pelas informações do sistema.

Korzybsky ainda estabelece uma terceira premissa: um mapa é auto-reflexivo. É a idéia da representação da representação, algo como um meta-modelo. Se considerarmos um sistema de informações, temos um nível de representação que são os dados e, com base nesse nível de representação geramos as informações, um outro nível de representação. O conhecimento do utilizador que será alterado pelas informações também é um terceiro nível de representação. É com esse conhecimento que a decisão acaba sendo tomada.

É importante perceber ainda que a propriedade da auto-reflexão possui um caminho de duas mãos: a primeira, descrita acima, permite, a partir do modelo do objeto, construir outros modelos do objeto; a segunda diz respeito à fidelidade da representação obtida, pois a partir do modelo do objeto deve ser possível reconhecer o próprio objeto.

Para representar a realidade do funcionamento de uma organização são escolhidos alguns aspectos dos objetos, personagens e relações que a compõem. Estes aspectos são validados, registrados e armazenados como dados. Sobre esses dados podemos dizer que eles não são a organização, somente a representam. Podemos dizer ainda que eles não representam toda a organização, somente parte dela, mas deve ser possível reconhecer a organização a partir deles.

Para atualizar o conhecimento dos tomadores de decisão os dados armazenados são recuperados e transformados gerando informações. Nesse caso temos o uso de uma representação (os dados) para gerar outra representação que, por sua vez, não é a representação inicial e tampouco é toda a representação inicial, mas, do mesmo modo, deve possibilitar o reconhecimento da organização a partir dela.

Como as informações podem também ser combinadas e transformadas, o ciclo auto-reflexivo se repete e ainda pode repetir-se mais vezes, nos dois sentidos.

Podemos concluir do trabalho de Korzybsky que construir modelos implica em fazer escolhas, faz-se abstração somente dos aspectos que irão contribuir para os objetivos para os quais se pretende representar aquela realidade. Isto implica em estabelecer limites. O modelo redesenha a realidade impondo os limites que o modelador entende serem adequados para as finalidades do trabalho. A consciência disso altera o processo de construção e a percepção do resultado.

Esta conclusão afeta fortemente a construção de sistemas de informação sejam eles destinados a gerar suporte para decisões operacionais ou não. Implica no rigor da escolha dos dados e na precisão dos processos de transformação desses dados. Do mesmo modo afeta o utilizador desses sistemas, que deve estar consciente das perdas decorrentes do processo de abstração que ocorre em dois momentos: a) na modelagem dos objetos, personagens e eventos cujo resultado são os dados e b) na combinação dos dados para gerar as informações.

### 2.3.2 A Semântica Geral e os sistemas tutores inteligentes

O perfil adotado como referência para o aprendiz em um sistema tutor inteligente, acaba impondo ao aprendiz real uma adaptação a uma forma de aprendizado. Características que permitem a um dado aprendiz ter maior ou menor facilidade de aprender nem sempre são contempladas no perfil, normalmente com baixa flexibilidade e resistente à evolução. Considerar que um mapa não representa tudo de um território implica em buscar junto ao aprendiz real aquilo que o complementa, ao menos em relação aos objetivos do aprendizado.

Também em sistemas tutores inteligentes a aplicação dos fundamentos da semântica geral pode alterar a qualidade dos resultados. Cada aprendiz relaciona-se com um determinado processo de aprendizagem de maneira particular, criando a sua abstração para assimilar o conhecimento. Isso implica que diferentes aprendizes reagirão de modo diferente a um mesmo processo de aprendizado, a depender de fatores externos (ambiente de aprendizado) e internos (como funciona a sua percepção).

É certo que não escaparemos da modelagem e, porisso mesmo, da abstração, mas podemos, aprendendo mais sobre o aprendiz, perseguir a redução da distância entre o modelo e o objeto modelado. Sabendo que a referência adotada não é o aprendiz, devemos investigar o aprendiz por meios diretos e/ou indiretos para aprender mais sobre ele e tornar a referência mais próxima dele. Entendendo que a referência adotada não abrange todas as características do aprendiz, devemos analisar a evolução do aprendiz para identificar quais as características não modeladas que podem contribuir para melhorar o seu processo de aprendizado. Finalmente podemos observar a característica da auto-reflexão por dois caminhos: o primeiro trata da revisão dos ajustes e aperfeiçoamentos da referência aplicados a um dado aprendiz para gerar a referência particular daquele aprendiz de um modo muito próximo à (re)classificação adotada por Mônica Pietruchinski na ferramenta FEMEA [Pietruchinski, 2001]; o segundo trata da avaliação do conjunto de ajustes e aperfeiçoamentos aplicados aos aprendizes em geral para aperfeiçoar a referência geral.

## 2.4 A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS

Ludwig von Bertalanffy, na primeira metade do século passado, publicou alguns

documentos relacionados com seus estudos a respeito do comportamento dos sistemas. Em 1945 fez o primeiro anúncio da Teoria Geral dos Sistemas e, em 1968, consolidando seus textos e fazendo os necessários ajustes e costuras, lançou, nos Estados Unidos, o livro *General System Theory* [Bertalanffy, 1998].

Bertalanffy reuniu as características comuns dos diversos sistemas que estudou e gerou o que ele chamou de "(...) *general science of 'wholeness' which up till now was considered a vague, hazy, and semimetaphysical concept*"<sup>5</sup> [Bertalanffy, 1998, p.37].

A seguir reproduzo algumas das principais constatações que levaram Bertalanffy a construir a da Teoria Geral dos Sistemas:

*"(1) There is a general tendency towards integration in the various sciences, natural and social.*

*"(2) Such integration seems to be centered in a general theory of systems.*

*"(3) Such theory may be an important means for aiming at exact theory in the nonphysical fields of science.*

*"(4) Developing unifying principles running "vertically" through the universe of the individual sciences, this theory brings us nearer to the goal of the unity of science.*

*"(5) This can lead to a much-needed integration in scientific education."<sup>6</sup>*

---

5 "(...) ciência geral da "totalidade" que, até hoje, era considerada um conceito vago, confuso e semimetafísico."

6 "(1) Há uma tendência geral no sentido da integração nas várias ciências, naturais e sociais.

"(2) Esta integração parece centralizar-se em uma teoria geral dos sistemas.

"(3) Esta teoria pode ser um importante meio para alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência.

Desses propósitos pode-se depreender que a Teoria Geral dos Sistemas busca compreender o conjunto das relações entre as diversas disciplinas, rompendo as barreiras disciplinares aristotélicas. Essa visão contamina a percepção dos sistemas individualmente através da importância dada ao relacionamento entre as partes e, como consequência, é reservado papel importante aos mecanismos de retroalimentação (em especial à homeostase), à organização (princípio da sinergia), e aos mecanismos de controle que previnem a desorganização (entropia).

A organização dos sistemas nos remete à análise do papel das partes e das relações entre elas estabelecidas. Uma organização que minimiza a competição e o conflito entre as partes consegue melhores resultados do que casos onde as partes pouco colaboram entre si. A expressão: "O todo é maior do que a soma das partes" é conhecida como o princípio da sinergia e quer dizer que as partes isoladamente não produzem resultado maior do que o da soma de seus valores individuais, mas se essas partes estiverem adequadamente organizadas, de modo a obter o máximo das relações entre elas, o resultado certamente será muito maior do que a soma de seus valores individuais.

A homeostase é um mecanismo de retroalimentação que busca restaurar as bases estabelecidas de funcionamento do sistema ao perceber a existência de alguma alteração nos resultados esperados. Esse mecanismo de auto-regulação é inerente aos sistemas vivos (regulagem de temperatura dos corpos, por exemplo) e deve ser preocupação na construção de sistemas planejados.

---

"(4) Desenvolvendo princípios unificadores que atravessam "verticalmente" o universo das ciências individuais, esta teoria aproxima-nos da meta da unidade da ciência.

"(5) Isto pode conduzir á integração muito necessária na educação científica."

Existem alterações de comportamento sem mecanismo de retroalimentação associado ou alterações que provocam tal nível de desordem que os mecanismos de retroalimentação não são capazes de restaurar as bases de funcionamento estabelecidas. Nesse caso o sistema tende a desorganizar-se, entra em entropia. Em qualquer desses casos são necessários mecanismos de controle que detectem a desorganização.

Normalmente os sistemas vivos e os sistemas planejados conseguem lidar com as ocorrências internas de problemas, seja através de mecanismos de retroalimentação, seja através de mecanismos de alerta sobre aumento de entropia, que possibilitam acionar fontes de entropia negativa para compensar o problema existente.

Em sistemas planejados a desorganização, em grande parte, decorre de problemas nas relações entre o sistema e o ambiente onde está inserido.

Estes problemas se manifestam seja através das entradas reconhecidas pelo sistema, seja através de entradas não reconhecidas pelo sistema.

No primeiro caso, o sistema pode prevenir-se através de um controle de qualidade dessas entradas conhecidas; no segundo caso, dado que a abstração que resultou no modelo do sistema desconsiderou as possíveis influências dessas entradas, a prevenção é impraticável.

O desenvolvimento de sistemas planejados, principalmente por estes estarem inseridos em ambientes sobre os quais pouco ou nenhum controle pode ser exercido, deve ser precedido de um estudo exaustivo das fronteiras do sistema com vistas a identificação de riscos potenciais e implementação de mecanismos de detecção e alarme.

Deve ainda proceder a uma rigorosa análise da organização de seus componentes internos principalmente no que diz respeito ao relacionamento entre eles. Com esse cuidado o desenvolvedor consegue maximizar a sinergia, ao implementar, quando possível, mecanismos de auto-regulação para manter constantes as condições esperadas de funcionamento ou, na impossibilidade, ao implementar mecanismos convencionais de controle que alertem os utilizadores sobre eventuais indícios de desorganização (entropia).

#### 2.4.1 Uma influência já sentida na análise e projeto de sistemas

Muitos estudiosos de metodologias para análise e projeto de sistemas adotaram princípios da Teoria Geral dos Sistemas como fundamentos de seus métodos.

Nota-se freqüente preocupação com a sinergia quando busca-se uma boa definição das relações entre os módulos ou sub-sistemas. Percebe-se a forte recomendação de cercar os riscos de entropia com mecanismos de auto-regulação ou mecanismos de detecção.

Existem até ensaios na criação de métodos de obter uma correta avaliação da realidade para que o processo de abstração não deixe de fora nada que seja importante e também não inclua nada que não agregue valor à informação.

De um lado busca-se resolver todos os problemas de sinergia e entropia dentro do próprio sistema; de outro, busca-se a compreensão das relações com o ambiente mais para construir o sistema como um novo cerne aristotélico do que para construí-lo de modo a suportar as constantes mudanças no ambiente.

Excetuando-se dois autores, Jean Dominique Warnier [Warnier, 1982 e 1986] e

Horácio de Oliveira Soares Neto [Soares Neto, 1993], não há evidência de que a ruptura que Bertalanffy propicia com o pensamento aristotélico tenha sido compreendida pelos estudiosos de metodologias para análise e projeto de sistemas.

A contribuição mais expressiva de Bertalanffy está no estabelecimento de fronteiras dinâmicas entre sistemas e ambientes e a extensão dos conceitos de sinergia e entropia para as relações entre o sistema e o ambiente, expressa no reconhecimento da existência de hierarquia entre sistemas, onde o ambiente, para um dado sistema é o seu supersistema, da mesma forma que um seu componente é um subsistema.

Reconhecer isso em análise e projeto de sistemas permite construir sistemas que podem acompanhar a dinâmica do ambiente.

#### 2.4.2 A teoria geral dos sistemas e os sistemas tutores inteligentes

Na construção de sistemas tutores inteligentes é condição exigida a percepção da dinâmica das suas fronteiras com o ambiente externo. Menor consideração tem recebido a percepção da dinâmica das fronteiras de seus componentes com ele próprio.

### 2.5 UMA TENDÊNCIA: O PENSAMENTO TRANSDISCIPLINAR

A primeira referência ao termo transdisciplinar surgiu com Jean Piaget, em 1970, durante um colóquio sobre interdisciplinaridade, quando mencionou que "(...) esta etapa (da interdisciplinaridade) deverá posteriormente ser sucedida por uma etapa superior transdisciplinar". Posteriormente, em 1972 e 1977, Piaget insiste no termo [Litto, 1998].

"Como o prefixo 'trans' indica, a transdisciplinaridade diz respeito ao que está, ao mesmo tempo, entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de todas as disciplinas. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, e um dos imperativos para isso é a unidade do conhecimento" [Nicolescu, 1997].

Logo no início do documento "O manifesto da transdisciplinaridade", Basarab Nicolescu menciona os pesquisadores (Piaget, Morin, Jantsch, ...) que lavraram o termo quase que simultaneamente e observa: "(...) este termo foi inventado na época para traduzir a necessidade de uma jubilosa transgressão das fronteiras entre as disciplinas, sobretudo no campo do ensino e de ir além da pluri e da interdisciplinaridade" [Nicolescu, 1999].

Analisando essas duas frases, percebe-se o estabelecimento de um paradoxo, pois na medida em que se transgride as fronteiras entre as disciplinas, as disciplinas passam a ser vistas uma como extensão das outras, colocando em questão as fronteiras e a existência das disciplinas, como percebidas na visão aristotélica. Deste modo a transdisciplinaridade contém em si mesma a base para a supressão das disciplinas enquanto recortes definidos pelo pensamento clássico e, isso ocorrendo, deixa de haver necessidade de uma visão transdisciplinar.

É certo que o pensamento dominante limita-se a fazer um recorte ajustado às possibilidades de aplicação da lógica clássica, eliminando tudo quanto possa causar embaraços. A lógica clássica se preocupa com o "núcleo duro" ou cerne das disciplinas, deixando de lado as repercussões que emergem desse núcleo por não poder enquadrá-las.

Na medida em que essas repercussões ganham importância e se projetam sobre

repercussões de outras disciplinas, busca-se enquadrar esta intersecção como uma nova disciplina, aplicando-se novamente os princípios da lógica clássica para identificar o cerne de modo a restringí-la aos fundamentos clássicos. É a interdisciplinaridade.

Também existe o caso em que componentes de uma ou mais disciplinas cooperam com outra, propiciando avanços ou soluções impossíveis dentro das suas próprias fronteiras. Apesar da ocorrência de relações entre várias disciplinas, esta situação acaba sendo observada como fato estanque que não interfere no cerne que pode ser explicado pela lógica clássica. É a pluri ou multidisciplinaridade.

Uma das razões alegadas pela lógica clássica para restringir-se ao cerne das disciplinas está na confiabilidade, na certeza. Tudo o que está contido neste recorte é conhecido, dominado, entendido. Não há risco, não há incerteza.

A transdisciplinaridade rompe com essa situação cômoda e inclui a incerteza como componente do método científico. Não no sentido de fragilizar os resultados e a compreensão, mas no sentido de respeitar a realidade, maior e mais complexa que os diversos cerne impostos pela lógica clássica e assim obter uma compreensão mais ampla, menos sujeitas aos rigores das fronteiras estabelecidas.

A transdisciplinaridade inclui a interdisciplinaridade e a pluridisciplinaridade porque entende que as repercussões de cada disciplina, as intersecções que ocorrem e as contribuições que permitem avanços fazem parte de uma realidade maior do que cada disciplina em si.

Na medida em que isso é compreendido, a existência das disciplinas como

continentes separados um dos outros como na visão clássica perde o sentido. As relações, as influências a sobreposição de repercussões impedem o isolamento das disciplinas.

Isso impõe uma nova visão sobre os recortes disciplinares, que continuam sendo necessários, mas não podem mais ser entendidos como auto contidos, auto explicados.

Os recortes existentes podem ainda ser utilizados, desde que contaminados pela visão transdisciplinar, mas sem dúvida, mais cedo ou mais tarde estes recortes deverão ser revistos pois seus pressupostos permanecem dentro da visão clássica.

Assim, o paradoxo identificado no início dessa abordagem sobre o pensamento transdisciplinar acaba por ser resolvido pela adoção desse pensamento sobre os recortes disciplinares clássicos.

Por outro lado, o pensamento transdisciplinar acaba por abranger todas as visões disciplinares anteriormente mencionadas nesta dissertação.

Abrange a visão aristotélica, que não é negada, mas é considerada insuficiente. Admitida por constituir-se em uma adequada delimitação disciplinar; insuficiente por considerar o objeto de estudo limitado ao seu cerne, desconsiderando as relações que ocorrem na região onde efeitos percebidos ainda não tem suas causas equacionadas pelos cânones da lógica clássica, insuficiente por não admitir que as relações entre o objeto e o ambiente afetam tanto o objeto quanto o ambiente, e insuficiente, finalmente, por não admitir a contradição, base para o princípio do terceiro excluído.

Abrange a visão dialética, ao admitir a luta dos contrários, o relacionamento

universal, os acúmulos de quantidade para o salto qualitativo e a mudança continuada. Considera a dialética limitada, pois esta restringe-se a um dado nível de realidade.

Abrange a semântica geral, pois também é não-aristotélica e aceita que o modelo não é o objeto representado, o modelo não representa tudo do objeto representado e admite a auto-reflexão, mas isso é somente um pequeno pedaço da amplitude pretendida pelo pensamento transdisciplinar.

Abrange ainda a teoria geral dos sistemas e a interpretação da sinergia como resultante das relações entre os componentes, a constante força desorganizadora dos sistemas representada pela entropia e os mecanismos de prevenção e correção, mas transcende a visão sistêmica rompendo com a limitação de um único nível de realidade.

Os três pilares onde se fundamenta o pensamento transdisciplinar podem ser resumidos da seguinte maneira:

Admissão de diferentes níveis de realidade: a compreensão e conseqüente solução de um problema podem não ser obtidas se nos restringirmos a um único nível de realidade. Não se explica a trajetória de um projétil através da física quântica, do mesmo modo que o comportamento das partículas subatômicas que compõe esse mesmo projétil não pode ser explicado pela física newtoniana. Ao considerarmos esta situação aparentemente contraditória em mais do que um único nível de realidade ela pode ser compreendida e solucionada.

Adoção da lógica do terceiro incluído: a admissão de diferentes níveis de realidade permite que contradições identificadas em um dado nível de realidade possam ser conciliadas quando um dos elementos contraditórios possa ser ligado a um nível de realidade distinto. O

exemplo do projétil, acima, também ilustra a lógica do terceiro incluído.

Reconhecimento da complexidade do conhecimento humano: os princípios da lógica clássica exigem que cada fruto da interdisciplinaridade seja auto-explicável e constitua uma nova disciplina; também impõe que os efeitos das relações multidisciplinares sejam absorvidos pelas disciplinas envolvidas como agregações ao cerne já definido sem comprometer a sua consistência lógica. A complexidade daí derivada exige uma nova forma de pensamento para a aquisição de uma visão, pequena que seja, da totalidade do conhecimento, um pensamento que não se intimide com a complexidade, que admita e conviva com a incerteza, que se recuse a permanecer dentro da redoma disciplinar, que aceite integrar as visões parciais que cada disciplina propicia e, finalmente, que mantenha o rigor, esteja aberto à aceitação do desconhecido e seja tolerante nas divergências.

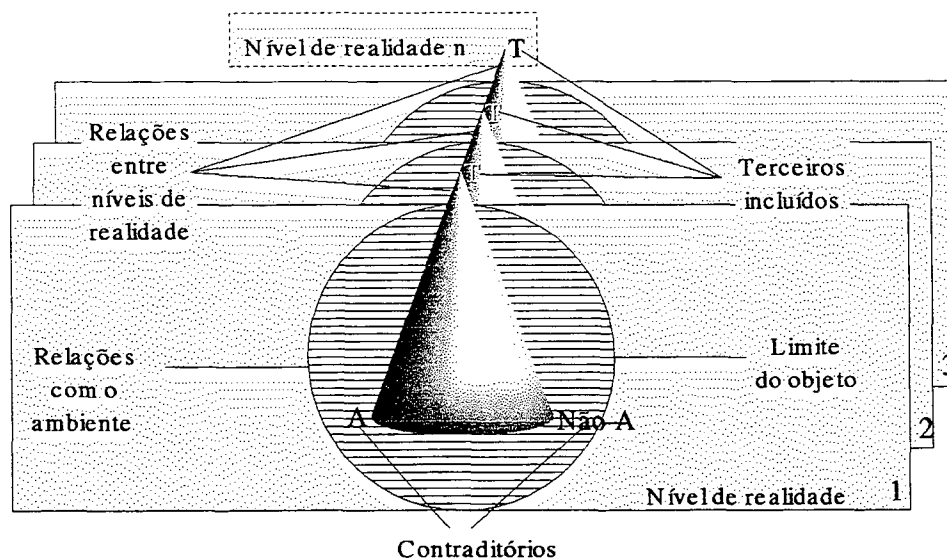


Figura 3 – Limites e o pensamento transdisciplinar

Na Figura 3, estão representados dois dos três pilares do pensamento transdisciplinar: os níveis de realidade e a lógica do terceiro incluído, esta, limitada a um

único par de contraditórios. O terceiro pilar, a complexidade, pode ser derivado da extensão dessa representação para o universo dos objetos com seus vários pares de contraditórios e terceiros incluídos relacionando-se com muitos e diferentes níveis de realidade.

Apesar de ainda não estar claro o potencial de influência do pensamento transdisciplinar sobre a análise e projeto de sistemas ou sobre o desenvolvimento de sistemas tutores inteligentes, a possibilidade de todas as abordagens aqui mencionadas, e outras mais, poderem ser consideradas e utilizadas sem preconceitos, dogmatismos ou sectarismos é animadora.

### 3 A EVOLUÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

No início do uso comercial de computadores as aplicações caracterizavam-se por ser meras reproduções do processamento de dados manual. Ao tratar dos estágios de desenvolvimento da função processamento de dados os pesquisadores Richard Nolan e Cyrus Gibson evidenciam esta situação nos primeiros estágios [Nolan & Gibson, 1974] e [Nolan, 1979]. Mesmo assim havia problemas de rejeição de sistemas, via de regra atribuídos ao pouco conhecimento da área computacional, então incipiente, como Gerald M. Weinberg deixa transparecer no prefácio que faz ao livro organizado por Parikh [Parikh, 1990].

Deixo de lado os primeiros usos do computador: científico e militar, dado que as características peculiares daquelas aplicações, em especial por tratar-se de aplicações baseadas em forte processamento quantitativo (cálculos balísticos e algoritmos matemáticos fortemente centrados em cálculos) as tornam inadequadas para os objetivos do trabalho.

A evolução tecnológica vertiginosa acompanhada, quando não induzida, pela evolução metodológica, ambas pressionadas pela diversificação do uso, resultou no amadurecimento dos processos computacionais sem que disso resultasse significativa redução da rejeição de sistemas.

Uma área onde há menor resistência a novas especulações teóricas, maior abertura a tentativas de aplicação de teorias exógenas é a da Inteligência Artificial. Desde os seus primórdios até agora, muitos dos avanços surgem dentro das áreas de aplicação, como a educação (Seymour Papert com o pioneiro LOGO) entre outras. Especular sobre a aplicabilidade das disciplinas que reconhecem a dinâmica das relações entre sistema e

ambiente, (dialética, semântica geral e a teoria dos sistemas) dentro da área de inteligência artificial, mais especificamente da sub-área de sistemas tutores inteligentes pode gerar o movimento inicial necessário para expandir sua aplicação, convencional ou não, no desenvolvimento de abordagens pedagógicas.

### 3.1 EVOLUÇÃO DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE E PROJETO DE SISTEMAS

Um dos primeiros livros sobre Análise de Sistemas tinha por título *Entrenamiento basico en analisis de sistemas* [Daniels & Yeates, 1972], onde o analista de sistemas era descrito como um ser superdotado com capacidade de identificar problemas, desenhar as soluções em todos os seus aspectos de organização, sistemas e métodos, propor estratégias de implementação e, finalmente implantar o sistema.

Desta época para cá, apareceu o livro *Reliable Software Through Composite Design*, [Myers, 1975] — até o início da década de 80 o *vade mecum* do desenvolvimento de software no Japão — além de diversas propostas de metodologia [Gane & Sarson, 1977]; [Yourdon & Constantine, 1978]; [De Marco & Plauger, 1978]; [Jackson, 1983]; [Page-Jones, 1985], entre outros. A preocupação central desses autores estava em organizar o trabalho de análise e projeto de sistemas de modo a facilitar atividades de manutenção. Apesar desses autores estabelecerem um papel para o utilizador em suas metodologias, não se nota a existência de processos visando garantir a obtenção de um retrato mais fiel das necessidades do usuário. Têm-se a impressão que para eles a questão da especificação adequada ainda não se colocava.

Uma grande dificuldade mencionada por James Martin em metodologia que desenvolveu juntamente com Clive Finkelstein [Martin & Finkelstein, 1981] estava justamente no estabelecimento das relações entre dados (estáveis) e processos (dinâmicos). Propunham a utilização da metodologia Engenharia da Informação como forma de definir relações entre dados e processos de forma a reduzir os problemas decorrentes e, em consequência, os custos de manutenção. Técnicos da IBM e PROCERGS adotaram a metodologia de Martin e Finkelstein e de sua experiência resultou um livro que manualiza a aplicação da metodologia [Kipper et al., 1993].

Uma preocupação maior com especificação e delimitação de sistemas aparece em Warnier dentro do que chamou **Lógica de Construção de Sistemas** [Warnier, 1982, 1985 e 1986], onde era notável a preocupação com a propriedade dos sistemas de evoluir junto com as mudanças da realidade. Seu trabalho ficou praticamente restrito à França e parte da Europa. No Brasil houve forte entusiasmo com Warnier por parte de uma empresa estatal de desenvolvimento de software e prestação de serviços de processamento de dados, a DATAMEC, que inclusive foi co–editora da obra de Warnier publicada no Brasil.

Kenneth Orr, que trabalhou com Warnier, publicou o livro *Structured Systems Development* [Orr, 1977] onde aplica o pragmatismo americano sobre a idéia de Warnier e reduzindo–a ao modelo de desenvolvimento baseado em estruturas de dados, que era a consequência da aplicação da lógica de construção de sistemas. Mais recentemente James A. Highsmith, discípulo de Orr, publicou o livro *Adaptive Software Development* [Highsmith, 2000], onde retoma preocupações de Warnier expressas nos livros acima mencionados e em outros, preocupado também com a adaptação dos sistemas à evolução da realidade.

Também aparece em 1984 o livro *Essential Systems Analysis* (publicado no Brasil em 1991) [McMenamin & Palmer, 1991], cuja grande preocupação foi estabelecer os requisitos verdadeiros dos sistemas obtendo assim uma especificação de qualidade. Como tem sucedido com muitas metodologias interessantes, a formalização do processo de eleição de requisitos adquire maior importância do que os fundamentos que devem ser conhecidos e aplicados para essa escolha. É mais difícil ensinar a pensar de modo independente sobre algum tipo de problema do que ensinar a preencher algum conjunto de formulários, tornando a identificação do problema como um mero resultado da aplicação burocrática dos formulários.

A análise essencial de sistemas tornou-se modismo no Brasil a partir de 1991, quando o livro de McMenamin foi traduzido e publicado, gerando inúmeros artigos em encontros e congressos regionais e nacionais [Picarelli, 1994]; [Moraes, 1994], apostilas de cursos [Palmer, 1994] e livro [Pompilho, 1994], todos enfatizando o aspecto formal da proposta de McMenamin (inclusive John Palmer, co-autor do livro original). A exceção ficou com o artigo **O usuário e a análise essencial** [Facó, 1992], onde o autor expressa sua satisfação por ter em mãos um instrumento que permite melhorar a qualidade da especificação com o apoio do utilizador, mas não vai além.

Estudos desenvolvidos nos países nórdicos [Lyytinen, 1987] concluíram que as metodologias para desenvolvimento de projetos de sistemas já haviam atingido um grau de maturidade suficiente para, a partir de uma especificação, projetar um sistema de qualidade. Ou seja, qualquer problema de rejeição de sistema estaria associado à qualidade da especificação e não de seu projeto.

Bertrand Meyer, em *Conception et Programmation par Objets* [Meyer, 1988] aborda rapidamente a evolução das linguagens de programação e menciona as vantagens que as linguagens orientadas a objetos têm em função da segregação que permite entre os processos (dinâmicos) e os dados (estáveis). O tratamento independente de dados e processos permite a reutilização de código com a conseqüente redução nos custos de desenvolvimento e, nos casos de mudanças nas necessidades dos utilizadores, que mudam os processos, simplificar o processo de manutenção, também reduzindo custos.

Em 1993 Horácio Oliveira Soares Neto, pesquisador e educador em metodologias, lançou o livro *Análise Vital de Sistemas* [Soares Neto, 1993], onde apresenta uma metodologia que reúne conceitos da Teoria Geral de Sistemas, Administração, Engenharia de Software, Engenharia da Informação, e revela influências da Lógica de Construção de Sistemas de Warnier. É um dos raros autores a usar expressamente e valorizar os conceitos da Teoria Geral de Sistemas, mesmo que explore pouco a questão dos limites.

Convém lembrar aqui o surgimento e a evolução da Engenharia de Software, fortemente marcada pelo livro de Roger Pressman, *Software Engineering – A Practitioner's Approach* [Pressman, 1982] que tem contribuído enormemente com a estruturação do conjunto de atividades implicadas no processo de desenvolvimento de software .

Ferramentas de apoio a projeto de sistemas organizam os processos de desenvolvimento, permitem o acompanhamento do conjunto de atividades que envolvem projetos desde os mais simples aos mais complexos e geram relatórios e documentos para avaliação do processo de desenvolvimento. Ferramentas de apoio ao desenvolvimento geram automaticamente a documentação. Esses valiosos instrumentos de apoio têm novas versões

continuamente sendo lançadas, sempre com importantes aperfeiçoamentos em relação às anteriores, absorvendo cada vez mais as tarefas de projeto não relacionadas com a criação.

### 3.2 EVOLUÇÃO DOS RECURSOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS PROJETOS DE SISTEMAS

Problemas decorrentes de implementação foram gradualmente sendo removidos com a evolução da tecnologia e das linguagens de programação e ferramentas de apoio a ponto de ter aparecido a afirmação de que os problemas de implementação estão equacionados: as metodologias e as ferramentas de apoio são capazes de gerar exatamente o sistema desejado; o que ainda não foi resolvido é como especificar claramente qual o sistema desejado. [Lyytinen, 1987].

#### 3.2.1 Tecnologia da Informação e Comunicação

Se no início do uso da informática os recursos tecnológicos disponíveis impunham restrições severas aos projetos em desenvolvimento, podemos dizer que hoje as dificuldades de adequação do projeto aos recursos tecnológicos deixaram de ser insuperáveis. A diversidade dos recursos computacionais e de comunicação disponíveis para os projetistas de sistemas permite uma virtual onipotência na implementação. Novos conceitos como conectividade, arquitetura cliente–servidor e interoperabilidade aliados aos custos decrescentes de processamento de instruções por minuto e de capacidade de armazenamento bem como dos avanços em organização e projeto de computadores permitem a adoção de soluções tecnológicas com relação custo/benefício economicamente sedutoras.

### 3.2.2 Linguagens de Programação

O nível de desenvolvimento a que chegaram as linguagens de programação atingiu alguns objetivos essenciais para evitar erros que comprometam a aceitação dos sistemas e custos de produção e de manutenção. Apoio à produção de código, poderosas ferramentas de depuração sintática e lógica, produção automática de documentação, maior independência entre procedimentos associados a dados e procedimentos associados a processos em consequência do uso de orientação a objetos, reaproveitamento de código, são alguns exemplos da evolução das linguagens e ferramentas de apoio à programação.

### 3.2.3 Tecnologia para armazenamento e recuperação de dados

Durante muitos anos Donald Knuth [Knuth, 1968, 1968a, e 1973] reinou imbatível e solitário na área de estruturas de dados, aos poucos (sempre baseados em Knuth), foram surgindo novos nomes: Aho, Hopcroft & Ullmann [Aho et al., 1974]; Niklaus Wirth [Wirth, 1976]; Robert Sedgewick [Sedgewick, 1988]; e Nívio Ziviani [Ziviani, 1993] e a importância do domínio e do aperfeiçoamento das estruturas de dados viabilizaram sofisticados gerenciadores de bancos de dados, pesquisas em textos não estruturados facilitando sobretudo as tarefas de armazenamento e recuperação de dados.

A tecnologia para armazenamento e recuperação de dados, que começou com arquivos seqüenciais vinculados à base operacional das organizações onde a extração de informações dependia da criação de programas específicos, evoluiu, após várias etapas intermediárias, para arquivos destinados exclusivamente à análise do negócio, com estruturas de dados que facilitavam a extração de informações através de sistemas de apoio à decisão e

sistemas de informações para executivos, hoje tem à disposição das áreas de tecnologia da informação o sistema de armazenamento *data warehouse*, o sistema de recuperação *data mining* e o sistema de pesquisa *knowledge discovery in database*, sendo que o último inclui o penúltimo.

O armazenamento de dados em um *data warehouse* é baseado em estruturas de dados não muito diferentes daquelas adotadas para sistemas de apoio à decisão ou sistemas de informações para executivos. A grande diferença aparece na sumarização e recuperação de dados através de *data mining*, uma técnica de recuperação que derivou de uma combinação entre estatística e inteligência artificial, cuja evolução até o estado atual dependeu fortemente do conceito de *machine learning*.

Maior independência em relação ao formato de armazenamento dos dados. Poderosas ferramentas de pesquisa baseadas em pressupostos aparentemente paradoxais: a identificação de estrutura naquilo que usualmente é não-estruturado. Possibilidades ilimitadas de recuperação de dados armazenados. Isso permite que o conceito de *Executive Information System* seja expandido para *Enterprise Information System*, evoluindo de um gerador de tabelas e gráficos pré-definidos para um fantástico sistema que permite ao executivo "ter a informação na ponta dos dedos" quase que literalmente.

### 3.3 A PARTICIPAÇÃO DO UTILIZADOR E AS METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DE SISTEMAS

Os primeiros estudiosos das metodologias de análise de sistemas já estabeleciam como premissa para projetar bons sistemas ter como base para a identificação de problemas e

projeto das soluções a vinculação desse processo ao processo de planejamento das organizações. As resistências oferecidas a essa vinculação sempre dificultaram a sua efetiva execução. A incorporação da análise do ambiente de inserção do sistema nas metodologias e uma maior convivência com sucessos e fracassos de sistemas desenvolvidos tem contribuído para diminuir as resistências.

A identificação de problemas com a participação dos potenciais utilizadores do novo sistema tem evoluído bastante. A técnica *Joint Application Design*, vem sendo adotada como importante componente de várias metodologias lançadas nos últimos anos (Análise Essencial de Sistemas, Análise Vital de Sistemas, Engenharia da Informação). Também as ferramentas de modelagem usadas para representar o sistema atual e facilitar a identificação de problemas, como os consagrados Diagramas de Fluxo de Dados e Modelo Entidade Relacionamento, dependem cada vez mais da participação do utilizador para seu melhor aproveitamento.

Já não se concebe uma metodologia que não leve em conta a participação dos utilizadores no desenvolvimento muito além do levantamento inicial do problema.

### 3.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS

As dificuldades em desenvolver linguagens, criar novos paradigmas, colocou a área de Inteligência Artificial em um caminho paradoxalmente paralelo e divergente em relação ao desenvolvimento convencional. Paralelo porque muitas das questões já resolvidas tinham de ser novamente analisadas e resolvidas em função dos novos paradigmas; divergente porque os novos paradigmas impunham soluções impossíveis para o desenvolvimento convencional.

Com relação à preocupação com limites o paralelismo se manteve. Assim como na literatura voltada para o desenvolvimento convencional, não se percebe na literatura mais geral de inteligência artificial a existência de preocupações com a relação entre ambiente e sistema, o espaço de definição de limites em sistemas.

Mais especificamente, na área de sistemas tutores inteligentes, as linguagens e ferramentas de autoria existentes não incluem nenhuma consideração explícita à questão de limites do ponto de vista de alguma filosofia ou teoria específica, muito menos dos limites que as interfaces dos sistemas tutores inteligentes gerados são capazes de atingir ou devam respeitar.

Dissertações de mestrado recentes na área de sistemas tutores inteligentes [Pietruchinski, 2001] e [Quaquarini, 2000] descrevem ferramentas e linguagens bastante adequadas à criação de um sistema tutor inteligente destinado ao ensino de conceitos visuais.

Essas ferramentas e respectivas linguagens, porém, não consideram a possibilidade de interfaces inteligentes em sistemas tutores inteligentes, capazes de se adaptar às necessidades e limites de cada indivíduo em uma relação indivíduo-sistema de longo prazo. Essas ferramentas também não oferecem a oportunidade de planejar melhor os limites de comportamento da própria interface.

Importantes artigos de Tom Murray [Murray, 1998] e [Murray, 1999], esmiuçam a área de linguagens e ferramentas de autoria para sistemas tutores inteligentes, ordenam, classificam e estabelecem as bases para uma compreensão mais sistematizada da produção. No primeiro artigo há a preocupação em mostrar o que são sistemas tutores inteligentes,

mostrando em exemplos os conceitos estabelecidos. No segundo artigo, há nítida preocupação taxonômica, além da identificação do estado da arte em sistemas de autoria. Tom Murray, pelos títulos de seus artigos (dos aqui mencionados e outros referidos em diversos trabalhos consultados) assumiu o papel de grande organizador na área de sistemas de aquisição de conhecimento com finalidade pedagógica.

Uma classificação dos tipos possíveis de sistemas tutores inteligentes, derivada da apresentada por Murray [Murray, 1999], está apresentada a seguir:

- autoria de parâmetros de simuladores;
- autoria de fatores de diagnóstico;
- autoria por meio de demonstração da solução de problemas;
- propostas de arquiteturas de autoria para sistemas cooperativos (ou de mediação do trabalho/estudo entre humanos).

Independente do tipo de sistema tutor inteligente percebe-se que em suas descrições ou em exemplos de aplicações as referências à idéia de ajustar o sistema aos limites do utilizador, quando aparece, não considera o estudo das fronteiras entre o sistema e o ambiente para a sua definição.

Possibilidades de ajuste do sistema aos limites do utilizador aparecem ligadas ao desenvolvimento da intuição [Baylor, 2001].

O uso da Internet como meio de disseminar conhecimento, aliado ao fato de que a

produtividade do aprendizado é tão maior quanto menor a quantidade de alunos por professor, justifica o uso de sistemas tutores inteligentes na grande rede [Alpert et al., 1999]. Nesta mesma linha, aparece o estudo do comportamento dos alunos na formulação de questões e os efeitos do aprendizado assistido quando são usados sistemas tutores inteligentes [Craig et al., 2000]. *"The necessary updating of professional skills, the existing dissatisfaction with many educational systems and the aspiration for personal development call for more individualised education and training. Network and Web technologies are now available to provide education and training nearly anywhere at any time."*<sup>7</sup> [Grandbastien, 1999].

A aplicação de sistemas tutores inteligentes para modelagem de atividades cooperativas [Burton et al., 2000] vem sendo estudado com intensidade, dadas as grandes possibilidades de aumento da produtividade desses trabalhos.

O crescente aumento de dispositivos que podem ser utilizados juntamente com sistemas e computadores já justificou trabalhos de relacionamento entre aplicações e dispositivos de acordo com a maior ou menor adequação entre eles [Collins et al. 2000]. É interessante também observar a busca de aplicações a partir de uma nova tecnologia, como é o caso da interface tátil [Srinivasan & Basdogan, 1997] vista como grande promessa para treinamento de habilidades manuais (cirurgia e telemedicina) entre outras possibilidades.

---

7 "A necessária atualização das habilidades dos profissionais, a manifesta insatisfação com muitos dos sistemas educacionais, e o anseio pelo desenvolvimento pessoal estão exigindo uma abordagem mais individualizada para a educação e treinamento. As tecnologias de rede e a Internet estão agora disponíveis para prover treinamento e educação em qualquer lugar e a qualquer tempo."

A complexidade em sistemas de treinamento com alta demanda cognitiva para o utilizador e a dificuldade dos sistemas compreender os limites e limitações desse utilizador também é objeto de estudo e pesquisa de instrumentos para diminuir os problemas daí decorrentes na área de radiologia médica [Direne, 1997].

Na mesma área, de radiologia médica, estudos sobre o jargão específico da área são realizados para avaliar a possibilidade de seu uso melhorar a comunicação homem-computador [Hinkley et al., 2001].

O projeto de interfaces tem tido várias ferramentas de apoio, mas a partir da interface pronta, não há muita flexibilidade para melhor adequá-la ao utilizador. Ferramentas para projeto de interfaces que permitam ao utilizador a sua customização vem sendo pesquisadas [EL-SAID et al., 1997]. A justificativa está em que o utilizador melhora sua produtividade quanto mais a interface é amigável e adaptável.

Outra questão na área diz respeito ao uso de interfaces. Em um estudo, seis tipos de interfaces são estudados e comparados quanto à sua aceitação pelos utilizadores [HU, 1999] concluindo que a forma de representação das informações influi fortemente na apreensão e na satisfação do utilizador. Em outro estudo [Höök, 2001] aparece a conclusão de que interfaces adaptáveis exigem menos esforço para o aprendizado que interfaces fixas. A repetição de estruturas em diálogos entre estudantes durante o processo de aprendizado [Kneser et al., 2001], [Pilkington, 2001] e [Ravenscroft, 2000] permite aprender mais sobre cada um e intervir para melhorar a troca de informações.

A percepção dos processos de aprendizado do utilizador constitui-se em forte

diferencial para a qualidade da absorção do conhecimento, seja pela retenção, seja pela rapidez. A discussão sobre ferramentas cognitivas [von Joolingen, 1999] que descubram este processo de aprendizado vem ganhando importância pela perspectiva dos resultados a obter. Em paralelo a isso, há pesquisas sobre o comportamento de utilizadores de gerenciadores de bancos de dados (na Internet ou fora dela) para identificar em um utilizador específico, características que possam melhorar o desempenho em futuras pesquisas [Xie & Cool, 2000].

Outra discussão corrente na área é sobre como aumentar o potencial das ferramentas de autoria através da combinação entre elas [Sparks et al., 1998]. As ferramentas para desenvolvimento de sistemas educacionais assistidas por computador são genéricas e flexíveis enquanto que os sistemas tutores inteligentes são mais centrados em seu objetivo. Combinar essas características, através de uma ferramenta que permita construir processos que envolvam aprendizado, exploração e prática, pode produzir significativos ganhos no aprendizado.

Apoio inteligente ao utilizador de software [Virvou, 1999], apoio inteligente ao desenvolvimento de componentes didáticos [Tecuci & Keeling, 1999] e incorporação de componente que aprenda com o autor em ferramentas de autoria [Virvou & Mondridou, 2001] são outras aplicações que aparecem em artigos de publicações especializadas.

Em praticamente todas as aplicações mencionadas nos parágrafos acima, vê-se que o estudo da área de contato entre sistema e ambiente limita-se à customização da interface entre o aprendiz e o sistema, em especial do formato da área de trabalho através de recursos de parametrização. O que não se percebe é a existência de estudos ou pesquisas sobre o estabelecimento de limites dinâmicos que considerem uma relação de mão-dupla entre o

aprendiz e o sistema: o aprendiz utiliza o sistema para alcançar seus objetivos de conhecimento e o sistema sonda o aprendiz a respeito de particularidades em seu perfil que possam influenciar o rendimento do aprendiz. É evidente que incorporar nos sistemas tutores inteligentes essa funcionalidade somente irá aduzir força, sem desfigurar o que já está feito.

### 3.5 A FORMAÇÃO DOS DESENVOLVEDORES DE SISTEMAS

Há uma aparente contradição entre a demanda por formação rápida de analistas de sistemas e a necessidade de um mergulho nos saberes disciplinares.

É muito mais rápido formar seguidores burocráticos de metodologias com forte concentração na formalização do processo e contar com o esforço individual de cada estudante para complementar os fundamentos do que trabalhar o aprendiz dos fundamentos e, a partir destes, habilitá-los a usar as metodologias com conhecimento de sua necessidade e utilidade.

A discussão sobre a dinâmica das relações entre ambiente e sistema não tem uma literatura específica. Deriva-se algumas coisas de estudos em filosofia, na literatura sobre novas disciplinas como a Semântica Geral, a Teoria Geral dos Sistemas e o Pensamento Transdisciplinar e de alguma literatura sobre metodologia de análise e projeto de sistemas cujos autores preocupam-se em mostrar alguns fundamentos disciplinares.

Há uma urgente necessidade de explorar o conceito de limites dentro dessa base de conhecimento, estabelecendo suas associações com objetivos e ambiente, construindo uma

fundamentação teórica fora dos manuais de informática para a sustentação de um estudo profundo das relações entre ambiente e sistema e com isso obter o conhecimento necessário para se projetar um sistema flexível, que responda rapidamente às influências da dinâmica do ambiente e que tenha uma defasagem aceitável por seus utilizadores finais.

Uma tarefa inadiável é a de organizar e consolidar essas referências esparsas ,tarefa parcialmente cumprida por esta dissertação, quando resgata saberes filosóficos e disciplinares para construir a sua própria fundamentação.

Fundamentação em filosofia, conhecimento do método dialético, formação em modelagem baseada na semântica geral, compreensão das características dos sistemas e abertura para uma visão transdisciplinar devem ser as características desejáveis de um profissional desenvolvedor de sistemas.

### 3.6 O PONTO CRUCIAL

Toda a evolução histórica da tecnologia da informação e da comunicação para a produção de sistemas de informação, não reduziu as elevadas taxas de rejeição de sistemas.

Mesmo tendo ferramentas poderosas para análise de sistemas, o seu resultado, a especificação do novo sistema, acaba por comprometer o resultado final.

A principal suspeita recai sobre a ainda frágil e pouco aplicada análise das relações entre o ambiente e o sistema que pode permitir o estabelecimento dos limites operacionais do sistema com mais correção e segurança e, principalmente, pode permitir a identificação de variáveis que, mesmo estando fora dos limites operacionais do sistema, influenciam as relações entre ele e o ambiente.

Do mesmo modo percebe-se que, na aplicação dos conhecimentos de IA ao processo de aprendizado há pouca evolução na melhor percepção do aprendiz. São intensos os esforços no aperfeiçoamento da interface entre o aprendiz e o sistema, mas não são perceptíveis esforços na direção da aplicação de um processo de sondagem das características do aprendiz para melhor conduzir a relação entre este e o sistema.

O estudo desenvolvido sobre a evolução do pensamento em torno da questão de limites nos traz várias oportunidades de reflexão.

Uma delas nos leva a acreditar que o pragmatismo da sociedade dos EUA reflete-se na percepção meramente formal das metodologias, deixando pouca margem para os fundamentos filosóficos e disciplinares envolvidos. A aplicação das metodologias, que são resultados de processos elaborados de pensamento, envolve conhecimentos que ultrapassam muito o simples preenchimento dos formulários (em grande parte eletrônicos, com sofisticados sistemas de apoio), mas acabam ficando, na maioria das vezes, restritas a essa atividade burocrática. Esse pragmatismo acaba revelando-se na forma de apresentação da literatura sobre metodologias, onde a formalização dos processos normalmente ganha mais espaço que a discussão dos fundamentos disciplinares necessários à sua aplicação. Como o grande mercado para metodologias de análise e projeto de sistemas são os EUA, os próprios

autores europeus, apesar de menos pragmáticos, rendem-se aos aspectos formais de suas metodologias para penetrar no mercado editorial dos EUA. No Brasil, a influência deste pragmatismo é dominante, com a mesma conseqüência de aplicação meramente formal das metodologias.

Outra reflexão nos transporta para as relações entre o aprendiz e o sistema tutor inteligente. Para sua evolução a inteligência artificial foi obrigada a romper paradigmas do desenvolvimento convencional, seja em termos de métodos de análise e projeto, seja em termos de ferramentas de programação. Isso porém não foi suficiente e, mesmo com os impressionantes resultados que vêm sendo obtidos pela aplicação de seus conceitos, em especial na questão de interfaces, vemos que ainda predominam os paradigmas do desenvolvimento convencional.

#### **4 POTENCIALIDADES DO CONCEITO DE LIMITES NO ÂMBITO DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES**

O desenvolvimento de linguagens e ferramentas de autoria para sistemas tutores inteligentes tem experimentado progresso significativo nos últimos dez anos apenas. Várias abordagens têm sido tentadas para resolver o problema da multiplicidade de perfis de aprendizes. Mônica Pietruchinski apresenta em seu trabalho [Pietruchinski, 2001] uma bastante completa resenha sobre o atual estágio de construção de modelos e métodos de modelagem destes perfis.

Percebe-se que há claro reconhecimento por grande parte dos pesquisadores na área das dificuldades impostas pela dinâmica da evolução do perfil do aprendiz desde o início de sua relação com o sistema tutor. Também é notável a existência de um certo desconforto com as limitações que os métodos adotados para individualizar o aprendiz apresentam. Um exemplo destes limitações é o sincronismo de longo prazo.

Enfim, a questão da definição de perfis de aprendizes é ainda um campo em aberto, mesmo considerando a grande qualidade e inventividade envolvidas nas soluções em uso.

Por outro lado, apesar de haver garimpagem nos vários campos de pesquisa envolvendo multiplicidade de perfis, uma área de conhecimento não tem sido explorada com essa finalidade: as visões disciplinares não-aristotélicas aplicadas à análise da dinâmica das regiões de contato entre os sistemas e o ambiente — aquela região que fica "ao redor dos sistemas".

Somente a percepção dessa ausência não justifica a crença (ou talvez justifique

somente a crença) de que nela se encontra o fechamento da questão dos perfis de aprendizes. Seria ingênuo e até infantil pensar desse modo. Ocorre, porém, que já são muitos os cientistas que justificam a evolução de seu conhecimento pela ruptura com a visão aristotélica. Podemos citar Heisenberg e Einstein na física, Lovelock na genética, Maturana na biologia, Lovell na astronomia e muitos outros [Capra, 2001].

Desse modo vale a pena investigar as possibilidades que a aplicação desses saberes disciplinares podem trazer para a questão da multiplicidade de perfis de aprendizes.

Uma forte possibilidade de aplicação desses saberes aparece na atividade de planejar e produzir (autorar ou editar) os limites das diretrizes pedagógicas de um sistema tutor inteligente, aumentando a precisão da definição das múltiplas capacidades da perícia humana que o sistema deverá ajudar a desenvolver.

Sem a pretensão de, neste trabalho, cobrir todas as possibilidades de aplicação do conceito de limites, é adequado e viabilizador restringir a sua aplicação (e essa também é uma aplicação do conceito) à descrição de funcionalidades de uma ferramenta de autoria que contemplem o conceito, de modo a permitir monitorar a evolução das capacidades da perícia humana aplicadas à definição de conteúdos e limites na geração de um sistema tutor inteligente. Note-se que também aqui os resultados acabam por ser obtidos no longo prazo, pela interação continuada entre utilizador e ferramenta de autoria.

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO DE PERFIS DE APRENDIZES

Nas grande maioria das abordagens de tratamento dos perfis de aprendizes

avaliadas neste trabalho, a definição do perfil tem sido sistematicamente alocada como um módulo rígido ou, quando muito, um módulo com alguma flexibilidade que informa ao aprendiz como o sistema o vê e pode receber algumas modificações por parte do próprio aprendiz, em termos de sua posição relativa aos atributos pré-estabelecidos. No campo de Sistemas Tutores Inteligentes, esta situação é conhecida como sendo da sub-área de *inspectable student models*<sup>8</sup> [Bull, 1995; Zapata-Rivera, 2002].

Na contra-mão dessa abordagem, adotando o princípio do relacionamento universal da dialética, reafirmado no conceito de sinergia da teoria dos sistemas, podemos pensar que o sistema pode 'aprender' o aprendiz através das relações que se estabelecem, aproximando mais o 'mapa' da semântica geral do 'território', para que um autor de curso possa corrigir o estado de seus alunos por meio do sistema. Transfere-se, deste modo, parte da responsabilidade pela definição (ou refinamento) do perfil para os processos intermediários de autoria, para a própria relação entre o aprendiz e o autor, por meio do sistema tutor. Assim como a mente humana, sistemas especialistas têm de obter informações da realidade e transformá-las em regras que possam ser aplicadas em casos assemelhados, fazendo com que a construção e o refinamento de perfis seja de responsabilidade do professor humano.

Na base de tudo isto está o tipo do aprendiz. E na base dos tipos estão os arquétipos, estereótipos e protótipos, cujo estado inicial deve ser definido pelo autor, que é o conhecedor da 'clientela' para o tutor em preparo. O refinamento desses meta-modelos de tipos depende da observação do autor em relação ao comportamento mais freqüente (moda, em estatística), dos aprendizes que se utilizam do tutor ou a identificação do elemento típico.

---

<sup>8</sup> Modelos de estudante inspecionáveis.

As técnicas desenvolvidas para trabalhar com perfis de aprendizes têm buscado trabalhar no plano da autoria, oferecendo ao autor a possibilidade de estabelecer múltiplos modelos de perfis, diminuindo assim as distâncias entre o aprendiz e o modelo que o representa.

É proposta deste trabalho, sem retirar do autor de curso a autoridade (ele deve permanecer com a última palavra no refinamento dos perfis), melhorar a exploração dos perfis individuais no acompanhamento das relações entre o aprendiz e o sistema tutor. Ou seja, adotar os utilizadores (professor e aluno) como foco para o desenvolvimento do software.

Para explorar as potencialidades dessa abordagem, o melhor campo de aplicação são os sistemas tutores inteligentes, que, pela sua própria definição (ver página 3, primeiro parágrafo), obtém informações sobre os aprendizes durante a interação.

Quanto ao autor de curso, responsável pelo refinamento dos diversos recursos de meta-modelagem, o foco no utilizador pode apurar sua observação agregando informações sobre os limites do desenvolvimento das capacidade dos aprendizes.

Uma conclusão que emerge da literatura consultada é que pode-se atingir o objetivo cominado de vários modos, cada qual com suas demandas de conhecimento e experiência. A aquisição de experiência requer tempo (longo prazo), para que a aquisição do conhecimento se transforme em esforço concentrado da formação de perícia. O tempo é o fator limitante no caso. Escolher um caminho no qual haja uma fonte de experiência de onde beber para acelerar o processo da sua aquisição é medida sábia.

Considerando que as dissertações de Mônica Hoeldtke Pietruchinski [Pietruchinski,

2001] e de Sérgio Quaquerini [Quaquerini, 2000], orientadas pelo Prof. Alexandre Direne têm abordagem de especificação baseada em múltiplas capacidades da perícia humana, inclusive havendo a possibilidade de segregar cada perícia através do conceito de capacidades isoladas de perícia, podemos assumir que há experiência acumulada no Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná para dar suporte a um trabalho com esse objetivo.

A partir do domínio do conhecimento e da aquisição de experiência, será possível trabalhar com a definição de limites baseando-se nas múltiplas capacidades da perícia humana. Para exemplificar: em radiologia médica, algumas das capacidades isoladas da perícia que foram identificadas nos trabalhos de Mônica e Sérgio [op.cit.] são:

- (a) Mapeamento visual bidimensional para tridimensional: o especialista vê uma radiografia (bidimensional) e automaticamente monta um modelo mental tridimensional;
- (b) Rapidez exigida para a formulação do diagnóstico; a identificação das anormalidades primária e secundárias deve ocorrer em tempo mínimo;
- (c) Vocabulário técnico;
- (d) Diagnóstico diferencial: devem ser consideradas mais do que uma anormalidade já que não existe possibilidade de discriminar as características do caso em questão apenas com a imagem obtida;
- (e) Identificação de características discriminatórias entre duas ou mais anormalidades facilmente confundíveis;

- (f) Memorização e recuperação orientadas por aspectos peculiares do que é anormal.

Todas as perícias acima são estabelecidas em termos de intervalos de parâmetros por classe de aprendizes. A monitoração das ultrapassagens de limites e a informação dessas ao autor do curso podem constituir uma poderosa fonte de informações, seja para melhorar o planejamento psico-pedagógico do ensino, seja para aprimorar os meta-modelos utilizados para os múltiplos perfis.

Essa abordagem representa um grande desafio técnico, mas o que é o desenvolvimento científico senão um contínuo processo de superação de dificuldades desafiadoras?

#### 4.2 UMA VISÃO DE ARQUITETURA PARA ESSA ABORDAGEM

A especificação de uma ferramenta de autoria de sistema tutor inteligente e de suas características: linguagem e plataforma de software, com a aplicação de visões disciplinares não-aristotélicas, permite melhorar a definição dos limites de comportamento dos utilizadores através do monitoramento da região de contorno do aprendiz em relação ao ambiente de estudo. Aparece também como necessária a geração de mecanismos de software para garantir o monitoramento desses limites.

Na figura 4, abaixo, está representada a arquitetura do sistema RUI, um projeto criado para o trabalho de doutoramento do Prof. Alexandre Direne, aperfeiçoado pelos trabalhos de pesquisa de Mônica e Sérgio [op.cit.] e na pesquisa de pós-doutoramento de seu criador. No ambiente RUI, a autoria está representada em dois níveis de abstração, o Nível Conceitual e o Nível de Produção.

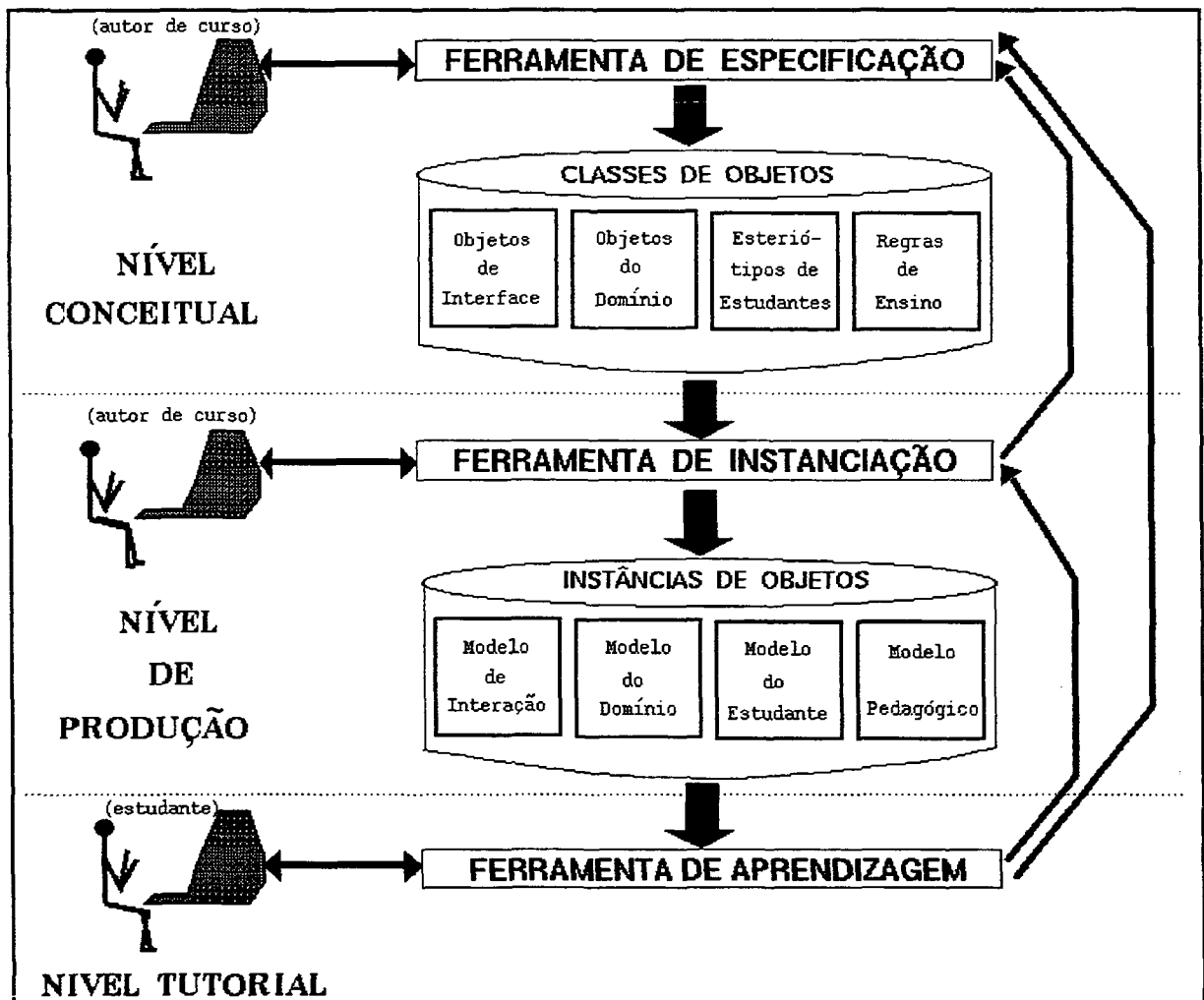


Figura 4 – Arquitetura do ambiente RUI

Se nos concentrarmos somente nos aspectos associados aos aprendizes, o foco deste trabalho na questão de sistemas tutores, olharemos somente para, no Nível Conceitual, estereótipos de estudantes e, no Nível de Produção, para modelos concretos (individuais) de estudante.

No Nível Conceitual são geradas as definições de meta-modelos de aprendiz a partir de uma meta-linguagem. Nesse caso, o meta-modelo de aprendizes pode ser visto como descrições de classes de aprendizes, baseadas na expectativa de desenvolvimento de capacidades de perícia. Como exemplo podemos mencionar a decisão de um autor de curso criar uma classe de residência médica para cada ano de treinamento. Isso é uma meta-modelagem de residentes de primeiro ano (R1), residentes de segundo ano (R2) e residentes de terceiro ano (R3).

No segundo nível de autoria, Nível de Produção, o processo de descrição se concentra na criação de modelos individuais iniciais de cada aprendiz. Sendo assim, por exemplo, a criação de um modelo individual inicial de residente de primeiro ano (ver parágrafo anterior) seria equivalente a marcar um ponto no espaço de possibilidades de descrição de uma classe de aprendiz (classe R1 ou R2 ou R3).

Esse exemplo de arquitetura corrobora o dito no final da seção anterior a respeito das possibilidades de refinamento das definições de classes ou de modelagem individual a partir do monitoramento do comportamento dos aprendizes em relação aos limites estabelecidos para cada perícia dentro de cada classe/estereótipo criado.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo fornece um retrospecto das principais contribuições do trabalho e aponta diretrizes futuras de pesquisa.

São inúmeros os impactos positivos que podem decorrer da aplicação do conceito de limites ao desenvolvimento convencional de sistemas e também ao desenvolvimento de Sistemas Tutores Inteligentes.

### 5.1 CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS CONVENCIONAIS

No plano dos sistemas convencionais vimos que alguns estudiosos de metodologias para análise e projeto de sistemas adotaram princípios não-aristotélicos como fundamentos de seus métodos e conseguiram alguns avanços, entretanto exploraram pouco a questão da dinâmica das relações entre ambiente e sistema. Investir nesse caminho certamente modificará o cenário desolador da rejeição dos sistemas, contribuindo com alguma redução em seus elevados índices.

É esperado que a resistência e apatia dos executivos e, por conseqüência, dos profissionais de produção de tecnologia da informação persista, mas com certeza será abalada, pois menos razões acobertarão essa atitude.

Por tratar-se de uma proposta de pautar de uma forma diferente um elemento sempre considerado importante para o sucesso do desenvolvimento de um sistema, as suas relações com o ambiente, a sua repercussão, se houver aceitação nos meios acadêmicos, acabará por surtir algum efeito somente quando as pessoas contaminadas pela nova visão chegarem ao mercado.

De uma forma pontual, pode-se pretender atingir empresas e empresários tanto do lado da produção como do uso de tecnologia da informação e da comunicação e, se as estatísticas disponíveis sobre custos de desenvolvimento e manutenção de sistemas e prejuízos com a rejeição total e parcial de sistemas conseguirem sensibilizá-los, pode-se obter resultados mais rápidos.

Em relação à herança computacional, um maior domínio sobre a região de contorno dos sistemas melhora a perspectiva de intervir sobre os sistemas existentes (manutenções adaptativas ou evolutivas) antes que as diferenças entre estes e a realidade levem os custos dessa intervenção a níveis tais que a inviabilizem.

Em relação ao desenvolvimento de novos sistemas convencionais, poderemos atender às esperanças de Warnier projetando sistemas capazes de evoluir de acordo com as exigências da realidade sem grandes investimentos adicionais.

## 5.2 CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

A aplicação do conceito em uma área pouco dada a preconceitos, como é a área de Inteligência Artificial em geral e de Sistemas Tutores Inteligentes em particular pode produzir

o efeito cipó-de-arueira (voltar no lombo de quem mandou dar) em relação à área convencional de desenvolvimento de sistemas.

É estimulante trabalhar em uma área onde há grandes espaços para a criação e a utilização de novos paradigmas. Contribuir para melhorar o desempenho de sistemas voltados à educação, ao treinamento e à pesquisa foi o tema central deste trabalho.

Também ressalto como contribuição deste trabalho, o aspecto de continuidade que ele pode adquirir, seja pela implementação das funcionalidades descritas, seja pela extensão da metodologia para outras áreas de aplicação dentre as tantas referidas no seu corpo.

Creio, porém, que principalmente deve-se obter benefícios nas aplicações ligadas ao desenvolvimento de sistemas tutores inteligentes, dado que a utilização do conceito de limites pode melhorar o controle seja do processo de aprendizagem, seja do processo de pesquisa, através do monitoramento dos limites de operação do sistema. Isto poderia contribuir para evitar ou diminuir problemas tradicionais da aquisição de conhecimento prático (perícia) na solução de problemas, tais como a super-generalização (classificação de contra-exemplos como exemplos), sub-generalização (classificação de exemplos como contra-exemplos), e outros tipos de erros múltiplos.

Como impacto negativo podemos considerar a necessidade de grande aumento da carga cognitiva exigida durante o processo de autoria. É como se demandássemos especialistas em especialidades (ou meta-especialistas) para desenhar os limites por meio de ferramentas que, por sua vez, deverão desenhar os limites do sistema tutor inteligente. Esta última, na mesma cadeia sistêmica, propagaria a manutenção de tais limites para os

estudantes.

Dentre tantas possibilidades de pesquisas e trabalhos associados aos resultados desta dissertação, destaco algumas:

Uma avaliação em maior profundidade do processo de aprendizado de estudantes na aquisição de diferentes capacidades de perícia, identificando os mecanismos de construção do erro e do acerto. Há grandes possibilidades de identificação de perícias em campos paralelos de conhecimento que contribuem para facilitar a solução de problemas. Também pode-se concluir que a falta dessas perícias geram dificuldades como erros ou demoras no aprendizado. Prover os sistemas tutores inteligentes de capacidade adaptativa para não tornar-se um estorvo ao aprendizado daqueles que têm maior capacidade de solucionar os problemas. Da mesma forma, adicionar processo de aprendizado de habilidades paralelas constitui um complexo campo de pesquisa.

Finalmente, a implementação das funcionalidades adicionais em uma ferramenta de autoria constitui uma tarefa hercúlea, exigindo um esforço de investigação sobre inúmeras situações em busca da melhor solução.

### 5.3 TRABALHOS FUTUROS

Podemos antever possibilidades em permitir que um autor crie elementos da interface de um sistema tutor que sejam apropriadas para o desenvolvimento de uma ou outra capacidade (vocabulário técnico ou mapeamento visual, por exemplo). Nesse caso também o Gerente de Interface de Usuário de um sistema tutor deveria ter sua inteligência baseada

fundamentalmente em decidir, para um dado instante do ensino, quais elementos e limites configurariam a interface do aprendiz. Isto seria feito com base em uma relação complexa, porém genérica, entre duas estruturas:

(a) o perfil atual das capacidades do aprendiz (em percentual do máximo); e

(b) o quão apropriado é um objeto de interface para desenvolver uma capacidade.

É no módulo Gerente de Interface de Usuário do sistema tutor que deve existir a possibilidade de se extrair informações a respeito do comportamento do aprendiz. Isto serviria para realimentar o autor do sistema tutor no processo de criação do material de ensino, refinar o perfil do usuário e melhorar as definições dos perfis de referência, incluindo a alteração manual de limites percentuais das diferentes capacidades de um perfil..

Até que se confirme a suposição de que essa forma melhora o processo de aprendizagem com uso de sistemas tutores, convém fixar-se na maneira mais simples de implementar a idéia para só então buscar formas mais complexas de extração de informações (*machine learning*) ou processos mais sofisticados de realimentação do autor (parte automática, parte interativa).

Uma entropia em sistemas tutores que nem sempre é detectada a tempo de uma correção oportuna é a ocorrência de desequilíbrios no fluxo de produção e consumo de material de ensino distribuído pelos autores aos aprendizes, em especial em situações onde um mesmo sistema tutor abriga múltiplos aprendizes e múltiplos autores.

O módulo Gerente de Interface de Usuário, nesse caso, poderia contar com um

componente que execute o monitoramento constante do fluxo de material de forma independente de domínio.

Também nesse caso, a sofisticação precoce pode representar investimento de pesquisa sem precedentes de complexidade. Sendo assim, convém fazer uma implementação o mais simples possível, em primeiro lugar, para comprovar a agregação de valor, em uma relação de apenas um autor para um aprendiz . Só então, extensões de implementação para múltiplos autores e aprendizes seria justificada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHO, Alfred V.; HOPCROFT, John E.; ULLMANN, Jeffery D. *The Design and Analysis of Computer Algorithms*. Massachusetts : Addison–Wesley, 1974.
- ALPERT, Sherman R.; SINGLEY, Mark K.; FAIWEATHER Peter G. *Deploying Intelligent Tutors on the Web: An Architecture and an Example*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 10, p. 183–197, 1999.
- ALPHAVILLE Une etrange Aventure de Lemmy Caution. Jean–Luc Godard. Paris : Pathé, 1965. 99 minutos : legendado, branco e preto ; 35 mm.
- ARISTÓTELES. *Organon I – Categorias e II – Periérmeneias*. 2. ed. Lisboa : Guimarães Editores, 1985.
- \_\_\_\_\_. *Organon III – Analíticos Anteriores*. 2. ed. Lisboa : Guimarães Editores, 2001.
- BAYLOR, Amy L. *A U-shaped Model for the Development of Intuition by Level of Expertise*. *New Ideas in Psychology*. Londres, v. 19, p. 237–244, 2001.
- BERTALANFFY, Ludwig von. *General System Theory*. New York : George Braziller, 1998.
- BULL, Susan; PAIN, Helen. *Did I say what I think I said, and do you agree with me? Inspecting and questioning the student model*. *Proceedings of World Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED–95)*. p. 124–131, 1995.
- BURTON, Mark; BRNA, Paul; PILKINGTON, Rachel. *Clarissa: A Laboratory for the Modelling of Collaboration*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 11, p. 79–105, 2000.

CAPRA, Fritjof. **A Teia da Vida**, 5. ed. São Paulo : Cultrix, 2001.

COLLINS, Allan; NEVILLE; Peter, BIELACZYK, Katerine. *The Role of Different Media in Designing Learning Environments. International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 11, p. 144–162, 2000.

CRAIG, Scotty D.; GHOLSON, Barry; VENTURA, Matthew; et al. Overhearing Dialogues and Monologues in Virtual Tutoring Sessions: Effects on Questioning and Vicarious Learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 11, p. 242–253, 2000.

DANIELS, A.; YEATES D. *Entrenamiento basico en analisis de sistemas*. 1 ed. Buenos Aires : Prolam S.R.L., 1972.

DE MARCO, Tom; PLAUGER, P. J. *Structured Analysis and Systems Specification*. 1 ed. Nova Yorque : Yourdon–Press, 1978.

DIRENE, Alexandre Ibrahim. *Designing Intelligent Systems for Teaching Visual Concepts. International Journal of Artificial Intelligence in Education. Leeds*, v. 8, p. 44–70, 1997.

EL–SAID, M. G. et al. *Addi: A Tool for Automating the Design of Virtual Interfaces. Computers & Graphics*. Londres, v. 21, n. 1, p. 79–87, 1997.

ENGELS, Friedrich. **Ludwig Feuerbach e o fim da filosofia clássica alemã** (1885). In: MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. **Obras Escolhidas**, Volume III. Rio de Janeiro : Editorial Vitória, 1963. p. 169–207.

FACÓ, Cláudio. **O Usuário e a Análise Essencial**. São Paulo : I Encontro IBPI, 1992.

- FEUERBACH, Ludwig Andreas. *Das Wesen des Christentums*. Leipzig : 1841. Citado por Marx em Teses contra Feuerbach.
- GANE, Chris; SARSON, Trish. *Structured Systems Analysis: Tools & Techniques*. 1 ed. Nova York : Improved System Technologies, 1977.
- GENTNER, Don; NIELSEN, Jakob. *Anti-Mac Interface. Communications of the ACM*, Nova York, v. 39, n.8, p. 70–82, ago. 1996.
- GERMER, Claus Magno. **Contribuição ao entendimento do método da economia política, segundo Marx**. Texto para discussão publicado na Internet pelo autor, no endereço <http://www.economia.ufpr.br/departamento/docente/claus.htm>. Curitiba : 2000.
- GRANDBASTIEN, Monique. *Teaching Expertise is at The Core of ITS Research. International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 10, p. 335–349, 1999.
- GUPTA, Vivek R. *An introduction to data warehousing*. Documento publicado pelo autor na Internet no endereço <http://system-services.com/dwintro.asp> . Chicago, 1997.
- HAACK, Susan. *Filosofia das lógicas*. 1 ed. São Paulo : Editora UNESP, 2002.
- HEGEL, Georg Wilhelm Friedrich. *Phäomenologie des Geistes*.. Bamberg : 1807. Citado por Marx em Manuscritos Econômico–Filosóficos.
- \_\_\_\_\_. *Enzyklopädie der Philosophischen Wissenschaften im Grondrisse*. Heidelberg : 1817. Citado por Marx em Manuscritos Econômico–Filosóficos.
- HINKLEY, Lisa; DU BOULAY, George; GOOD, Catriona; et al. *Computer Based Neuroradiology Training using a "Small Words" Approach to Differential Diagnosis*.

*Cognitive Science Research Papers*. Bringthon, out. 2001.

HIGHSMITH, James A. *Adaptive Software Development*. Nova Yorque : Dorset House Publishing, 2000.

HÖÖK, Kristina. *Evaluating the Utylitie and Usability of an Adaptative Hypermedia System. Knowledge-Based Systems*. Londres, v. 10, p. 311–319, 1998.

HU, Paul Jen-Hwa; MA, Pai-Chun; CHAU, Patrick Y.K. *Evaluation of user interface designs for information retrieval systems: a computer-based experiment. Decision Support Systems*. Londres, v. 27, 1999.

JACKSON, Michael A. *System Development* . 1 ed. Nova Jersey : Prentice-Hall, 1983.

KNESER, Cornelia; PILKINGTON, Rachel; TREASURE-JONES, Tamsin; *The Tutor's Role: An investigation of the power of Exchange Structure Analysis to identify different roles in CMC seminars. International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Leeds, v. 12, p. 63–84, 2001.

KNUTH, Donald E. *The Art of Computer Programming – Volume I: Fundamental algorithms*. Reading, Massachussets : Addison Wesley, 1968.

\_\_\_\_\_. *The Art of Computer Programming – Volume II: Seminumerical Algorithms*. Reading, Massachussets : Addison Wesley, 1968.

\_\_\_\_\_. *The Art of Computer Programming – Volume III: Sorting and Searching*. Reading, Massachussets : Addison Wesley, 1973.

KORZYBSKY, Alfred. *Science and Sanity – an introduction to non-aristotelian systems and general semantics*. 1 ed. New York : 1933. Citado por Van Vogt em **O Mundo**

**de Zero—A.**

KIPPER, E. F. (Coord); MÜLLER, C. A.; BASTOS, E. A.; et al. **Engenharia de Informações: conceitos, técnicas e métodos.** 1 ed. Porto Alegre : Sagra, D. C. Luzzatto, 1993.

LITTO, F. M., MELLO, M. F. **A Evolução Transdisciplinar na Educação. Contribuindo para o Desenvolvimento Sustentável da Sociedade e do Ser Humano.** Resumo de projeto apresentado no Centro de Educação Transdisciplinar, da Escola do Futuro, da USP : São Paulo, 1998.

LYYTINEN, Kalle. *Different Perspectives on Information Systems: Problems and Solutions.* **ACM Computing Surveys.** Nova York, v. 19, n. 1, p. 46–91, mar. 1987.

MARTIN, James; FINKELSTEIN, Clive. **Information Engineering.** 1 ed. Inglaterra : Sevant Research Studies, 1981. 2v.

MARX, Karl. **Crítica da dialética e da filosofia hegeliana em geral.** In: MARX, Karl. **Manuscritos Econômico-Filosóficos** (1844). In: MARX, Karl. **Coleção Os Pensadores**, Volume XXXV. São Paulo : Editora Abril Cultural, 1974. p. 38–54.

\_\_\_\_\_. **Teses sobre Feuerbach** (1845). In: MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. **Obras Escolhidas**, Volume III. Rio de Janeiro : Editorial Vitória, 1963. p. 208–210.

\_\_\_\_\_. **O Método da Economia Política.** In: MARX, Karl. **Para a Crítica da Economia Política** (1857). In: MARX, Karl. **Coleção Os Pensadores**, Volume XXXV. São Paulo : Editora Abril Cultural, 1974. p. 122–129.

McMENAMIN, Sthephen M.; PALMER, John F. **Análise Essencial de Sistemas.** 1 ed. São Paulo : McGraw Hill, 1984.

MEYER, Bertrand. *Conception et programmation par objets – pour du logiciel de qualité*. 1ed. Paris : InterÉdition, 1991.

MORAES, Fernando. *Análise Essencial de Sistemas*. São Paulo : I Encontro IBPI, 1992

MURRAY, Tom. *Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 10, p. 98–129, 1999

\_\_\_\_\_. *Authoring Knowledge Based Tutors: Tools for Content, Instructional Strategy, Student Model, and Interface Design*. *Journal of the Learning Sciences* (Special Issue on Authoring Tools for Interactive Learning Environments). v. 7, n. 1, p. 5–64, 1998.

MYERS, G. J. **Reliable software through composite design**. 1 ed. Nova York : Petrocelli/Charter, 1975.

NICOLESCU, Basarab. **A Evolução Transdisciplinar da Universidade, Condição para o Desenvolvimento Sustentável**. Apresentação ocorrida no Seminário 13: Universidades como Agentes do Desenvolvimento Sustentável, durante a Quarta Conferência Trimestral da *International Association of Universities*, com tema Responsabilidade das Universidades para com a Sociedade, realizada na Chulalongkorn University, Tailândia, 1997.

\_\_\_\_\_. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. 1 ed. São Paulo : Triom, 1999.

NOLAN, Richard L. *Managing the Crisis in Data Processing*. **Harvard Business Review**, Cambridge, v. 57, n. 2, p. 117–138, mar./abr. 1979.

NOLAN, Richard L.; GIBSON, Cyrus F. *Managing the Four Stages of EDP Growth*. **Harvard Business Review**, Cambridge, v. 52, n. 1, p. 76–88, jan./fev. 1974.

- PRESSMAN, Roger S. *Software Engineering – A practitioner’s Approach*. Tokio : McGraw–hill Kogakusha, 1982.
- QUAQUARINI, Sérgio. **Representação e Ferramentas para a Modelagem de Aprendizizes no Ensino de Conceitos Visuais**. Curitiba, 2000. Dissertação (Mestrado em Informática) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.
- RAVENSCROFT, Andrew; PILKINGTON, Rachel M. *Investigation by Design: Developing Dialogue Models to Support Reasoning and Conceptual Change*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Leeds, v. 11, p. 273–298, 2000.
- RICH, Elaine. *Users are individuals: Individualizing user models*. *International Journal of Man–Machine Studies*, 18, p.199–214, 1983
- SEDGEWICK, Robert. *Algorithms*. Reading, MA : Addison–Wesley, 1988.
- SOARES NETO, Horácio Oliveira. **Análise Vital de Sistemas**. Rio de Janeiro : Datamec, 1993.
- SPARKS, Randall; DOOLEY Scott; MEISKEY Lori; et al. *The LEAP Authoring Tool: Supporting complex courseware authoring through reuse, rapid prototyping, and interactive visualizations*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Leeds, v. 10, p. 75–97, 1999.
- SRINIVASAN, Mandayam A.; BASDOGAN, Cagatay. *Haptics in Virtual Environments: Taxonomy, Research Status, and Challenges*. *Computers & Graphics*. Londres, v. 21, n. 4, p. 393–404, 1997.
- STANDISH GROUP. *Chaos Report*. Massachussetts : Standish Group, 1994.

- STOTTLE Dick.; FU Dan.; RAMACHANDRAN Sowmia; et al. *Applying a Generic Intelligent Tutoring System Authoring Tool to Specific Military Domains. Proceedings of the Industry/Interservice, Training, Simulation and Education Conference (IITSEC 2001)*, Orlando, 2001.
- TAHAN, Malba. **O Problema das Definições em Matemática. Erros, Dúvidas e Curiosidades.** 1 ed. São Paulo : Saraiva, 1965.
- TECUCI Gheorghe; KEELING, Harry. *Developing an Intelligent Educational Agent with Disciple. International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, v. 10, p. 221–237, 1999.
- VAN JOOLINGEN, W. R. *Cognitive tools for discovery learning. International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Leeds, Inglaterra, v. 10, p. 385–397, 1999.
- VAN JOOLINGEN, W. R.; KING, S.; DE JONG, T. *The SimQuest authoring system for simulation–base discovery environments.* In DU BOULAY, B.; MIZOGUCHI, R. *Knowledge and Media in Learning Systems.* Amsterdam : IOS Press , 1997, p. 79–86.
- VAN VOGT, A. E. **O mundo de Zero A.** 1 ed. Sintra (Portugal) : Publicações Europa–América, 1988.
- VIRVOU, Maria; MOUNDRIDOU, Maria. *Adding an Instructor Modelling Component to the Architecture of ITS Authoring Tools. International Journal of Artificial Intelligence in Education. Leeds*, v. 12, p. 185–211, 2001.
- VIRVOU, Maria; MOUNDRIDOU, Maria. *Modelling the instructor in a Web–based authoring tool for algebra–related ITSs.* In *INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS (2000 : Montreal) Proceedings.* Montreal : Springer. Editores: GAUTHIER, Gilles;

FRASSON, Claude; VANLEHN, Kurt. Série: *Lecture Notes in Computer Sciences*. v. 1839, p. 635–644, 2000.

VIRVOU, Maria. *Automatic reasoning and help about human errors in using an operating system*. *Interacting with Computers*, Londres, v. 11, n. 5, p. 545–573, mai. 1999.

WARNIER, Jean-Dominique. **LCS – Lógica de Construção de Sistemas**. Rio de Janeiro : Campus : Datamec, 1982

\_\_\_\_\_. **Guia dos Usuários de Sistemas de Informação**. Rio de Janeiro : Campus : Datamec, 1985.

\_\_\_\_\_. *Computers and Human Intelligence*. Nova Jersey : Prentice Hall, 1986.

WIRTH, Niklaus. *Algorithms + Data Structures = Programs*. Englewood Cliffs NJ : Prentice Hall, 1976.

XIE, Hong (Iris); COOL, Colleen. *Ease of Use versus User Control: an Evaluation of Web and Non-Web Interfaces of On-line Databases*. *Online Information Review*. *Bradford*, v. 24, n. 2, p. 102–115, 2000.

YOURDON, Edward; CONSTANTINE, L. L. *Structured design*. Nova Yorque : Yourdon Press. 1978.

ZAPATA-RIVERA, Diego; GREER, Jim E. *Exploring Various Guidance Mechanisms to Support Interaction with Inspectable Learner Models*. *Proceedings of the Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS-2002)*. p. 442–452, 2000.

ZIVIANI, Nívio. **Projeto de Algoritmos com Implementações em Pascal e C**. São Paulo, Brasil : Livraria Pioneira Editora, 1993.