



## Novas Fronteiras na Inteligência Artificial e na Robótica

**Ricardo Ribeiro Gudwin**

DCA-FEEC-UNICAMP

13083-852, Campinas, SP

gudwin@dca.fee.unicamp.br

**Resumo:** Neste trabalho, apresenta-se um apanhado das novas fronteiras de pesquisa criadas a partir da confluência entre as áreas de Inteligência Artificial e Robótica. Dentre outros tópicos, analisamos o desenvolvimento de agentes robóticos inteligentes, robótica situada e incorporada, robôs humanóides, emoções e inteligência, robótica evolutiva, semiótica e sistemas inteligentes, cognição artificial, mentes artificiais e consciência. Estes tópicos são abordados considerando-se o estado atual das pesquisas e os desafios que se colocam para uma expansão destas atuais fronteiras.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial, Robótica, Robôs Humanóides, Emoções, Consciência

### Introdução

As áreas de pesquisa conhecidas como Inteligência Artificial e Robótica compreendem áreas estanques do conhecimento, considerando-se que subsistem de maneira independente entre si, com métodos e objetivos próprios a cada uma, ao longo de seu desenvolvimento. Assim, cada uma destas áreas de pesquisa poderia se desenvolver por si só, sem que uma sequer precisasse conhecer as teorias e métodos da outra. Entretanto, a imaginação humana parece que sempre as compreendeu como áreas complementares, tanto na literatura de ficção como no cinema. Exemplos existem em abundância, desde a caricata empregada robô “Rosie” do desenho animado “Os Jetsons”, passando pelos robôs com aspecto mecânico de “Perdidos no Espaço”, “Eu, Robot” de Isaac Asimov, até os robôs quase humanos como o robô-menino do filme “Inteligência Artificial”, o robô que queria ser gente em “O Homem Bi-centenário” ou o robô-tripulante “Data” de “Jornada nas Estrelas – A Nova Geração”, que vem equipado com “implantes neurais” e “chips de emoção” (pelo menos em um dos episódios da série). Poderíamos ainda incluir aí os robôs não tão óbvios como o HAL de “2001, Uma Odisséia no Espaço”, que tem como seu “corpo” a própria nave que se desloca com uma tripulação humana rumo a Júpiter. Mas, ... , aonde termina a fantasia e onde começa a realidade quando tentamos unir a inteligência artificial e a robótica? O objetivo deste artigo é apresentar ao leitor algumas informações e pontos de referência sobre os esforços científicos que vêm sendo feitos ao longo da última

década, no sentido de trazer a fantasia do cinema um pouco mais próxima de uma realidade, que se por enquanto ainda não ocorre no cotidiano dos lares, pode se mostrar muito mais desenvolvida do que muitos poderiam imaginar.

De maneira surpreendente, uma das áreas que têm promovido um grande debate envolvendo a confluência entre a inteligência artificial e a robótica é a filosofia – mais especificamente a filosofia da mente. Legiões de filósofos do porte de John Searle, Daniel Dennet, Paul e Patricia Churchland, além de outros, têm se ocupado com questões como: podem haver máquinas (robôs) dotados de inteligência comparável à inteligência humana? Poderíamos dizer que esses robôs possuem uma “experiência” do mundo, assim como nós (a questão do *Qualia*)? Esses robôs poderiam ter “emoções”, assim como animais e seres humanos? Poderiam possuir consciência? São questões que incomodam os filósofos, e que por decerto suscitam diferentes opiniões, contra e a favor de uma resposta positiva a elas.

Paralelamente ao embate entre os filósofos, os cientistas e engenheiros de computação começam a desenvolver robôs cada vez mais admiráveis, e enquanto os filósofos debatem-se em detalhes conceituais, os engenheiros aperfeiçoam os algoritmos de reconhecimento de voz e de fala, os algoritmos de reconhecimento de padrões e visão computacional, desenvolvem “agentes robóticos autônomos e inteligentes”, dotam-nos de “mentes artificiais” que seguem modelos desenvolvidos nas ciências cognitivas e apresentam ao público os primeiros protótipos de robôs humanóides capazes de andar e subir escadas (e.g. O robô Asimo da Honda, ou o QRIO da Sony), robôs dotados de emoções artificiais e habilidades proprioceptivas, capazes de inferir o estado emocional de seres humanos e imitar-lhes o comportamento (Kismet e COG, do MIT), robôs de entretenimento capazes de interagir com seres humanos e alterar seu comportamento, aprendendo os hábitos de seus donos e reagindo a eles (e.g. O cão-robô Aibo, da Sony), ou emergir uma linguagem artificial, por meio da interação entre robôs (e.g. os Talking Heads de Luc Steels).

Nas seções a seguir, apresentaremos um sumário destas tecnologias, apontando as referências-chave para que o leitor interessado possa conhecer um pouco mais destes desenvolvimentos em suas próprias fontes.

## Robótica Industrial e Algoritmos de Planejamento

Os robôs industriais, utilizados na automação de processos de produção, são hoje uma realidade cada vez mais presente nas grandes indústrias, tais como as indústrias automotivas e de montagens de equipamentos, bem como começam a aparecer em indústrias de médio e pequeno porte. Estes robôs executam tarefas complexas e de alto risco, tais como a soldagem de peças e montagem de componentes, a pintura e/ou limpeza de partes, transporte de peças, monitoração e segurança de instalações industriais, limpeza e reparo de dutos e tubulações, etc [1].

Esta classe de robôs geralmente possui uma programação única que é executada de maneira repetitiva e sequencial, de forma a cumprir suas funções. A dificuldade técnica que tais robôs impõem, portanto, de um ponto de vista científico, corresponde ao desenvolvimento de algoritmos de planejamento das atividades a serem executadas pelo robô. Um exemplo prototípico de um robô deste tipo é dado na figura 1 a seguir:



Figura 1 – Exemplo de Robô Industrial

Robôs como o da figura 1 possuem redundância no espaço das juntas, o que significa que para uma dada posição da garra no espaço tridimensional, podem haver mais de uma configuração na posição angular entre os segmentos do braço do robô. Isso determina um problema de programação de robô, uma vez que para que o robô execute tarefas, algum algoritmo planejador deve ser executado de forma a especificar a configuração dos atuadores das juntas. Para resolver esse problema, é possível a utilização de soluções a partir de ferramentas da inteligência artificial, tais como os algoritmos de busca, controladores fuzzy, controladores com redes neurais ou algoritmos genéticos. Apesar de parecer ser um problema simples, na verdade a programação de controle de um robô industrial pode ser razoavelmente complicada,

quando se deseja otimizar a trajetória, por exemplo minimizando o gasto de energia, ou minimizando o torque a ser exercido pelo robô, ou o tempo para que um determinado movimento seja executado.

Esse uso da inteligência artificial na robótica, apesar de importante e efetivo, está entretanto longe de ser aquilo que poderíamos imaginar como sendo um “robô inteligente”. Para tal, é necessário que aumentemos a complexidade dos robôs, introduzindo a mobilidade e o sensoramento do ambiente em nossos robôs.

## Robôs Móveis

Robôs móveis podem ser empregados numa grande variedade de tarefas, do transporte de peças em uma indústria até à exploração de locais perigosos, como águas profundas, áreas radioativas, crateras de vulcões, ambientes espaciais e mesmo outros planetas [2]. Diferentemente dos robôs manipuladores como o da figura 1, um robô móvel é livre para se mover em todas as direções. Portanto, sua controlabilidade exige um maior grau de interação com o ambiente, o que inclui o sensoramento de variáveis de ambiente e eventualmente a detecção do resultado das ações do próprio robô.

Robôs móveis são hoje objeto de intensa atividade de pesquisa, principalmente devido à complexidade inerente em seu funcionamento, que transformam os robôs móveis em um grande laboratório para a inteligência artificial, considerando-se a facilidade com que os mesmos podem ser testados em simuladores. Dentre os robôs móveis mais utilizados por pesquisadores do mundo todo, estão os robôs Khepera (figura 2) e os robôs Lego (figura 3).

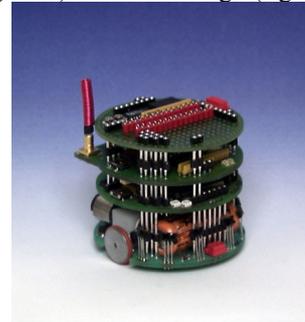


Figura 2 – Exemplo de Robô Khepera



Figura 3 – Exemplo de um Robô Lego

O relacionamento entre a inteligência artificial e a robótica mudou de maneira radical em virtude dos robôs móveis, já a partir da década de 80, como veremos na próxima seção.

## A Arquitetura de Subsunção e a Robótica Baseada em Comportamentos

A partir da metade da década de 80, um grande movimento científico iria mudar de maneira radical as pesquisas envolvendo robótica e inteligência artificial. Esse movimento foi liderado pelo pesquisador Rodney Brooks do MIT AI Lab. Basicamente, Brooks pregava [3] que havia algo de fundamentalmente errado na inteligência artificial, e que para que uma inteligência comparável à do ser humano pudesse ser obtida em sistemas artificiais, seria necessária uma mudança paradigmática na maneira como as pesquisas em inteligência artificial eram conduzidas. À essa época, eram populares as pesquisas em IA com os chamados “toy problems”, ou seja, problemas simplificados normalmente desvinculados do mundo real, que eram resolvidos por meio de algoritmos de busca, lógica matemática [4] e os assim chamados sistemas especialistas [5]. Brooks pregava que a inteligência artificial somente poderia prosperar se os pesquisadores deixassem as pesquisas em ambientes artificiais, e apostassem na robótica como ambiente de desenvolvimento [6].

As pesquisas em desenvolvimento envolvendo robótica utilizavam até então um paradigma serial de processamento, como ilustrado na figura 4 a seguir:

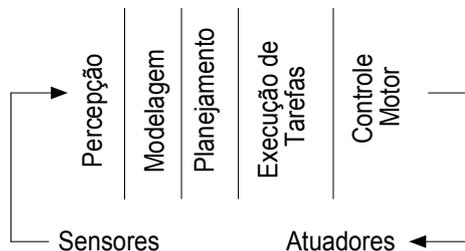


Figura 4 – Exemplo de Arquitetura Convencional de Controle de Robôs

A proposta de Brooks era substituir esse paradigma serial por um paradigma paralelo, que Brooks chamou de arquitetura de subsunção, ilustrado na figura 5.

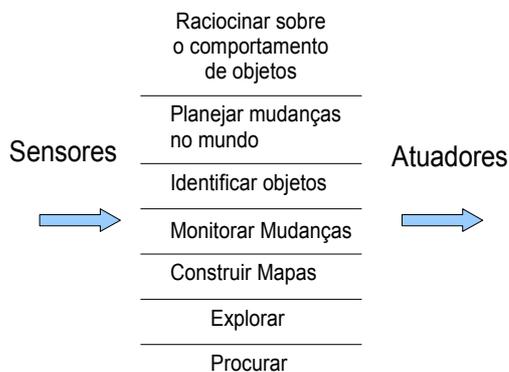


Figura 5 – Exemplo de Arquitetura de Subsunção

Essa arquitetura de subsunção inaugurava a chamada “Robótica baseada em Comportamentos” como uma nova abordagem de pesquisa em inteligência artificial. Duas mudanças significativas podem ser demarcadas aqui. A primeira delas foi a possibilidade de se descartar a visão de que para se agir de maneira inteligente, era necessário se ter um modelo do mundo centralizado, como as arquiteturas da época pregavam [7]. Tais modelos do mundo eram tipicamente definidos de maneira simbólica, sem uma ligação explícita entre esses símbolos e fenômenos do mundo real que supostamente deveriam representar. A segunda mudança foi a constatação de que a inteligência não poderia ser vista meramente como um processo computacional que tomava uma entrada e produzia uma saída, mas que, devido ao fato de que essa inteligência existe em um agente que se encontra incorporado e em contato com um mundo, que possui uma dinâmica implícita, o fenômeno da inteligência deveria possuir também alguma componente dinâmica. Com estas duas mudanças, o vocabulário clássico da IA começou a se tornar obsoleto, sendo que não mais haviam representações explícitas de “beliefs”, “desires” e “intentions”, a própria noção de ato de fala “speech act” se tornava obsoleta e junto com tais idéias da IA, um grande número de dificuldades herdadas da chamada IA clássica pareciam desaparecer.

Simultaneamente a esses desenvolvimentos, uma grande revolução também se travava na área de ciência cognitiva. Após muitos anos onde o cognitivismo foi predominante como teoria para explicar as funções cognitivas humanas, uma nova proposta começava a se delinear, fundamentada na Autopoiese de Maturana e Varela [8]: a idéia de uma “mente incorporada” [9]. Em outras palavras, uma mente só pode funcionar enquanto mente, caso tenha um corpo por meio do qual possa interagir com algum ambiente. Essa interação da mente com o corpo é que acaba por proporcionar a cognição. Uma vez que a idéia de “mente incorporada” se difundiu nas ciências cognitivas, abriu-se o caminho para que o conceito de mente pudesse sair da esfera das criaturas da natureza, e pudesse ser aplicado também a robôs [10].

## Robôs Insetos

Como uma inteligência de um nível comparável à humana seria um desafio muito grande, a princípio, um grande número de pesquisadores optou por tentar alcançar antes uma inteligência equiparável à dos insetos. Assim, um grande número de “robôs-insetos” passou a surgir nas conferências internacionais de robótica [11,12,13,14,15]. Exemplos de robôs insetos podem ser vistos nas figuras 6 e 7.

As abordagens baseadas em comportamento, utilizando a arquitetura de subsunção de Brooks foram utilizadas na resolução de diversos problemas envolvendo navegação, mapeamento, planejamento e operação no mundo real. Estas tarefas podem ser comparáveis à inteligência de um inseto, navegando no mundo real.



Figura 6 – Exemplo de Robô-Inseto:  
o Genghis do MIT



Figura 7 – Exemplo de Robô-Inseto: outra versão do  
Genghis

## Robótica Cognitiva e os Robôs Humanóides

Ao se tentar avançar o nível de inteligência dos robôs além da inteligência de insetos, começaram a surgir os primeiros robôs humanóides [16]. Nessa transição, a robótica baseada em comportamentos não mais dava conta de servir como arquitetura completa do sistema. Nesse sentido, a mesma foi desenvolvida dando origem à chamada robótica cognitiva.

Diversas considerações foram necessárias nesse sentido [17,18,19,20]. Em primeiro lugar, que tipo de artefato tecnológico poderíamos estar considerando como robôs humanóides, e quais as características humanas que estaríamos a esperar de tais robôs ?

Em primeiro lugar, gostaríamos que tais robôs agissem como humanos. Para que uma criatura artificial com uma forma semelhante à humana (até dentro do possível) pudesse ter um comportamento comparável ao de um ser humano, diversas habilidades eram necessárias. Dentre outras a capacidade de coordenar movimentos dos “olhos” com a “cabeça” e o “corpo”, compensando movimentos do próprio robô, correlacionando sons ambientes a coordenadas espaciais referentes à origem do som, além da coordenação de um grande número de atuadores motores com graus de liberdade redundantes e a necessidade de evitar danos tanto ao próprio corpo como a eventuais seres humanos em seu raio de movimentação. Diversos foram os desafios no sentido de desenvolver tais capacidades em robôs. Dentre outros, a necessidade de se desenvolver uma

movimentação guiada por visão artificial, a identificação do próprio movimento, uma interação compatível com o ambiente, reflexos auto-protetores, estratégias de apanhar objetos sem os modelos geométricos a priori dos mesmos e geração de trajetória em tempo real, diante das mudanças ocorridas no ambiente.

Supondo-se agora que estes robôs deveriam interagir com pessoas, outras características como a detecção de faces, a distinção de vozes humanas de outros sons, o contato visual (olho no olho), o entendimento de para onde um ser humano está apontando, responder adequadamente ao fato de se manter ou perder o contato visual com o robô, além de outras convenções sociais de comunicação entre seres humanos precisaram ser abordados.

Os pesquisadores do MIT chegaram à conclusão de que 4 fatores da inteligência humana poderiam ser apontados como fundamentais para se orientar a pesquisa em robôs humanóides: o **desenvolvimento incremental** da inteligência, a **interação do robô com seu ambiente**, a **interação social** do robô e a **integração multi-modal**. Com relação ao desenvolvimento incremental da inteligência, observou-se que a inteligência humana funciona por meio de um processo em que novas habilidades e competências são sucessivamente adquiridos, durante a evolução e o desenvolvimento de uma criança. Assim, o mesmo deveria orientar as pesquisas em robótica. A idéia de que uma arquitetura de controle de robô fosse projetada completamente “a priori”, e que todas as habilidades do mesmo fossem concebidas em projeto estaria em desacordo com a maneira com que nós, humanos desenvolvemos nossa inteligência. Ao contrário, somente um conjunto de habilidades básicas, e a capacidade de aprender novas habilidades, deveria orientar os trabalhos de pesquisa. Novas habilidades seriam obtidas por meio da aprendizagem e a interação do robô com seu ambiente. Essa interação do robô com seu ambiente é de suma importância para que este desenvolvimento possa ocorrer. Talvez um dos aspectos mais óbvios da inteligência humana é o fato de que esta é incorporada, ou seja, possui um corpo com o qual se coloca em contato com o meio ambiente. Assim, para o desenvolvimento de robôs humanóides, mais importante do que o aspecto humano, que se tenta imitar, para tornar a interação com outros humanos uma experiência mais agradável, é o contato físico direto com o mundo, por meio de sensores e atuadores, posicionados em um “corpo”, o que se mostra mais importante. Em um sistema “incorporado”, as representações internas podem ser lastreadas em interações sensorio-motoras com o ambiente. Assim, o mundo pode ser visto como uma extensão da memória interna do robô, e este pode se servir dele para armazenar marcas e sinais que podem ser importantes em seu raciocínio. Mas interagir somente com o mundo pode não ser suficiente para o desenvolvimento da inteligência. Afinal de contas, o

que seria de nós, seres humanos, se após o nosso nascimento tivéssemos somente um mundo de objetos para interagir? Nesse sentido, a interação social ganha uma importância muito grande. É por meio da interação social que os seres humanos se desenvolvem. Desde o início de nosso desenvolvimento humano, temos a assistência de outros seres humanos, que nos auxiliam e nos ensinam, ampliando nosso conhecimento e nossas capacidades. Dessa forma, as pesquisas com robôs humanóides deveriam se pautar na interação com seres humanos para aumentar as habilidades dos robôs. Seria necessário que os robôs pudessem reconhecer e distinguir seres humanos de outras partes do ambiente, de tal forma a focalizar sua atenção nestes. Mais do que isso ... diversas são as habilidades básicas necessárias para que uma interação social possa acontecer. Dentre outras habilidades, é necessário um mecanismo de atenção compartilhada [20,21] para que uma interação social efetiva possa se desenvolver. Em outras palavras, o robô deve ser capaz não somente de reconhecer seres humanos, mas deve ser capaz de estimar onde se encontra a atenção destes seres humanos. Isso inclui desde a criação e manutenção do contato visual, a estimativa de para onde estamos olhando, até a capacidade de reconhecer que estamos apontando para determinados objetos ou partes do ambiente. Trata-se de um problema incrivelmente complicado, mas que é crucial para que uma interação adequada possa existir. Nas pesquisas desenvolvidas pelo MIT, os primeiros passos nesse sentido criando-se algoritmos de busca de faces e olhos em imagens, bem como sistemas que visam imitar gestos humanos, perpetrados por um instrutor, que o robô tenta imitar.

Por fim, a integração multi-modal nos lembra que nós, seres humanos, possuímos 5 diferentes sentidos, visão, audição, olfato, paladar e tato. Nossos modelos internos dos objetos do mundo não são somente visuais, mas são o resultado da integração de nossos sentidos. Estímulos de uma destas modalidades podem influenciar nossas percepções de outras modalidades. Assim, as modalidades sensoriais não podem ser tratadas de maneira independente, mas devem ser integradas para a geração de um modelo de mundo que faça sentido. Assim, estímulos auditivos devem ser integrados a imagens visuais e estímulos táteis para a geração de modelos internos dos objetos do mundo. Isso cria uma demanda de uma melhor compreensão sobre integração sensorial e sua potencial redução dos requisitos computacionais necessários para processar a informação sensorial de forma a criar modelos objetivos do mundo.

## Cog

Um dos mais famosos robôs humanóides, desenvolvido pelo MIT, é o robô "Cog" [22]. O Cog é um robô humanóide que reproduz um torso humano com cabeça (figuras 8 e 9). Cog tem 21 graus de liberdade, visando aproximar seus movimentos de movimentos humanos, e uma grande variedade de

sistemas sensoriais, integrando sinais visuais, vestibulares, auditivos e táteis.

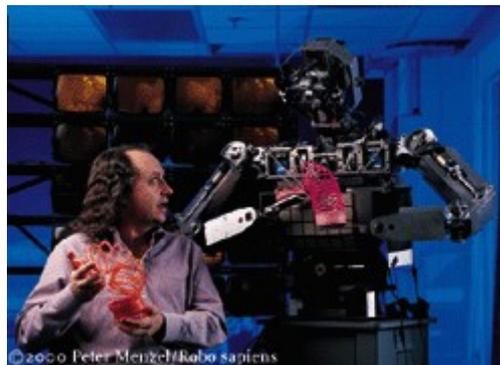


Figura 8 – O Robô Cog

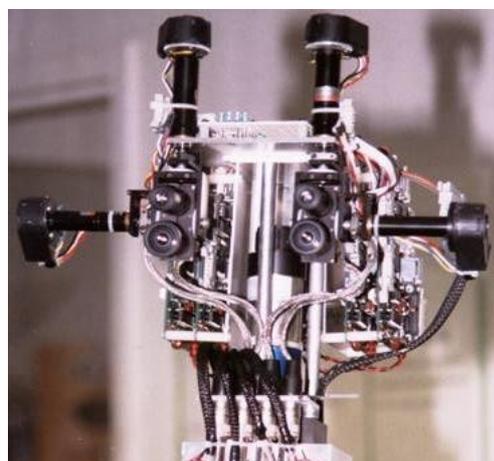


Figura 9 – Detalhe da Cabeça do Cog

Por trás do controle computacional do Cog, existe uma rede heterogênea de diversos tipos diferentes de processadores operando diferentes níveis de uma hierarquia de controle, desde pequenos microcontroladores para o controle de juntas, até redes de DSPs (digital signal processors) para o processamento áudio-visual. O "cérebro" do Cog passou por um grande número de revisões. A primeira versão constituía-se de uma rede de microcontroladores 68332 da Motorola, de 16 Mhz, conectados a memórias RAM *dual-port* em placas customizadas. Cada um destes nós rodava o sistema L, um subconjunto multi-thread do Common Lisp. Versões mais modernas passaram a utilizar PCs industriais rodando o sistema operacional de tempo real QNX. Os cérebros antigo e novo podem inter-operar, comunicando-se por meio de uma interface ISA. O processamento de áudio e vídeo é realizado por uma rede independente de DSPs C40 da Texas Instruments. Esta rede inclui *framegrabbers*, placas de vídeo e áudio. Cada junta do robô possui um controlador local, construído com microcontroladores Motorola HC11, que processa entradas dos *encoders* e entradas analógicas, realiza os cálculos do controlador servo e envia os sinais PWM para os motores.

O sistema visual do Cog foi projetado para imitar algumas das capacidades do sistema visual humano, incluindo-se aí uma binocularidade bem como um sensoamento variante no espaço. Cada olho pode rotacionar sobre um eixo independente vertical (pan) e um eixo horizontal acoplado (tilt). De modo a proporcionar a ambos os olhos um amplo campo de visão em alta resolução, há duas câmeras preto e branco para cada olho, uma que captura um ângulo de visão da periferia e outra que captura um ângulo de visão correspondente a uma área central (foveal). Cada uma das câmeras produz um sinal NTSC que é digitalizado por um *framegrabber* conectado à rede de DSPs.

O sistema vestibular do Cog foi projetado para coordenar as respostas motoras dos movimentos dos olhos, postura e balanço. Em seres humanos, o sistema vestibular consiste de três canais semi-circulares capazes de medir a aceleração da rotação da cabeça, mais dois órgãos otolíticos para medir os movimentos lineares da cabeça, bem como sua orientação relativa à gravidade. Para imitar o sistema vestibular humano, o Cog possui três giroscópios montados em eixos ortogonais (correspondendo aos canais semi-circulares), e dois acelerômetros (correspondentes aos órgãos otolíticos). Cada um destes dispositivos está montado na cabeça do robô, logo abaixo do nível dos olhos. Sinais analógicos de cada um destes sensores são amplificados no hardware do próprio robô, e processados off-board por um conversor A/D comercial conectado aos PCs que constituem os nós do cérebro do robô.

O sistema auditivo do Cog constitui-se de dois microfones omni-direcionais montados na cabeça do robô. Os sinais auditivos são processados por conversores A/D comerciais que fazem a interface com a rede de DSPs.

O sistema tátil do Cog é utilizado para prover um feedback tátil ao robô por meio de sensores resistivos. Cada sensor mede a força aplicada à sua superfície. Foram montados arrays destes sensores sobre o torso do robô. Os sinais desses sensores são multiplexados por meio de microcontroladores 6811, trazendo simultaneamente informações de força e posição. Um sistema similar foi utilizado para montar sensores táteis nas mãos do robô.

O sistema Cinestésico do Cog é utilizado para trazer um feedback sobre os sistemas motores do Cog, constituindo-se de sensores localizados em cada junta. Os eixos oculares são bastante simples, sendo que cada atuador tem um *encoder* digital que fornece a posição do eixo. As juntas do pescoço e do torso, além destes *encoders*, possui ainda sensores de corrente que medem o torque bruto nessas juntas, sensores de temperatura dos motores, bem como chaves limitadoras para evitar movimentos bruscos das juntas. O sistema cinestésico dos braços é o mais desenvolvido. Além dos sensores já descritos, cada uma das 12 juntas dos braços possui ainda sensores de força, para um sensoamento preciso do torque, além

de potenciômetros para permitir a medição do posicionamento absoluto.

O sistema motor do Cog possui um total de 21 graus de liberdade, sendo que os braços possuem 6 graus de liberdade, o torso possui 3 graus de liberdade, o pescoço possui 3 graus de liberdade e os olhos possuem 3 graus de liberdade. Cada braço possui aproximadamente a dimensão de um braço humano, com 6 graus de liberdade, cada um movimentado por um motor elétrico DC por meio de uma mola em série. A mola propicia uma medida acurada do torque em cada junta, e protege o motor de eventuais choques. O movimento dos braços ocorre alterando-se a posição de equilíbrio das juntas, e não por meio de comandos com valores nos ângulos das juntas. Esse funcionamento do braço como uma mola dá ao mesmo um comportamento “natural”: caso ele sofra algum distúrbio, ou colida com um obstáculo, o braço simplesmente recua. O distúrbio é absorvido, dispensando qualquer computação ou sensoamento explícito.

O Cog foi utilizado em diversos experimentos de atenção compartilhada, interação social (imitação de comportamentos, apontar para metas, etc.), reprodução de movimentos de braço, torso e cabeça de forma a reproduzir com a máxima fidelidade os movimentos humanos, além de outras tarefas cognitivas humanas. Foi ainda utilizado como plataforma de testes para verificar teorias sobre a mente [20].

## Os Robôs H6 e H7

Um outro exemplo de robô humanóide são os robôs H6 e H7 [23, 24,25] desenvolvidos pela Universidade de Tóquio e o JSK Laboratory (figura 10).



Figura 10 – O Robô H6

A construção do primeiro protótipo foi concluída em junho de 2000, pela *Aircraft and Mechanical Systems Division* das *Kawada Industries, Inc.* O protótipo possuía uma altura de 1370mm, um comprimento de 590mm, e um peso de 55kg, incluindo-se aí 4kg de baterias. Tinha 35 graus de liberdade: 6 para cada perna, 1 para cada pé (junta do dedo), 7 para cada braço, 1 para cada garra, 2 para o pescoço e 3 para cada olho. As juntas eram movidas por motores DC, e o controle efetuado por um PC industrial com um *dual Pentium III – 750 MHz* rodando RT-Linux, utilizado para implementar um controle servo em tempo real e compensação de balanço, bem como um sistema de visão 3D de alto nível e um algoritmo de planejamento de movimento. O sistema possui uma conexão de rede wireless ethernet.

O H6 e o H7 foram utilizados principalmente em pesquisas sobre o design e implementação de sistemas operacionais de tempo real para robôs inteligentes, a geração de padrões de movimentação de pernas em robôs bípedes, visão 3D e visão 3D de profundidade, processamento de imagens 3D e planejamento de movimento.

### Os Robôs Waseda

Outra série de robôs humanóides que ficou bastante famosa foi a série de robôs desenvolvidas no Humanoid Robotics Institute da Waseda University no Japão, tais como os os robôs falantes (figura 11) e os robôs flautistas (figura 12).



Figura 11 – Robô Falante WT-4

Os robôs falantes [26, 27, 28], começando com o WT-1 e atualmente no WT-4, tentam reproduzir o

movimento vocal humano por meio de órgãos artificiais, com pulmões artificiais e cordas vocais, lábios, cavidade nasal e pálato, com um total de 15 graus de liberdade.

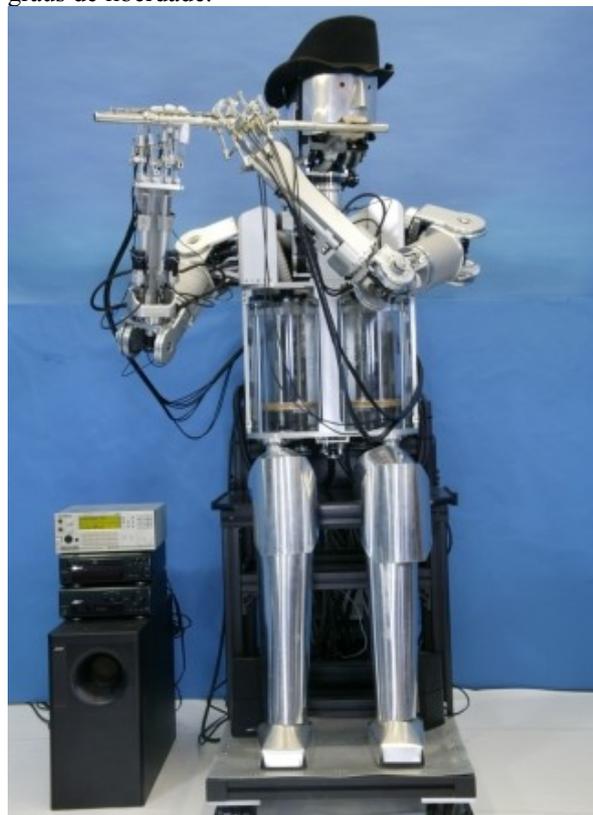


Figura 12 – Robô Flautista da Waseda

A figura 13 mostra o processo de geração de fala do WT-4

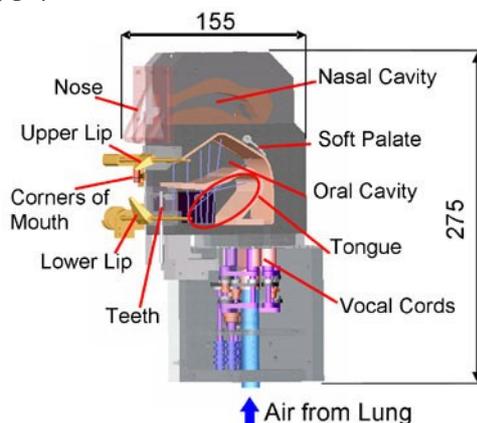


Figura 13 – Processo de Geração de Fala do WT-4

Os robôs flautistas [29,30] começaram a ser desenvolvidos a partir de 1990, com o intuito de estudar a coordenação necessária para a tarefa de tocar flauta. Essa tarefa envolve a coordenação entre os lábios, pulmões, cabeça, braços, dedos e língua, que são reproduzidos, de modo semelhante ao do robô falante, mas agora com o intuito de manusear uma flauta. A última geração de robôs-flautistas, desenvolvida em 2004, possui 38 graus de liberdade.

## Honda Asimo

O robô Asimo, da Honda, é fruto de toda uma linha de desenvolvimento de robôs humanóides da Honda [31,32], começando com a linha E0-E6, seguindo para o P1-P3, até culminar com o Asimo (figura 14).



Figura 14 – O Robô Asimo da Honda

A concepção do Asimo [33,34] previa a construção de um robô capaz de conviver com seres humanos em uma vida social, seguindo a inspiração da ficção. Tais robôs, deveriam ser capazes de se deslocar em ambientes domésticos, desviando de objetos, e subir e descer escadas. Assim, toda uma geração de robôs bípedes foram concebidos, capazes de andar em terrenos não planos e com acidentes e obstáculos.

O foco da pesquisa da Honda foi na capacidade de andar, em robôs bípedes. Diversos foram os fatores analisados. Inicialmente, o posicionamento das juntas na estrutura das pernas, imitando o posicionamento das articulações em seres humanos. Posteriormente, analisou-se a extensão dos movimentos das juntas. Em seguida, estudou-se as dimensões ideais para os segmentos das pernas, e seu impacto no peso e no centro de gravidade do robô. A seguir, determinou-se o torque nas juntas, durante o processo de andar, e diversos sensores, necessários para o processo de andar. O impacto das forças durante o andar foi estudado, considerando-se que seres humanos possuem diversos recursos para o amortecimento de

impacto, como a própria pele e a curvatura dos arcos dos pés e os movimentos dos dedos do pé. Nos robôs, materiais especiais para a absorção dos impactos foram utilizados. De modo a se conseguir um andar estável, era necessário que o robô não caísse quando o chão fosse inclinado ou acidentado, mesmo quando empurrado. Era preciso ainda saber lidar com escadas e rampas. Para se obter esse andar estável, 3 controladores de postura foram desenvolvidos: o controle de reação do chão, o controle de meta ZMP (Zero Moment Point, ou ponto de momento zero) e o controle de apoio do pé no chão. O controle de reação do chão garantia o apoio firme das solas dos pés, absorvendo irregularidades do piso. O controle de meta ZMP mantinha a posição enquanto acelerava o torso superior na direção em que o robô ameaçava cair, quando as solas não conseguiam um suporte firme. O controle de apoio do pé no chão utilizava apoios laterais de modo a se ajustar irregularidades no torso superior, causadas pelo controle de meta ZMP.

Esses sistemas têm seu funcionamento ilustrado na figura 15 abaixo:

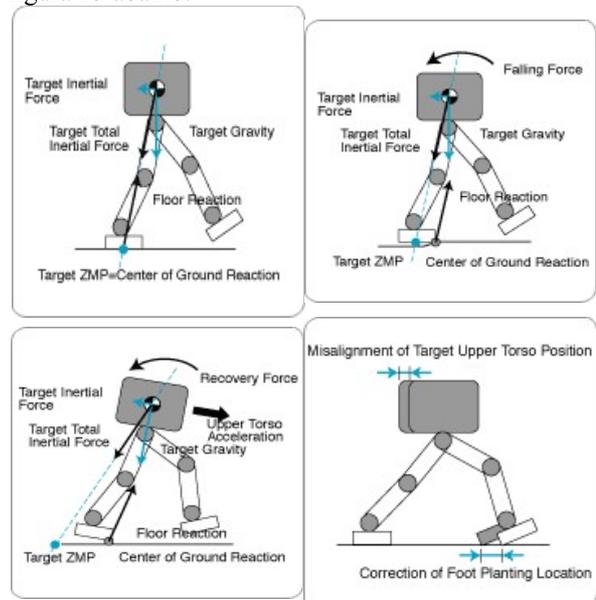


Figura 15 – Sistema de Controle de Postura

## Sony QRIO

A Sony também vem desenvolvendo, à semelhança da Honda, uma linha de robôs humanóides. Dentre os protótipos mais recentes, encontra-se o SDR-3X, capaz de dançar [35,36]. O passo seguinte na evolução foi o SDR-4X (figura 16), capaz de reconhecer até 60 mil palavras. O SDR-4X atende quando é chamado e conversa com as pessoas [37]. Um dos avanços técnicos mais significativos no SDR-4X é sua integração de diversas características, tais como um controle de movimento em tempo real, reconhecimento de faces, reconhecimento de voz e outros. As linhas que sucederam ao SDR-4X ganharam da Sony o apelido QRIO (Quest for cuRIOsity) [38,39,40,41,42,43]. A principal meta do QRIO (figura 17) é explorar autonomamente e passear

dentro de um ambiente doméstico, bem como se comunicar com seres humanos. Neste contexto, um grande problema é a capacidade de evitar obstáculos em ambientes não estruturados e desconhecidos. Dentre outros desafios, é necessário evitar que o robô perca sua estabilidade e caia, caso colida com algum obstáculo. O QRIO utiliza uma estratégia de estimação de solo baseada em informação de estereovisão, que detecta o plano do solo utilizando uma versão randomizada da transformada de Hough.



Figura 16 – O Robô SDR-4X da Sony



Figura 17 – O Robô QRIO

O QRIO está equipado com um sistema de estabilização de movimento de corpo inteiro, composto de 38 juntas controladas por um atuador servo inteligente (ISA), especialmente desenvolvido para esse propósito. Este sistema permite ao QRIO andar em terrenos inclinados e irregulares, e permite

ao robô se re-estabilizar imediatamente, mesmo quando alguma força externa afete seu balanço. Um sub-sistema de geração de padrões permite ao QRIO diversos padrões de movimentos, desde o andar ativo e estável até desempenhos artísticos, como danças.

Para viabilizar toda essa flexibilidade, o QRIO utiliza um grande número de sensores, capazes de detectar inclusive mudanças na superfície e reagir adequadamente. Quatro sensores de pressão na sola de cada pé são utilizados para detectar a quantidade de força recebida durante o andar. Quando o pé do robô toca uma superfície irregular, o sensor detecta a inclinação do solo e o pé é posicionado de acordo com essa inclinação. A atitude do corpo é então a de se inclinar para se ajustar, de modo que o robô mantenha uma posição estável enquanto se move. O QRIO pode ajustar disparidades de elevação de até 1 cm e inclinações de até 10 graus.

Caso o QRIO seja empurrado, ele se voltará contra a direção em que foi empurrado, de forma a evitar uma queda. Os sensores nas solas dos pés se combinam aos sensores de posição para detectar uma força externa, que pode vir da frente, de trás, da direita ou da esquerda. Caso ele perceba que a reação a essa força será impossível, ele cessa todos os movimentos, tentando evitar uma queda.

Caso ele perceba que uma queda é inevitável, ele assume uma posição para diminuir o impacto e comanda os atuadores das juntas para uma posição de relaxamento, diminuindo o choque da queda. Depois de uma queda, os sensores de posição detectam a posição resultante, e imediatamente um procedimento para colocar o robô de pé, de novo, é iniciado. Da mesma forma, o robô tem uma série de estratégias para se recuperar de posições a que seja forçado por forças externas.

Com relação a suas habilidades de interação social, o QRIO está equipado com uma câmera e a habilidade de reconhecer faces. Ele é capaz de reconhecer faces e identificar pessoas. Ele pode ainda aprender as faces de pessoas com as quais se encontra pela primeira vez, e responde de maneira específica individualmente.

Além disso, o QRIO possui reconhecimento de voz. Ele pode determinar quem está falando. Caso seja chamado, e reconheça a voz de quem o chamou, ele executará uma resposta personalizada. Caso ele não reconheça a voz que o chama, poderá aprendê-la. Ele tem capacidade de compreender algumas palavras isoladas. Os sete microfones em sua cabeça identificam a direção da voz que o chama. Ele reconhece por volta de 10.000 palavras, e pode aprender palavras novas. Alguns tipos de diálogos podem ser estabelecidos com o QRIO, utilizando as palavras mais utilizadas por quem fala com ele. A ilusão de uma conversa verdadeira pode iludir uma criança, por exemplo, que pensa estar realmente conversando com o robô. Como ele armazena as palavras reconhecidas individualmente por cada voz, quanto mais um determinado falante se comunicar com o QRIO, mais natural parecerá o diálogo com ele.

Adicionalmente ao reconhecimento de voz, o QRIO possui síntese de fala, podendo inclusive cantar. Além das palavras que ele já conhece, o QRIO pode aprender novas palavras e utilizá-las em sua conversação. Ele é capaz de expressar emoções por meio da qualidade e da entonação de sua voz.

O sistema de voz está acoplado ao sistema motor, de forma que após identificar com quem está falando, o QRIO pode agir de maneira personalizada. A ilusão de comportamento autônomo e personalizado é marcante. Além disso, o QRIO pode expressar diferentes estados emocionais, por meio de cores nos seus olhos e outras luzes.

O QRIO possui um ponto de acesso a rede wireless, podendo se conectar a outros dispositivos wireless disponíveis em uma residência, podendo controlá-los, caso haja essa possibilidade.

Por fim, o QRIO pode operar por cerca de 1 hora com uma bateria completamente carregada. Talvez seja esse o principal empecilho para que seja disponibilizado comercialmente em larga escala.

## Emoções e Sistemas Inteligentes

As pesquisas com robôs humanóides acabaram por demonstrar a importância das emoções [44] em robôs sociais. Dentro da inteligência artificial, esse fenômeno já vem sendo estudado há algum tempo, em uma área que se convencionou chamar de “computação afetiva” [45]. A área de computação afetiva é bastante ampla, e tem por objetivo estudar as possíveis implementações de emoções em computadores e/ou outros sistemas artificiais [46]. Dentre outras coisas, os computadores podem ser utilizados para testar diferentes teorias de emoções, para reconhecer emoções humanas, para expressar emoções, para responder de maneira inteligente a emoções humanas e, de uma maneira mais extrema e controversa, para emular emoções. Uma comunicação afetiva entre um ser humano e um robô social é muito importante para criar uma ilusão de que se interage com um ser inteligente. Essa comunicação muitas vezes ocorre de maneira somente subliminar, e é fundamental para a criação de um vínculo emocional com os seres humanos com os quais se interage. Em um robô social, portanto, três habilidades relacionadas a emoções se destacam:

- A capacidade de reconhecer emoções
- A capacidade de simular emoções
- A capacidade de emular emoções

A capacidade de reconhecer emoções visa a interação com seres humanos. Muitas vezes, é necessário que o robô reconheça as emoções de seus interlocutores, de forma a agir de maneira apropriada. A capacidade de simular emoções, tem o mesmo propósito, só que na direção contrária. A idéia é que simulando estados emocionais que possam ser detectados pelos interlocutores humanos, o robô possa passar uma ilusão melhor de se estar a interagir com uma entidade inteligente. Por fim, a mais controversa das habilidades (e talvez também a mais interessante)

é a capacidade de emular emoções [47,48]. Neste caso, se advoga que os robôs realmente passem por estados emocionais similares aos de seres humanos e animais. Este tema é bastante controverso, e provoca as mais distintas reações por partidários favoráveis ou contrários a sua possibilidade. A simples hipótese de que um dispositivo artificial possa ter emoções como as de um ser humano pode provocar reações extremas de alguns pesquisadores de cunho mais humanista. Na verdade, toda essa polêmica sobre a emulação de emoções começou com o trabalho de Daniel Goleman [49] sobre inteligência emocional. Goleman propunha em seu trabalho uma nova interpretação do fenômeno de emoção, e mostrava a importância das emoções para a inteligência. De uma maneira muito sumária, considerando-se o grande número de opções a serem testadas por um ser inteligente, o diferencial que pondera cada uma destas opções, e permite que uma escolha inteligente ocorra é exatamente o fator emocional. A partir das idéias de Goleman, seguidas depois por Damásio [50], Edelman [51] e outros, começou-se a especular sobre uma definição mais abstrata de emoção, que poderia igualmente compreender as emoções humanas, bem como eventuais emoções em dispositivos artificiais criados pelo homem. Esse conceito abstrato de emoção basicamente entendia uma **emoção como uma avaliação de um propósito**. Assim, o medo pode ser visto como um sinal sensorial interno que avalia o quanto uma situação pode representar de risco à integridade física do indivíduo. A fome, avalia as condições energéticas internas do indivíduo quanto ao propósito de conservação de energia. A curiosidade avalia o quanto uma determinada ação serve ao propósito de aumentar o conhecimento que o indivíduo possui sobre seu ambiente. Outras emoções mais sofisticadas, poderiam ser descritas de maneira semelhante. Assumindo-se essa visão mais abstrata do que seja uma emoção, era agora possível não somente que sistemas artificiais simulassem ter emoções, mas sim efetivamente emular essas emoções, utilizando essas avaliações em suas tomadas de decisões, conforme os princípios da inteligência emocional.

A questão da associação de emoções com robôs vêm sendo discutida a mais tempo [52,53]. Alguns trabalhos visam estudar realmente a questão da emulação de emoções em robôs de forma a proporcionar-lhes inteligência [54,55,56,57,58,59]. Outros estudos visam somente a simulação de emoções, de modo a proporcionar uma interação social mais adequada entre os robôs e seres humanos [61,62,63,64].

## Kismet

Um dos robôs mais famosos capaz de simular emoções é o Kismet, desenvolvido no MIT. Diversos foram os princípios que orientaram o desenvolvimento deste projeto. Um dos principais, relacionado à questão das emoções, é que para que um robô possa interagir socialmente de maneira adequada, ele deve possuir um fator chamado de “credibilidade”, ou seja,

a capacidade de provocar a ilusão de que é um ser vivo. Dentre outras coisas, o robô deve ser capaz de exprimir estados emocionais, e agir de maneira consistente com esses estados, para criar essa ilusão. Deve ainda ser capaz de proporcionar a impressão de intencionalidade em suas ações, ou seja, parecer ter crenças, desejos e intenções. Para evocar essas impressões, o robô deve replicar traços distintivos que os seres humanos utilizam para indicar suas emoções. O robô Kismet (figura 18) foi construído de tal forma a contemplar esses requisitos.

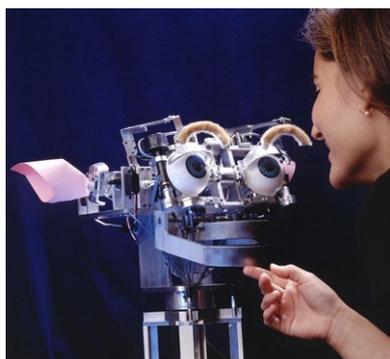
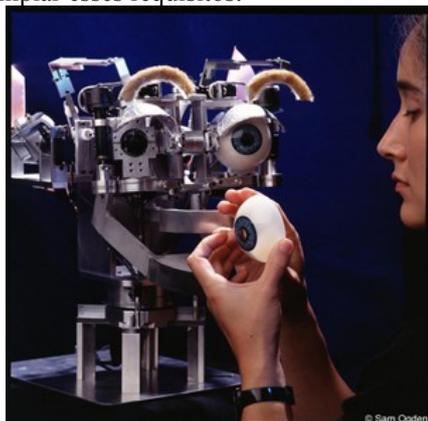


Figura 18 – Detalhes do Robô Kismet

O Kismet (figura 18) é um robô com 15 graus de liberdade, com o formato do rosto de uma criatura artificial, dotado de diversas características faciais, de forma a exprimir estados emocionais. Dentre outras coisas, o Kismet possui olhos, sombrancelhas, orelhas, pálpebras, lábios e boca, que se movimentam de forma a exprimir emoções tais como felicidade, tristeza, surpresa, aborrecimento, raiva, calma, desprazer, medo e interesse.

A plataforma conta com um sofisticado sistema de visão, com 4 graus de liberdade, onde cada olho possui um eixo independente de rotação (pan), e os dois olhos compartilham um mesmo eixo horizontal conjunto (tilt), e o pescoço conta com um grau de liberdade. Cada olho corresponde a uma câmera colorida do tipo CCD com distância focal de 5.6 mm. O Kismet está acoplado a uma plataforma paralela com 8 processadores DSP de 50 Mhz (Texas Instruments TMS320C40), responsáveis pelo processamento da imagem e dois microcontroladores Motorola 68332, responsáveis pelo sistema

motivacional. Além do sistema de visão, o Kismet possui um sistema de síntese de voz e um sistema de reconhecimento de voz que procura distinguir traços afetivos. O sistema roda em PCs rodando Windows NT e Linux.

Um exemplo dos diferentes tipos de emoções que podem ser exprimidos pelo Kismet pode ser visto na figura 19.

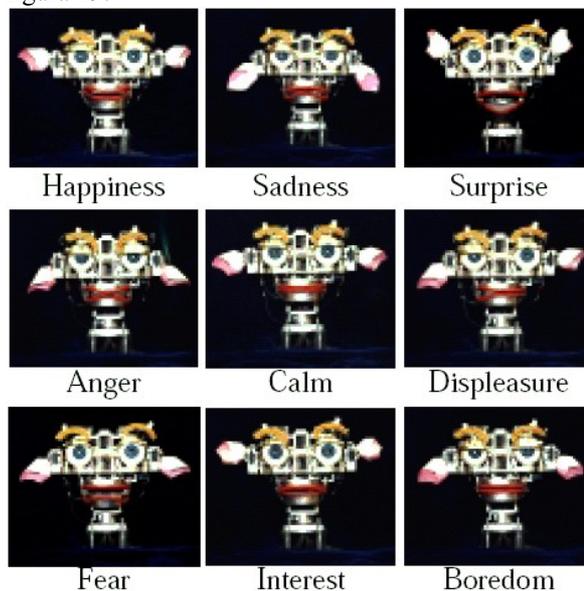


Figura 19 – Diferentes tipos de expressão possíveis com o Kismet

As emoções do Kismet são controladas por um sistema motivacional, capaz de gerar “drives” e “emoções”. Os “drives” representam um conjunto de necessidades básicas do robô: a necessidade de interagir com pessoas (o “drive” social), a necessidade de ser estimulado por objetos (o “drive” de estimulação), e a necessidade de descansar (o “drive” de fadiga). Para cada um dos “drives”, existe um ponto de operação desejado, e limites aceitáveis de operação no entorno deste ponto (o regime homeostático). Caso algum “drive” não seja contemplado, o valor do “drive” tende a cair, e caso seja sobre-estimulado, o “drive” tende a subir. Caso o valor do “drive” saia de seu regime homeostático, o robô se sente motivado a agir de forma a restaurar o “drive” a seu regime homeostático. As “emoções” do robô são o resultado de seu estado afetivo. O estado afetivo do robô é representado como um ponto em três dimensões: atenção (alta, neutra, baixa), sociabilidade (positiva, neutra, negativa) e posição (aberta, neutra, fechada). O estado afetivo pode ser computado somando-se as contribuições dos “drives” e dos comportamentos. Percepções do ambiente podem também alterar o estado afetivo por meio dos mecanismos de liberação. Estes mecanismos estão associados a marcadores somáticos, capazes de alterar os valores de atenção, sociabilidade e posição. Para influenciar o comportamento, e evocar uma expressão facial correta, o espaço de estados afetivos é dividido em regiões de emoção. Cada região é característica de alguma emoção humana. Por exemplo, felicidade é

caracterizada por uma sociabilidade positiva e uma atenção neutra. A região cujo centro é o mais próximo do estado afetivo corrente é considerada então ativa. O sistema motivacional influencia os processos de seleção de comportamento e seleção de atenção baseados na emoção ativa corrente. Essa emoção ativa corrente também é responsável pela ativação das respostas motoras que controlam as expressões faciais.

Dentre outras aplicações, o Kismet foi utilizado para tentar imitar as emoções humanas. Por meio de visão e audição, o robô tenta identificar o estado emocional de seu interlocutor, e passa a imitar esse mesmo estado. O robô pode também imitar pequenos gestos, tais como movimentos da cabeça e dos olhos. Outros experimentos visam estimar o foco de atenção de seus interlocutores. O Kismet tenta identificar os olhos de seus interlocutores, e estimar para que estão olhando.

### Semiótica e Cognição Artificial

O aprendizado obtido com os robôs capazes de interação social levaram os desafios a mais altos patamares. Além de interagir com seus interlocutores humanos e ser capaz de simular uma conversação, o próximo passo era tentar estabelecer um diálogo real entre o robô e seus interlocutores. Para isso, era necessário que os robôs não somente parecessem entender um diálogo verbal, mas que realmente se colocassem em diálogo verbal. A chave para que isso se tornasse possível estava em uma disciplina que durante muito tempo foi estudada somente dentro do escopo das ciências humanas: a semiótica.

A semiótica é uma área de estudos que se especializa na compreensão e modelagem dos fenômenos de representação e comunicação. Durante muito tempo, a inteligência artificial desprezou a semiótica, assumindo que o pensamento se dava somente por meio de símbolos. Imaginava-se que, conhecendo os processos de inferência lógica, seria possível imitar-se o pensamento humano por meio do processamento dedutivo simbólico. Entretanto, isso acabou por criar um sério problema que até hoje ainda não foi devidamente solucionado, que é o problema da falta de fundamento simbólico (symbol grounding problem) [65]. Em outras palavras, os símbolos utilizados internamente pelos computadores não tinham nenhuma associação com os fenômenos do mundo que supostamente deveriam representar. Isso acontecia, pois esses primeiros sistemas de inteligência artificial não eram “incorporados” [9], ou seja, não possuíam contato com o mundo real. Uma vez que a inteligência artificial passou a equipar os robôs, essa deficiência poderia agora ser sanada. Entretanto, para subsidiar essa possibilidade, era necessária uma teoria de como símbolos e os sinais sensoriais obtidos por meio de sensores e atuadores se associavam. Quem pode fornecer essa teoria é a semiótica. Nascia aí, portanto, a Semiótica Computacional [66]. Dos primeiros experimentos tentando buscar uma fundamentação para linguagem em dados sensoriais [67,68], passou-se aos jogos de

linguagem [69,70,71,72,73,74,75,76], onde os participantes utilizavam de protocolos de diálogo para estabelecer o sentido de termos elaborados de maneira evolutiva. Um experimento que ficou bastante famoso na época foi o dos chamados “Talking Heads” [77].

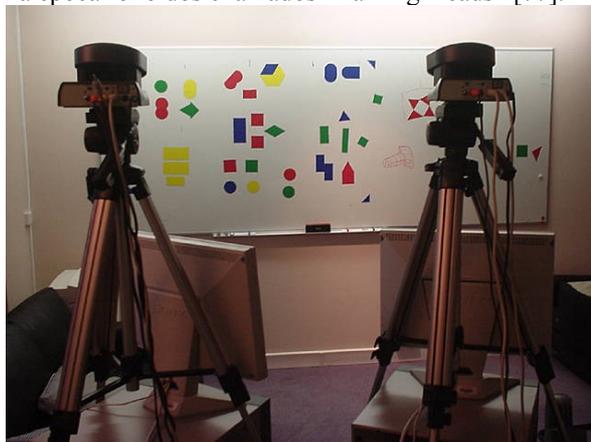


Figura 20 – O Experimento Talking Heads

Neste experimento (figura 20), dois robôs muito simples, dotados de uma câmera cada um, mais um microfone e sintetizador de voz, podem focalizar sua atenção sobre objetos geométricos colocados na em uma lousa, e tentam criar um nome para o que estão “vendo”. Estabelece-se então um jogo de linguagem da seguinte forma. O primeiro jogador focaliza sua atenção em algum ponto da lousa, elabora um conceito icônico para o que está “vendo”, e vocaliza um termo para designar o que está vendo. O outro jogador, escuta e processa essa vocalização, e tenta adivinhar a que objetos o termo se refere. Após avaliar as possibilidades, escolhe um conjunto de objetos e aponta para eles. Caso ele acerte, a ligação entre o conceito visual e o termo escutado é reforçada. Caso erre, o jogo recomeça. Após um certo número de iterações, o jogo passa a convergir, e um léxico de termos linguísticos emerge, fruto de uma convenção entre os jogadores.

Um outro experimento bastante famoso foi o do cão-robô Aibo [78], desenvolvido pela Sony.



Figura 21 – Aibo: O Cão-Robô da Sony

O Aibo é um robô prodigioso. Controlado por um processador de 64 bits com 576 MHz, uma porta LAN wireless e sua mente artificial armazenada em uma memória Flash, utilizando baterias de íons de lítio, o Aibo foi projetado para ser um robô de entretenimento com características impressionantes. Cada Aibo é único e completamente autônomo. Ele pode ver, ouvir, sentir e se movimentar. Ele é capaz ainda de se conectar por rede wireless com outros dispositivos eletrônicos transmitindo fotos, arquivos de sons e mensagens. Ele pode tirar fotos e gravar clips de vídeo. Pode ser programado para detectar movimentos e situações, e tirar fotos e enviá-las por e-mail. Ele possui compreensão do calendário e pode agendar eventos como hora de acordar ou dormir. Pode ainda tocar músicas em formato MP3 armazenadas. Possui um sofisticado sistema de emoções, entrando em sintonia com o seu “dono”.

O Aibo evolui junto com seu dono. Inicialmente atuando como um filhote que chega ao mundo, ele passa a reconhecer vozes e rostos de seus “donos”, passando a reagir de maneira personalizada a eles. A personalidade do Aibo evolui à medida que ele interage com seu dono e descobre seus gostos e preferências. Reconhece alguns comandos em inglês e é capaz de executar algumas manobras especiais. À medida que vai “crescendo”, ele cria um vínculo com seu dono, procurando-o a todo instante, e sendo capaz de distingui-lo de outras pessoas. Ele pode armazenar CD's e somente vendo a capa do CD ele pode tocá-lo para seu dono.

Por meio de sensores de toque em sua cabeça, o Aibo pode ser treinado a executar novas manobras. Por meio de sensores em suas patas, ele pode determinar o tipo de terreno que está caminhando, e encontrar um padrão de movimento adequado para o tipo de terreno.

Dotado de microfones estereofônicos, ele pode localizar a origem dos sons que o cercam, e virar-se em direção a eles.

Uma das mais impressionantes características do Aibo, entretanto, é sua capacidade de auto-alimentação. Ele possui uma estação de recarregamento de energia e pode identificar sua localização. O Aibo está constantemente monitorando suas baterias. Quando as baterias estão fracas, ele procura pela estação de carregamento, acopla-se a ela e inicia um processo de carregamento. Quando as baterias estão carregadas, ele abandona o posto de carregamento e volta a suas atividades.

## Robótica Evolutiva

Alguns pesquisadores da área de robótica, recentemente começaram a conjecturar sobre o fato de que, ao contrário de seres vivos, uma diferença fundamental entre os corpos de robôs e corpos de seres vivos é o fato de que o corpo de robôs é sempre o mesmo. Apesar da mente do robô poder evoluir, utilizando-se técnicas de aprendizado, o corpo permanece sempre o mesmo, ao contrário de seres vivos, cujos corpos estão sempre sendo modificados.

Segundo alguns destes pesquisadores, essa restrição poderia limitar as potencialidades de evolução das mentes dos próprios robôs, uma vez que em seres vivos essa evolução ocorre em co-evolução com as mudanças dos corpos.

A partir desta observação, surgiu uma nova modalidade de estudos na área de robótica, que acabou sendo conhecida como robótica evolutiva [79,80,81,82,83,84]. Nesta área, tanto o sistema de controle como o próprio corpo dos robôs são desenvolvidos de maneira evolutiva. É óbvio que grande parte do processo se dá por meio de simulação. Entretanto, alguns protótipos de robôs que tiveram um bom desempenho em suas tarefas podem ser construídos e utilizados no mundo real, tal como o exemplo da figura 22.



Figura 22 – Robô evoluído para produzir movimento horizontal

Os trabalhos de pesquisa em robótica evolutiva estão em grande parte associados a uma outra área de pesquisa conhecida como vida artificial, contribuindo de maneira significativa para o entendimento das origens da vida, bem como da inteligência.

## Consciência

Por fim, uma das últimas fronteiras onde a robótica começa a se aventurar é na questão da consciência. Este assunto, a consciência, vem sendo discutida já há bastante tempo dentro do âmbito da filosofia moderna [85,86], sendo que, da mesma maneira que no caso das emoções, sempre desperta polêmica quando é empregado para referenciar uma propriedade passível de existir em um sistema artificial. Além de filósofos, neurocientistas e cientistas cognitivos têm investido grande esforço na tarefa de compreender melhor este fenômeno [87,88,89]. O problema em se falar de consciência em sistemas artificiais é que este fenômeno é bastante complexo, e mesmo que se utilize um conceito bastante abstrato de consciência, que possa ser empregado tanto em seres humanos como em sistemas artificiais, a coisa não é tão simples como no caso das emoções. Parecem existir diferentes níveis de consciência. Mais do que isso, alguns desses níveis parecem estar ligados à questão da memória, e principalmente da memória episódica. Entretanto, de maneira bastante cautelosa, alguns cientistas já começam a especular as possibilidades de se falar de consciência em sistemas artificiais [90,91,92,93,94].

Em seus níveis mais elementares, a consciência poderia ser entendida como a percepção de coisas que acontecem no mundo. Para que um robô possua uma consciência desse tipo, basta que ele seja capaz de possuir um mapa interno de seu ambiente, e através de seus sensores e atuadores, construa modelos de objetos do mundo e os posicione neste mapa. Caso ele seja capaz de reconhecer-se também como uma entidade do mundo, e posicionar-se nele, poderia-se dizer que o robô possui auto-consciência. Mas a coisa não é tão simples assim, e diversas sutilezas tornam o problema mais complexo do que poderia parecer de início. O fato é que tais problemas estão sendo tratados de maneira séria, e abordagens não ingênuas da questão começam a despontar.

## Conclusão

Neste trabalho, visamos situar o leitor dentro das fronteiras atuais de pesquisa envolvendo robótica e inteligência artificial. Não foi nossa intenção fazer uma abordagem detalhada dos tópicos abordados, mas tão somente situar o leitor e direcioná-lo para a literatura técnica especializada disponível. Desta forma a extensa lista de referências que buscamos trazer, pode complementar um estudo mais aprofundado dos diversos temas aqui abordados.

Convém, entretanto, ressaltar o que já é tecnologia dentro de tudo isso, e o que é ainda alvo de pesquisa científica. Tópicos como o uso de técnicas de inteligência artificial (redes neurais, lógica fuzzy, algoritmos evolutivos) em robótica industrial e mesmo robótica móvel, já são hoje tecnologia. São utilizados cotidianamente em produtos vendidos por empresas comerciais. Existem sim fronteiras de pesquisa nesta área, mas estas são bastante especializadas, e visam a utilização de tais técnicas em diferentes nichos de aplicações. Algumas noções, tais como as idéias de cognição incorporada [95] e inteligência artificial incorporada [96] já não são somente teorias alternativas das ciências cognitivas, como eram no passado, mas ganharam o status de pensamento científico corrente (*mainstream*). A área de “Mentes Artificiais” [97,98], deixou o status de uma curiosidade técnica, e passa a tópicos de pesquisa, com diversos pesquisadores envolvidos em seu desenvolvimento. As áreas de Semiótica Computacional [66,99] e Cognição Artificial [100, 101] constituem-se hoje em fronteiras de pesquisa bastante atuantes. O mesmo se dá nas áreas de emoções e sistemas inteligentes e no desenvolvimento de robôs humanóides. Alguns produtos, como o QRIO e o Aibo já começam a aparecer no mercado, embora ainda como curiosidades, e não para consumo de massa.

O fato é que, apesar de estarmos ainda distantes dos sonhos da ficção científica, muitos progressos já foram efetuados, e devagar mas persistentemente, as dificuldades da inteligência artificial vão sendo superadas, e a robótica vêm sendo uma grande aliada na superação dos obstáculos apontados no passado.

As fronteiras de pesquisa, cada vez mais voltam-se para uma tendência de multi-disciplinaridade [102], e diversas áreas, tais como a semiótica, a psicologia, a filosofia, a neuro-biologia acabam precisando se consorciar de forma a gerar as novas tecnologias que vêm surgindo em direção ao futuro.

## Agradecimentos

O autor agradece ao CNPq, pela bolsa de produtividade em pesquisa, processo #304649/2004-0

## Referências

- [1] V.F. Romano, “Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos”, Editora Edgard Blücher Ltda., 2002.
- [2] A.J. Álvares, T.F. Bastos Fo., H.A. Schneebeli, S.R.G. Tourino, “Tendências e Aplicações Especiais” in V.F. Romano (ed.) Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, Editora Edgard Blücher Ltda, 2002, pp. 192-215.
- [3] R. A. Brooks, "Achieving Artificial Intelligence Through Building Robots", MIT AI Lab Memo No. 899, May 1986.
- [4] S. Russell, P. Norvig, “Artificial Intelligence – A Modern Approach”, Prentice Hall, 1995.
- [5] F. Hayes-Roth, D. Waterman, D.B. Lenat (eds.), “Building Expert Systems”, Addison-Wesley Publ. Company, 1983.
- [6] R. A. Brooks, "Elephants Don't Play Chess", Robotics and Autonomous Systems (6), 1990, pp. 3–15.
- [7] J.S. Albus, “Outline for a Theory of Intelligence”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 21, n. 3, May/June 1991.
- [8] H.R. Maturana, F.J. Varela, “Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living”, Springer, 1991.
- [9] F.J. Varela, E.T. Thompson, E. Rosch, “The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience”, MIT Press 1991.
- [10] R.A. Brooks, and L.A. Stein, "Building Brains for Bodies", Autonomous Robots (1:1), November 1994, pp. 7–25.
- [11] R.A. Brooks, "A Robot That Walks; Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network," MIT AI Lab Memo 1091, February 1989.
- [12] H.-J. Weidemann, F. Pfeiffer, J. Eltze, “A Design Concept for Legged Robots Derived from the Walking Stickinsect”, Proceedings of the 1993

- IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems '93, IROS '93.
- [13] K. Weber, S. Venkatesh, M.V. Srinivasan, "Insect Inspired Behaviours for the Autonomous Control of Mobile Robots", Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition, 1996.
- [14] F. Delcomyn, "Walking Robots and the Central and Peripheral Control of Locomotion in Insects", *Autonomous Robots* 7, 259-270 (1999).
- [15] R.D. Quinn, G.M. Nelson, R.J. Bachmann, D.A. Kingsley, J.Offi, and R.E. Ritzmann, "Insect Designs for Improved Robot Mobility" Proc. 4th Int. Conf. On Climbing and Walking Robots, Berns and Dillmann eds. 69-76, 2001.
- [16] R.A. Brooks, "From Earwigs to Humans", Proceedings IAS The Third Brain and Mind International Symposium Concept Formation, Thinking and Their Development, Kyoto, Japan, May 1996, pp. 59-66.
- [17] R.A. Brooks, "Prospects for Human Level Intelligence for Humanoid Robots", Proceedings of the First International Symposium on Humanoid Robots (HURO-96), Tokyo, Japan, October, 1996.
- [18] Brooks, R.A., C. Breazeal, B. Scassellati and U.-M. O'Reilly, "Technologies for Human/Humanoid Natural Interactions", HURO-99: Proceedings of the Second International Symposium on Humanoid Robots, Tokyo, Japan, 1999, pp. 135-147.
- [19] Adams, B., Cynthia Breazeal, Rodney A. Brooks, Brian Scassellati, "Humanoid Robots: A New Kind of Tool", *IEEE Intelligent Systems and Their Applications: Special Issue on Humanoid Robotics*, Vol. 15, No. 4, July/August 2000, pp. 25-31.
- [20] Scassellati, Brian. "Foundations for a Theory of Mind for a Humanoid Robot", Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Cambridge, MA, PhD Thesis, June 2001.
- [21] Scassellati, Brian. "Mechanisms of Shared Attention for a Humanoid Robot", Proceedings of the 1996 AAAI Fall Symposium on Embodied Cognition and Action, Cambridge, MA, November 1996.
- [22] Brooks, Rodney, Cynthia Breazeal, Matthew Marjanovic, Brian Scassellati and Matthew Williamson. "The Cog Project: Building a Humanoid Robot", in C. Nehaniv, ed., *Computation for Metaphors, Analogy and Agents*, Vol. 1562 of Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1998.
- [23] Koichi NISHIWAKI, Tomomichi SUGIHARA, Satoshi KAGAMI, Fumio KANEHIRO, Masayuki INABA, Hirochika INOUE, "Design and Development of Research Platform for Perception-Action Integration in Humanoid Robot : H6", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'00), vol. 3, pp. 1559-1564, 2000.
- [24] James J. Kuffner Jr., Satoshi KAGAMI, Masayuki INABA, Hirochika INOUE, "Dynamically-stable Motion Planning for Humanoid Robots", Proc. of IEEE International Conference on Humanoid Robotics (Humanoid2000), 2000
- [25] J.J. KUFFNER, K. NISHIWAKI, S. KAGAMI, M. INABA, H. INOUE, "Motion Planning for Humanoid Robots Under Obstacle and Dynamic Balance Constraints", Proc. of International Conference on Robotics and Automation (ICRA'01), pp. 692-698, 2001.
- [26] Kazufumi Nishikawa, Kouichirou Asama, Kouki Hayashi, Hideaki Takanobu, Atsuo Takanishi, "Development of a Talking Robot", IEEE International Conference on Intelligent Robot and Systems (IROS2000), October 2000, pp.1760-1765.
- [27] Takemi Mochida, Sadao Hiroya, Masaaki Honda, Kazufumi Nishikawa and Atsuo Takanishi, "Articulatory Control of Talking Robot by Mimicking Formant Trajectories of Human Speech", Proceedings of the 6th International Seminar on Speech Production, December 2003, pp.173-178.
- [28] Kazufumi Nishikawa, Toshiharu Kuwae, Hideaki Takanobu, Takemi Mochida, Masaaki Honda and Atsuo Takanishi - "Mimicry of Human Speech Sounds using an Anthropomorphic Talking Robot by Auditory Feedback", Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ Intl.Conference on Intelligent Robot and Systems, pp. 272-278.
- [29] Atsuo Takanishi, Mituharu Sonehara, Hayato Kondo, "Development of an Anthropomorphic Flutist Robot WF-3RII", Proceedings of the IROS'96 IEEE/RSJ, pp.37-43.
- [30] Keisuke Chida, Isamu Okuma, Shuzo Isoda, Yukako Saisu, Kunimitsu Wakamatsu, Kazufumi Nishikawa, Jorge Solis, Hideaki Takanobu, Atsuo Takanishi, "Development of a New Anthropomorphic Flutist Robot WF-4", Proceedings of the 2004 IEEE International

- Conference on Robotics & Automation, pp.152-157.
- [31] K. Hirai, "Current and Future Perspective of Honda Humanoid Robot", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 500-508, 1997.
- [32] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, T. Takenaka, "The Development of Honda Humanoid Robot", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Leuven, Belgium, May 1998, pp. 1321-1326
- [33] M. Hirose, Y. Haikawa, T. Takenaka, and K. Hirai, Development of Humanoid Robot ASIMO, Proc. IEEE/RSJ, Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop2, (Oct. 29, 2001), 2001.
- [34] Asimo web site: <http://world.honda.com/ASIMO/>
- [35] T. Ishida, Y. Kuroki, J. Yamaguchi, M. Fujita and T.T. Doi, "Motion Entertainment by a Small Humanoid Robot Based on OPEN-R", in Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS-01), pp.1079-1086, 2001.
- [36] Y. Kuroki, T. Ishida, J. Yamaguchi, M. Fujita and T.T. Doi, "A Small Biped Entertainment Robot", in Proc. Int. Conf. on Humanoid Robots, pp.181-186, 2001.
- [37] M. Fujita, Y. Kuroki, T. Ishida and T.T. Doi, "A Small Humanoid Robot SDR-4X for Entertainment Applications", in International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2003.
- [38] Geppert, L., "Qrio, the robot that could", IEEE Spectrum, May 2004, Vol. 41, n. 5, pp 34- 37.
- [39] Sawada, T. Takagi, T. Fujita, M. "Behavior selection and motion modulation in emotionally grounded architecture for QRIO SDR-4XII", Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). 28 Sept.-2 Oct. 2004, Volume 3, pp. 2514- 2519
- [40] Fumihide Tanaka, Kuniaki Noda, Tsutomu Sawada and Masahiro Fujita, "Associated Emotion and Its Expression in an Entertainment Robot QRIO", Proceedings of the ICEC 2004: Third International Conference on Entertainment Computing, Eindhoven, The Netherlands, September 1-3, 2004, Lecture Notes in Computer Science, Volume 3166 / 2004, pp. 499 – 504
- [41] Sabe, K. Fukuchi, M. Gutmann, J.-S. Ohashi, T. Kawamoto, K. Yoshigahara, T. "Obstacle avoidance and path planning for humanoid robots using stereo vision", Proceedings of ICRA '04: 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 26 April-1 May 2004, Vol 1, pp. 592- 597.
- [42] Masato Ito, Jun Tani On-line Imitative Interaction with a Humanoid Robot Using a Dynamic Neural Network Model of a Mirror System, Adaptive Behavior, Vol. 12, No. 2, 93-115 (2004)
- [43] QRIO Web Site: <http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/>
- [44] Martha C. Nussbaum, "Upheavals of Thought", Cambridge University Press, 2001.
- [45] Rosalind W. Picard, "Affective Computing", The MIT Press, 2000.
- [46] Robert Trapp, Paolo Petta, Sabine Payr (eds.), "Emotions in Humans and Artifacts", The MIT Press, 2003.
- [47] Rodrigo Ventura, Emotion-based Agents, MSc. Thesis, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portugal, 2000
- [48] Botelho, L.M. and Coelho, H. 2001. "Machinery for artificial emotions", Cybernetics and Systems 32(5):465-506
- [49] Daniel Goleman, "Emotional Intelligence" Bantam, 1995.
- [50] Antonio Damásio, "Descarte's Error : Emotion, Reason, and the Human Brain", Quill, 1995.
- [51] Gerald Edelman, "Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind", Basic Books, 1993.
- [52] Aaron Sloman and Monica Croucher, "Why Robots will have Emotions" Proceedings of the 7<sup>th</sup> IJCAI – International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1981, Vancouver.
- [53] Cañamero, D. (ed.) 1998. Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition. Papers from the 1998 AAAI Fall Symposium. Technical Report FS-98-03. Menlo Park, CA: AAAI Press. ISBN: 1-57735-077-4.
- [54] Cañamero, D. 1997. Modeling Motivations and Emotions as a Basis for Intelligent Behavior. In W. Lewis Johnson, ed., Proceedings of the First International Symposium on Autonomous Agents (Agents'97), 148-155. New York, NY: The ACM Press
- [55] Sandra Clara Gadanho, John Hallam, Emotion-Triggered Learning for Autonomous Robots, SAB'98 Workshop on Grounding Emotions in

- Adaptive Systems, 5th International Conference of the Society for Adaptive Behavior (SAB'98), University of Zurich, Switzerland, August 21, 1998.
- [56] Thomas Wehrle, Motivations Behind Modeling Emotional Agents: Whose Emotion Does Your Robot Have? SAB'98 Workshop on Grounding Emotions in Adaptive Systems, 5th International Conference of the Society for Adaptive Behavior (SAB'98), University of Zurich, Switzerland, August 21, 1998.
- [57] S. Gadanho, J. Hallam, Emotion-triggered Learning in Autonomous Robot Control, in Cañamero, D., Numaoka, C., and Petta, P., editors, Grounding emotions in adaptive systems, an Special Issue of Cybernetics and Systems, vol 32(5), Taylor & Francis, 2001
- [58] Rui Sadio, Gonçalo Tavares, Rodrigo Ventura, Luís Custódio, An Emotion-based Agent Architecture Application with Real Robots, Emotional and Intelligent II: Tangled Knot of Social Cognition, AAAI Fall Symposium, 2001
- [59] Sandra Gadanho, Learning Behavior-Selection by Emotions and Cognition in a Multi-Goal Robot Task, *Journal of Machine Learning Research*, JMLR 4(Jul):385-412, 2003
- [60] Breazeal (Ferrell), Cynthia and Juan Velasquez. "Toward Teaching a Robot 'Infant' Using Emotive Communication Acts". In Proceedings of 1998 Simulation of Adaptive Behavior, Workshop on Socially Situated Intelligence, Zurich Switzerland. 25-40, 1998.
- [61] Breazeal (Ferrell), Cynthia. "Regulating Human-Robot Interaction Using 'Emotions', 'Drives', and Facial Expressions". In Proceedings of 1998 Autonomous Agents workshop, Agents in Interaction -- Acquiring Competence Through Imitation, Minneapolis, MO. 14-21, 1998.
- [62] Breazeal, Cynthia and Brian Scassellati. "How to Build Robots that Make Friends and Influence People", IROS99, Kyongju, Korea, 1999.
- [63] Breazeal, Cynthia. "Robot in Society: Friend or Appliance?". In Agents99 Workshop on Emotion-based Agent Architectures, Seattle, WA. 18-26, 1999.
- [64] Breazeal, Cynthia. "Sociable Machines: Expressive Social Exchange Between Humans and Robots", Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science, PhD Thesis, May 2000.
- [65] Harnad, S. The Symbol Grounding Problem. *Physica D - Nonlinear Phenomena*, v.42, n.1-3. Amsterdam: North-Holland, Jun 1990. p.335--346.
- [66] Gudwin, Ricardo Ribeiro; Queiroz, Alvaro João M.; Towards an Introduction to Computational Semiotics, Proceedings of the KIMAS'05 Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, 04/2005, Vol. 1, pp.393-398, Waltham - Massachusetts, EUA, 2005
- [67] Steels, L. Perceptually Grounded Meaning Creation. In Tokoro, M., editor, Proceedings of the International Conference on Multi-Agent Systems, Cambridge, MA, 1996, The MIT Press.
- [68] Steels, L. Emergent Adaptive Lexicons. In Maes, P. and Mataric, M. and Meyer, J.-A. and Pollack, J. and Wilson, S.W., editor, From Animals to Animats 4: Proceedings of the Fourth International Conference On Simulation of Adaptive Behavior, Cambridge, MA, 1996. The MIT Press.
- [69] Steels, L. Self-Organizing Vocabularies. In Langton, C. and Shimohara, T., editor, Proceeding of Alife V, Cambridge, MA, 1996. The MIT Press.
- [70] Steels, L. and Vogt, P. Grounding Adaptive Language Games in Robotic Agents. In Harvey, I. and Husbands, P., editor, Proceedings of the 4th European Conference on Artificial Life, Cambridge, MA, 1997. The MIT Press
- [71] Steels, L. The Spontaneous Self-organization of an Adaptive Language. In Muggleton, S., editor, Machine Intelligence 15, Oxford University Press. Oxford, 1997
- [72] Steels, L. The origins of syntax in visually grounded robotic agents.. *Artificial Intelligence*, 103:1-24 1998.
- [73] Steels, L. Language games for autonomous robots. *IEEE Intelligent systems*, pages 17-22, October 2001.
- [74] Steels, L. Social learning and verbal communication with humanoid robots. Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pages 335-342, 2001.
- [75] Steels, L. and J-C. Baillie Evolving grounded communication for robots. *Trends in Cognitive Science*, 7(7):308-312 July 2003.
- [76] Steels, L. Grounding symbols through evolutionary language games. In Cangelosi, A. and Parisi, D., editor, Simulating the evolution of language, pages 211-226, Springer Verlag. London, 2001.

- [77] Steels, L. The Talking Heads Experiment. Volume 1. Words and Meanings. Antwerpen, 1999.
- [78] Steels, L. and Kaplan, F. AIBO's first words: The social learning of language and meaning. *Evolution of Communication*, 4(1):3-32 2000
- [79] I. Harvey, P. Husbands, D. Cliff, "Issues in evolutionary robotics", *Proceedings of SAB92, the 2<sup>nd</sup> International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*.
- [80] Gomi, T. Griffith, A. "Evolutionary robotics-an overview" *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 1996.
- [81] I. Harvey, P. Husbands, D. Cliff, A. Thompson, N. Jakobi, "Evolutionary Robotics: the Sussex Approach", *Robotics and Autonomous Systems*, 1997.
- [82] S Nolfi "Evolutionary Robotics: Exploiting the full power of self-organization", *Connection Science*, Volume 10, Numbers 3-4 / September 1, 1998.
- [83] Brooks, R.A., "From Robot Dreams to Reality", *Nature*, Vol. 406, August 31, 2000, pp. 945-947.
- [84] Stefano Nolfi, Dario Floreano, "Evolutionary Robotics: The Biology, Intelligence, and Technology of Self-Organizing Machines", *Bradford Book*, 2004.
- [85] Ned Block, Owen J. Flanagan, Gven Gzeldere (Eds.), "The Nature of Consciousness: Philosophical Debates", *MIT Press*, 1997.
- [86] Daniel Dennet, "Consciousness Explained", *Back Bay Books*, 1991.
- [87] Antonio Damasio, "The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness", *Harvest Books*, 2000.
- [88] Gerald Edelman, Giulio Tononi, "A Universe of Consciousness – How Matter Becomes Imagination", *Basic Books*, 2000
- [89] John R. Searle, "The Mistery of Consciousness", *New York Review of Books*, 1997.
- [90] Ron Sun, "Learning, Action and Consciousness: A Hybrid Aproach Toward Modelling Consciousness", *Neural Networks*, Vol. 10, n. 7, pp. 1317-1331, 1997.
- [91] Stan Franklin and Art Graesser, "A Software Agent Model of Consciousness", *Consciousness and Cognition*, 8, 285-301, 1999.
- [92] Ron Sun, "Computation, Reduction and Teleology of Consciousness", *Journal of Cognitive Systems Research*, 1, 2001, pp. 241-249.
- [93] Manzotti R., A process-based architecture for a an Artificial Conscious Being, in Seibt, J. (ed.), "Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories", *Kluwer Academics Publisher, The Netherlands*, 2004.
- [94] Riccardo Manzotti, "Intentional robots: The design of a goal-seeking, environment-driven, agent", *Phd Thesis, LIRA-Lab, DIST, University of Genoa, Italy*, 2001.
- [95] Michael L. Anderson, "Embodied Cognition: A Field Guide", *Artificial Intelligence* 149 (2003) 91-130.
- [96] Ron Chrisley, "Embodied Artificial Intelligence", *Artificial Intelligence* 149 (2003) 131-150.
- [97] Stan Franklin, "Artificial Minds", *Bradford Books* 1997.
- [98] Andy Clark, "Mindware", *Oxford University Press*, 2001
- [99] Ricardo Gudwin and João Queiroz (eds.), "Semiotics and Intelligent Systems Development", *Idea Group Inc., (to appear)*.
- [100] Peter Bock, "The Emergence of Artificial Cognition: An Introduction to Collective Learning", *World Scientific Publishing Company, River Edge NJ*, 1993.
- [101] Angelo Loula, Ricardo Gudwin and João Queiroz (eds.), "Artificial Cognition Systems", *Idea Group Inc., (to appear)*.
- [102] Leandro N. de Castro, Fernando J. Von Zuben, "Recent Developments in Biologically Inspired Computing", *Idea Group Inc., (2005)*.