



Munich Personal RePEc Archive

Cognitive Automation, Operational Decision and Human Error

Sampaio, José João

SOCIUS- ISEG/UTL

November 2002

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/9828/>
MPRA Paper No. 9828, posted 05 Aug 2008 13:19 UTC

COGNITIVE AUTOMATION, OPERATIONAL DECISION AND HUMAN ERROR

José João Martins Sampaio

SOCIUS – ISEG/UTL

[*josejmsampaio@netcabo.pt*](mailto:josejmsampaio@netcabo.pt)

[*http://jjmsampaio.googlepages.com/homept*](http://jjmsampaio.googlepages.com/homept)

2002

ABSTRACT

The new Information and Communication Technologies (ICT) while allowing for real time data collection, distribution and processing, do also contribute to the establishment of new working environments, where the increasing automation of different tasks, ultimately become a determining factor in the development and implementation of highly flexible and dynamic production systems in terms of its adaptability to unstable and unpredictable environments. These structures have a high degree of systemic complexity, as opposed to traditional production systems, based on a deterministic logic of mass production that only require, in its modelling, the exact determination, evaluation and integration of their main parameters and variables.

This flexible structures, may evolve from structurally complex systems to behavioural complex ones, showing a transition capability to evolve through different stages of evolution, as is often the case in multi-product multi-process production systems, where many of phases and / or operations along with thousands of components, make it impossible to assess in a consistent manner at a certain m moment, its dynamic at moment $m+1$. New paradigm is thus a paradigm of complexification, from strategic management and operational structure to the productive process, revealing decision-making equally as a complex process at different levels, where the learning component assumes an increasingly decisive role.

In this essay, I discuss the decision-making process, proposing a reflection on the problem of automation and the resulting cognitive legitimacy of questioning the nature of the operational “Human Error” in complex environments.

Key Words : ICT, Cognitive Automation, Decision Making, Human Error, Human Factors

1. SISTEMAS COMPLEXOS DE TRABALHO

1.1 - Homo *Sapiens/Demens* e Factor Humano

No chamado “mundo ocidental”, as políticas de desenvolvimento económico e de bem estar social, têm vindo a utilizar as TIC como motor de uma socialização em rede à escala global, com a inevitável padronização de mercados e políticas de consumo, num processo de aculturação multidimensional altamente agressivo. É assim que, na arena global onde o *chip*, o *circuito impresso* e o *bit*, marcam o ritmo da economia, a dinâmica dos mercados é função da capacidade de inovar e do grau de agressividade que se consegue manter.

Neste ambiente, as TIC experimentam um desenvolvimento sem precedentes em que a “matéria prima” é a *massa cinzenta* e a cor do colarinho passa de azul a branco, assumindo-se finalmente como o alicerce de um projecto produtivo e sócioeconómico à escala global, numa perspectiva ambivalente de causa e efeito, relativamente à chamada sociedade de informação sustentada pelo paradigma da “nova economia”.

Um novo círculo vicioso (que os mais optimistas não hesitam em classificar de novo *círculo virtuoso*) integra configurações produtivas nas quais assume particular relevância a automatização intensiva de tarefas¹ e onde o elemento humano se vê frequentemente confrontado com a necessidade de interagir em ambientes complexos, criados numa perspectiva estritamente economicista de eficácia produtiva.

Estes ambientes podem, em situações de elevada complexidade dos contextos operacionais, potenciar situações de alheamento relativamente a uma ou mais fases do processo produtivo, limitando a capacidade de intervenção e de decisão do elemento humano, sempre que se trata de “recuperar o sistema” ou de assumir um *processamento convencional* (manual) após um colapso ou “surpresa.”²

A “matéria prima” de que falávamos e que constitui o factor fundamental do desenvolvimento tecnológico, pode agora revelar-se o principal obstáculo à sua eficaz utilização.

De facto, a *massa cinzenta* ou, se quisermos, a componente *sapiens/sapiens* da natureza Humana, embora indispensável à capacidade de realização, apresenta grande vulnerabilidade quando se torna imprescindível tomar decisões que impliquem a análise e tratamento de um elevado volume de informação num curto espaço de tempo, como é frequentemente o caso em ambientes complexos, ou sempre que se impõe uma decisão em tempo real. Como já referimos, o resultado é, em muitos casos, um alheamento relativamente à realidade operacional.

A complexificação dos sistemas produtivos pode assim implicar a sua “libertação” do controlo humano. Por outro lado, a componente *Demens* imprescindível à inovação e criatividade, garante a existência de uma riqueza comportamental incompatível, em muitos casos, com o determinismo que presidiu ao desenho do sistema.

Fala-se então em Factor Humano, como o maior constrangimento ao aprofundamento do desenvolvimento tecnológico.

1.2 – Automatização Cognitiva e Factor Tecnológico

Tentando vencer o “Gap” entre as componentes humana e tecnológica, desenvolvem-se e implementam-se esquemas de automatização da componente cognitiva, isto é, sistemas que “pensam” e/ou “decidem” em ambientes altamente complexos e em tempo real, continuando contudo o elemento humano a assumir-se como último responsável pelo desempenho operacional de todo o sistema, onde agora e por vontade própria se coloca com o estatuto de espectador³. Surgem assim os Sistemas de Decisão (SD) cuja génese Holtzman (1989) situa na investigação operacional (análise decisional) e na informática (inteligência artificial).

Contudo, a representação e utilização de configurações e cenários diversificados, tem constituído um dos maiores desafios ao desenho e desenvolvimento destes sistemas, devido ao grau de incerteza e às múltiplas hipóteses disponíveis para a sua resolução, isto é, devido à necessidade de modelizar a componente cognitiva de uma situação complexa. Pfeifer (1987) refere a este propósito, que uma tarefa simultaneamente multidimensional e multiobjectivo e apenas definida parcialmente, não pode ser automatizada, essencialmente devido à necessidade de utilização da componente cognitiva, pelo que o sistema utilizado não deverá automatizar a decisão (substituindo-se ao decisor) mas antes apoiar a sua intuição. Também neste sentido argumenta Holtzman (1989) referindo que um Sistema de Apoio à Decisão – SAD - se deve concentrar em formular o problema de forma clara e compreensível em lugar de se limitar à sua resolução ou à produção de modelos "ideais" de decisão.

Mas a verdade é que o desenvolvimento das sociedades actuais e a pressão económica que lhe subjaz, não podem continuar dependentes da lentidão e capacidade limitada inerente ao processamento da informação estritamente centrada no humano, ainda que auxiliada por sistemas de apoio à decisão. De facto é cada vez mais difícil decidir operacionalmente em “tempo real”, quando o volume da informação a processar, a complexidade dos sistemas e a diversificação das opções possíveis, se tornaram factores de enorme pressão para a componente humana:

« ...confiar apenas no elemento humano levará a um desequilíbrio crítico entre capacidade e procura em poucos anos (Eurocontrol , Air Traffic Management Strategy for the years 2000+ parág. 2.3.3)».

É portanto num contexto de pressão no sentido do aumento da capacidade produtiva através do estabelecimento de ambientes operacionais complexos, que surgem, a partir dos desenvolvimentos obtidos na área da inteligência artificial, com particular incidência para o trabalho de Newell e Simon (1972) e integrando uma dimensão heurística do conhecimento baseada na experiência pessoal especializada, os Sistemas Periciais (SP), essencialmente destinados à realização de tarefas de natureza restrita e repetitiva, em situações inacessíveis ao elemento humano, quer do ponto de vista quantitativo, quer qualitativo - inteligência artificial - (Quadro 1).

QUADRO 1 :- SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO *VERSUS* SISTEMAS PERICIAIS

	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO SAD	SISTEMAS PERICIAIS SP
PARADIGMA	Decisões de Gestão	Resolução de Problemas
OBJECTIVO DO SISTEMA	Suporte da Intuição	Solução "Completa"
TIPO DE OBJECTIVO	Deficientemente Definido	Bem definido
UTILIZADOR	Gestor	Técnico
FACTORES DE INFLUÊNCIA	Imprevisibilidade; Vários domínios	Previsibilidade; Restritos
RESOLUÇÃO	Representação Dispersa	Representação Densa
CONTROLO	Utilizador	Sistema
TÉCNICAS	Ferramentas em subdomínios específicos.	Inteligência Artificial; Representação do conhecimento

Pfeifer e Luthi (1987) - Decision Support Systems and Expert Systems.

Não deve contudo esquecer-se que estas ferramentas, ao libertarem a componente humana de um largo conjunto de tarefas rotineiras, criam mais espaço para a introdução de novos requisitos de natureza cognitiva, no sentido da complexidade sistémica e do incremento da informação a tratar. Esta situação irá colocar pressão adicional sobre o elemento humano, a qual (pressão) será mais uma vez “aliviada” por novas e cada vez mais complexas ferramentas, inseridas em sistemas automatizados, num crescendo que apenas terminará quando o factor humano for “naturalmente”⁴ excluído do processo de tomada de decisão.

Como referimos no início, as novas tecnologias surgem como o suporte das actuais políticas de desenvolvimento económico e social. Contudo, parece evidente que o desenvolvimento tecnológico deverá evoluir em direcção à dignificação da componente humana e não no sentido da sua descaracterização e subalternização, sob pena de se criarem condições para a institucionalização de um determinismo tecnológico, numa sociedade de sub-homens e super-máquinas.

De facto, o desenho dos sistemas inteligentes de apoio à decisão tem evoluído no sentido da automatização da componente cognitiva do processo de decisão, com base na **modelização** (padronização) de uma das mais importantes fases **do processo cognitivo**: a interacção entre a interpretação da realidade operacional (imagem mental) e o modelo mental previamente adquirido. É pois fundamental compreender o processo de tomada de decisão, não apenas para permitir a sua automatização, mas essencialmente para possibilitar a avaliação das consequências de uma modelização da componente cognitiva da natureza Humana.

2 – O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

2.1 – A Centragem no Humano

Num contexto operacional de natureza complexa em tempo real, como por exemplo a pilotagem de aeronaves, o controlo de tráfego aéreo, uma intervenção cirúrgica, etc., o trabalho desenvolvido pode, em geral, ser caracterizado por um desempenho alicerçado numa imagem mental, construída com base num modelo mental preestabelecido da realidade envolvente e cujo processamento interno se poderá descrever como:

1. MONITORIZAÇÃO - Comparação contínua e intermitente entre a situação esperada e a realidade;
2. INTERVENÇÃO – Actuação directa no sentido de modificar, a situação existente;
3. VERIFICAÇÃO - Processo intermitente de tomada de conhecimento dos resultados das intervenções efectuadas (retro-informação);
4. DIAGNÓSTICO – Processo activo de busca de informação explicativa para situações novas e/ou inesperadas.

A manutenção ininterrupta deste processo, constitui o alicerce da **CONSCIÊNCIA DE SITUAÇÃO**, cuja deterioração equivale à perda da imagem mental ou ao desenvolvimento de uma imagem mental distorcida da realidade, implicando uma redefinição dos esquemas de actuação que se revelarem incoerentes com o modelo mental existente. Esta é uma das situações mais críticas num ambiente operacional complexo em que se exige, do elemento humano, uma tomada de decisão em tempo real.

CONSCIÊNCIA DA SITUAÇÃO é o processo pelo qual o elemento Humano extrai do ambiente externo a informação pertinente, integra essa informação com o modelo mental previamente adquirido e constroi uma imagem mental coerente, tendo em vista a actualização dos esquemas cognitivos de tomada de decisão.

Nesta situação, o processo de tomada de decisão requer uma participação muito activa de toda a estrutura cognitiva, nomeadamente ao nível das áreas de trabalho e do conhecimento que, de acordo com o modelo mais consensual⁵ da estrutura da memória humana e relevando apenas os aspectos que nos interessam para a presente discussão se podem caracterizar da seguinte forma:

? **MEMÓRIA DE TRABALHO**

Normalmente descrita como possuindo uma capacidade de armazenagem restrita (sete, mais ou menos dois elementos) apenas disponível durante um curto intervalo de tempo (12 a 30 segundos) e altamente vulnerável a acontecimentos imprevisíveis. É essencialmente uma unidade de planeamento de curto prazo integrando informação de

origem externa (percepção) ou interna (memória de longo prazo) e constitui a área de memória onde a imagem mental actual é mantida e comparada com os parâmetros do modelo mental existente.

? **MEMÓRIA DE LONGO PRAZO**

Pode armazenar uma grande quantidade de informação durante um período de tempo muito longo. É a área onde o modelo mental é mantido e onde o conhecimento é estruturado em termos epistemológicos – “O QUÊ” (coisas, acontecimentos, regras...) e heurísticos COMO FAZER” (resolução de problemas, adaptação a novas situações).

Num processo de tomada de decisão centrado no Humano, a complexidade sistémica limita-se à recolha e tratamento de dados, transformando a informação “bruta” num conjunto de dados coerente. As memórias de trabalho e de longo prazo desenvolvem um ritmo de trabalho adequado às suas características, permitindo ao elemento Humano assumir integralmente a percepção situacional daí resultante e tomar as decisões que, de acordo com o seu quadro mental entender mais convenientes (Quadro 2).

QUADRO 2 – MEMÓRIA E DESEMPENHO OPERACIONAL CENTRADO NO HUMANO

<u>MEMÓRIA DE TRABALHO</u>	<u>MEMÓRIA DE LONGO PRAZO</u>
<p>Armazena as informações <i>sensoriais</i> relativamente ao ambiente de trabalho e às características operacionais – <i>Imagem Mental</i>.</p> <p>Mantém informação actualizada da situação em tempo real - <i>Situação Operacional</i>.</p> <p>Define a prioridade das tarefas de acordo com o <i>Modelo Mental</i>.</p> <p><i>SENSÍVELA :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> a) <i>Densidade e características dos acontecimentos;</i> b) <i>Funcionalidades do sistema operacional;</i> c) <i>Situações inesperadas.</i> 	<p>Utiliza a informação da memória de trabalho para construir/actualizar o <i>Modelo Mental</i>.</p> <p>Actualiza continuamente os esquemas cognitivos de actuação, utilizando a retro-informação fornecida pela memória de trabalho – <i>Experiência</i>.</p> <p>Selecciona o esquema de acção para a resolução de determinado problema – <i>Destreza</i>.</p> <p>É responsável por um <i>Desempenho</i> seguro baseado na destreza .</p>

2.2 – A Automatização Cognitiva

A componente Humana dos modernos sistemas produtivos vê-se cada vez mais “entrincheirada” entre tecnologias e procedimentos “clássicos” e a emergência de uma nova filosofia, baseada em conceitos de eficiência, custo-benefício, produtividade e desempenho.

Consequentemente, o aumento da complexidade dos sistemas produtivos e da automatização que lhes está associada, implicando uma maior percepção sequencial e lógica e obrigando a memória de trabalho a processar, num curto espaço de tempo, uma maior quantidade de eventos⁶ no limite da sua capacidade operacional, pode conduzir a uma interpretação e/ou processamento incorrecto da informação recolhida.

O processo de tomada de decisão começa assim a tornar-se de algum modo, condicionado pelo ambiente completamente automatizado, o qual substitui progressivamente a percepção que o operador tem da situação operacional, detecta potenciais conflitos e realiza operações complexas, para além da grande maioria das tarefas acessórias (Quadro 3).

QUADRO 3 – MEMÓRIA E DESEMPENHO OPERACIONAL TECNOLOGICAMENTE DEPENDENTE

<u>MEMÓRIA DE TRABALHO</u>	<u>MEMÓRIA DE LONGO PRAZO</u>
<ul style="list-style-type: none">? Mantém uma imagem do ambiente externo mais <i>Difusa e Intermitente</i>.? Acompanha o <i>Comportamento do Sistema</i>.? Confia na definição de tarefas <i>Prescrita pelo Sistema Automatizado</i>.	<ul style="list-style-type: none">? Interrompe o processo de construção de esquemas cognitivos de actuação – <i>Degradação da Experiência Operacional</i>.? Constrói modelos mentais da previsível actuação do sistema – <i>Novas Competências?</i>? Confia nos sistemas automatizados de apoio à resolução de problemas – <i>Degradação da Destreza Operacional</i>.? Não pode ser responsável por um desempenho operacional seguro, baseado na destreza operacional. O elemento Humano passa a <i>operador do sistema automatizado?</i>
<p><i>SENSÍVELA :</i></p> <ul style="list-style-type: none">d) <i>Densidade e características dos acontecimentos;</i>e) <i>Funcionalidades do sistema operacional;</i>f) <i>Situações inesperadas.</i>	

Parece pacífico que uma evolução desequilibrada das componentes humana e tecnológica, com submissão da componente humana aos sistemas inteligentes de apoio à decisão, pode “empurrar” o elemento humano para uma integração na automatização do ciclo produtivo (Human in the Loop⁷), com prejuízo de uma das mais importantes fases do processo cognitivo: a construção da sua própria realidade operacional como factor determinante para a manutenção de um elevado nível da percepção situacional, dessa forma permitindo uma interpretação correcta dos problemas operacionais e uma tomada de decisão segura e coerente.

3. –ERRAR É HUMANO?

A constante pressão económica das sociedades modernas força o desenvolvimento contínuo de sistemas complexos, os quais se alicerçam na extensão das capacidades cognitivas e comportamentais da natureza humana. Pretendemos nesta reflexão mostrar que a interacção entre as componentes humana e tecnológica nos novos contextos operacionais, é uma área à qual os especialistas no desenho de sistemas complexos de produção, não podem deixar de dedicar uma atenção muito especial, numa perspectiva multidisciplinar, sob pena de se permitir a emergência de um determinismo tecnológico o qual levará inevitavelmente à destruição de um dos mais importantes objectivos de uma gestão de recursos humanos responsável:

Proporcionar a obtenção de elevados níveis de responsabilização e empenhamento profissionais, através do estabelecimento de tarefas criativas e de uma efectiva visibilidade da contribuição individual, para a concretização dos objectivos comuns.

Por outras palavras e numa perspectiva mais abrangente, o progresso tecnológico não deverá criar condições para a emergência de cenários *neo-taylorizantes*, antes promovendo uma evolução social intelectualmente mais exigente e libertária quanto à imaginação, abstracção e criatividade, inerentes à natureza humana .

O desenvolvimento da chamada *automatização cognitiva* implicando a “deshumanização” da tomada de decisão operacional, cria condições para uma nova abordagem heurística da intervenção humana em sistemas complexos e legítima necessariamente, neste contexto, o nosso questionamento inicial:

ERRAR (ainda) É HUMANO?

NOTAS

¹ Algumas de natureza cognitiva, como por exemplo, a determinação e correcção de situações anómalas ou a recolha e interpretação de dados em tempo real.

² Actuação não desejável, ainda que legítima do ponto de vista da automação instalada. Resulta normalmente de um deficiente conhecimento da arquitectura/modelização do sistema implementado.

³ De facto, embora muitas vezes se faça passar a mensagem de que as novas competências profissionais se situam na área da monitorização e gestão dos sistemas automatizados, a verdade é que se assiste ainda, em muitos casos, a uma subordinação (mais ou menos assumida) do elemento humano, relativamente à componente tecnológica.

⁴ Entenda-se por razões que decorrem da sua própria natureza.

⁵ Embora muito haja ainda por desvendar na compreensão da memória humana, a maioria dos cientistas concordam na utilidade de a descrever como um conjunto de áreas (Sensitiva, Curto Prazo ou de Trabalho e Longo Prazo ou do Conhecimento) onde a informação é armazenada e tem lugar um conjunto de procedimentos (codificação, manutenção e recuperação da informação).

⁶ A memória humana gere melhor um pequeno número de eventos com muitas variáveis, que um grande número de eventos com poucas variáveis (Yntema 1963).

⁷ A verdade é que embora muitas vezes se pretenda transmitir a necessidade de incluir o Humano no ciclo produtivo, esta inclusão tem resultado essencialmente na sua integração, numa perspectiva de subalternização, em que a componente tecnológica é assumida no ambiente operacional, como o elemento (parceiro) “mais competente” do processo produtivo.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J. R. (1993), “Rules of the Mind” Lawrence Erlbaum Associates, UK, Hove.
- BOSMAN A. (1987) , “Decision Support systems : A Discipline or a Vision?” In : Sol Henk, Takkenberg Cees, Robbé Pieter (eds), *Proceedings of The Second Mini Euroconference*, Lunteren, The Netherlands, 17-20 November 1985, Dordrecht, Holland, Reidel Publishing Company.
- COHEN, P. R. (1995),. “Empirical Methods for Artificial Intelligence” Cambridge, MA. MIT Press.
- EDMONDS Bruce (1995) , “What is Complexity? - The philosophy of complexity *per se* with application to some examples in evolution”
http://www.cpm.mmu.ac.uk/~bruce/evolcomp/wmwork/www/evolcomp_1.html
- FREED Michael , Remington Roger (1997) , “A conceptual framework for predicting error in complex human-machine environments”, NASA Ames Research Center.
- GÉNELOT D. (1991), “Manager dans la complexité : Réflexions à l'usage des dirigeants” Insep Ed. , Paris.
- HOLTZMAN Samuel (1989),”Intelligent Decision Systems,” USA, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- LE MOIGNE J.L. (1990), “La modelisation des systèmes complexes”, Paris, Dunod Ed.
- MORIN E. (1986), “Le Défi de La Complexité” in: *UNU/IDATE, Science et pratique de la complexité*, Paris, La Documentation Française Ed.
- MONIZ A. B. et al. (1996), “Issues in Techno-Organisational Development Methods for Complex Manufacturing Environments”, International Conference on Architectures and Design Modes for Balanced Automated Systems, Lisboa.
- NEWELL, A., & Simon, H. (1972), “Human Problem Solving”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- NEWELL, A. (1990). “Unified Theories of Cognition”, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- PFEIFER Rolf e JACOB Luthi Hans (1987) “Decision Support Systems and Expert Systems: A Complementary Relationship” in *Sol Henk, Takkenberg Cees, Robbé Pieter (eds), Proceedings of The Second Mini Euroconference, Lunteren, The Netherlands, 17-20 November 1985*, Dordrecht, Holland, .Reidel Publishing Company.
- POWER D. J. (1999), “A Brief History of Decision Support Systems ,” DSSRResources.COM, World Wide Web, <http://DSSRResources.COM/history/dsshhistory.html>.
- SEPPALA Pentti et al. (ed) (1997) "From Experience to Innovation , VOL. 3 - Complex Systems Cognitive Ergonomics, Occupational Safety, Materials Handling in : *Proceedings of the 13^o Triennial Congress of the International Ergonomics Association* , Tampere, Finnish Work Environment Fund.
- Yntema, D. "Keeping track of several things at once". In *Human factors*, 6.