

Sobre o futuro da tecnologia

RADU S. JASINSCHI

*“The best way to predict
the future is to invent it”*
(Alan Kay).

ciências

EXTRA

RADU S. JASINSCHI
é engenheiro pesquisador
da Philips Research,
Eindhoven (Países Baixos).

INTRODUÇÃO

Este artigo se divide em três partes: i) descrição dos conceitos de “futuro” e “tecnologia”; ii) aspectos gerais da tecnologia; e iii) discussão de tópicos em diferentes áreas da alta tecnologia. Na descrição de “futuro”, uma distinção é feita entre futuro próximo e remoto. No processo de se prever o futuro de uma dada tecnologia, o melhor que se pode fazer é prever um possível futuro. Discutimos “tecnologia” do ponto de vista formal, e em particular o que define a sua essência. O entendimento do que é a essência da tecnologia nos leva à filosofia grega através de uma análise de Heidegger. Uma distinção entre tecnologia tradicional e moderna aponta para o fato de que a tecnologia moderna convoca o homem; tecnologia e homem estão interligados de uma forma nova comparado com o modo da tecnologia tradicional. O impacto de diferentes aspectos, econômico, político, social e ecológico, na tecnologia, além daquele da ciência, será discutido. Hoje em dia não se pode falar a respeito de tecnologia sem considerar uma íntima associação entre tecnologia e todos esses e outros aspectos. A seguir nos concentraremos na alta tecnologia, aspectos do seu passado e possíveis desenvolvimentos futuros. Discutiremos algumas áreas da alta tecnologia, tais como a da biotecnologia, da robótica, e a de interfaces, nas quais existe um

potencialmente grande impacto dessas tecnologias no futuro do homem e do planeta Terra. Toda essa análise olha para o futuro próximo baseando-se na extrapolação dos desenvolvimentos do passado e do presente; é possível descrever possíveis cenários em que certos desenvolvimentos concretos vão possivelmente ocorrer. Finalmente, elaboramos alguns pensamentos sobre o futuro da tecnologia num futuro remoto.

FUTURO E TECNOLOGIA

A nossa meta é discorrer sobre o futuro da tecnologia. Para tornar essa tarefa mais clara é necessário compreender o que se entende por “futuro” e “tecnologia”.

Futuro

Visto de um ponto de vista do presente – exatamente no momento em que lemos este texto – o futuro é uma ficção. Mesmo assim é possível discorrer a respeito dessa ficção dada a nossa experiência acumulada no correr dos anos e a nossa imaginação. A combinação dessa experiência e imaginação nos permite criar um discurso. Dependendo de como esses dois elementos são combinados, obtemos uma previsão realista e com grande possibilidade de ser realizada ou simplesmente uma obra da imaginação.

Existe uma diferença básica entre o futuro próximo, a saber, “em alguns meses ou anos”, e o futuro remoto, como “nos séculos vindouros”. Num futuro próximo é possível prever como um certo tipo de tecnologia, ou estado de coisas, evolve levando-se em conta que um certo número de condições são satisfeitas. Por exemplo, o desenvolvimento da tecnologia de comunicação pessoal, tal como o telefone móvel, nos próximos meses ou anos vai tomar a forma da integração de várias tecnologias num único sistema. O sucesso da previsão desse tipo de tecnologia depende do fato de que essas condições não sejam alteradas.

Prever o futuro de uma tecnologia, apesar de parecer uma tarefa simples, é na verdade uma tarefa difícil. Por exemplo, o desenvolvimento da Internet (<http://www.isoc.org/internet/history>), como um dos grandes sucessos da tecnologia de comunicação via redes de computadores, teve dois marcos fundamentais: i) o desenvolvimento da tecnologia de chaveamento de pacotes (*packet-switching*) na década dos anos 60; essa tecnologia foi usada pela Arpanet, que foi o predecessor da Internet criado pela Advanced Research Projects Agency (Arpa) (<http://www.darpa.mil/body/arpa-darpa.html>), do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, para aplicações militares e que foi estendida, com a introdução do *e-mail* na década de 70, para uso nas universidades; ii) a criação por Tim Berners-Lee (<http://www.w3.org/People/Berners-Lee>) do Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire (Cern), em 1990, da linguagem de computador e de um sistema de endereçamento de computadores conectado à Internet; subsequentemente Tim Berners-Lee criou o navegador World Wide Web (*www*) (<http://www.w3.org>), que foi usado pelo Mosaic (1993) – o primeiro navegador da Internet propriamente dito. O que se seguiu nos anos 90 até os nossos dias foi o estabelecimento da Internet como *standard* para comunicação de informação sonora, visual e textual usado desde um meio de comunicação pessoal até o comércio. Mas quem poderia prever esse “futuro” da Internet nos seus primórdios na década de 60, e mesmo 15 anos atrás, como um fato *standard* de comunicação? Podemos dizer que ninguém. O desenvolvimento da Internet como a conhecemos hoje levou aproximadamente 40 anos, o que, em termos da velocidade do desenvolvimento da chamada alta tecnologia, representa um longo período; poderíamos dizer que hoje, 2007, é um “futuro distante” comparado aos anos 60. Então a definição de “futuro” depende também de que tipo de tecnologia estamos falando.

Um outro exemplo que mostra a dificuldade de predizer o futuro da tecnologia vem das artes: o filme *2001, Uma Odisséia*

no Espaço (Schwam, 2000). Dirigido por Stanley Kubrick com roteiro de Arthur C. Clarke, esse filme vai muito além de tratar do futuro da tecnologia espacial. O diretor mostrou uma vasta gama de tecnologias que, em sua opinião, seriam uma realidade em 2001, e portanto hoje em dia: i) estação espacial permanente; ii) colônias lunares permanentemente habitadas; iii) um sistema de videoconferência de alta qualidade; iv) companhia(s) de transporte terra-estação espacial; v) um (super) computador dotado de consciência e alta inteligência. Podemos dizer que, tratando-se de uma obra de arte, é possível tomar riscos na previsão do futuro. Na verdade, nenhuma dessas tecnologias foi realizada hoje em dia, mas do ponto de vista da década dos 60 as possibilidades eram outras. Em parte, o que levou o diretor a prever essas tecnologias foi o contexto histórico – década de 60 – durante o qual ocorreu uma rápida transformação da tecnologia espacial – ida do homem à Lua num período de dez anos e satélites de comunicação. Isso criou um otimismo tal que levou os autores de *2001* a prever um “outro futuro”. Portanto, na previsão do futuro da tecnologia, vários “futuros” são em princípio possíveis. Dessa forma, quando falamos sobre o futuro de uma tecnologia, devemos levar em conta que: i) o “futuro” (próximo ou remoto) depende do tipo de tecnologia; ii) existe a possibilidade de diferentes “futuros”, cada um com uma dada probabilidade de ocorrer; iii) prever um futuro de uma tecnologia só é factível para um futuro próximo; sobre o futuro remoto podemos apenas discorrer a respeito de tendências gerais.

Mas como se desdobra o desenvolvimento (evolução) do presente para o futuro? Mesmo se o intervalo de tempo entre o presente e o futuro for extremamente curto – infinitesimal –, o futuro não coincidirá com o presente. Os diferentes possíveis “futuros” são descritos pelos diferentes modos desse desenvolvimento. Do ponto de vista formal, o modelamento desse processo de desenvolvimento é extremamente complexo; neste texto não vamos discutir esse modelamento, mas concluir por dizer que,

dadas as condições de contorno bem específicas, esse modelamento é possível. Como queremos entender o futuro da tecnologia, um passo para esse possível modelamento é entender o que significa “tecnologia”, como na seção que se segue.

Tecnologia

“Tecnologia” (do grego τεχνι, “ofício”, e λογια, “estudo”) é um termo geral que se refere a um vasto conjunto de atividades humanas baseadas no uso racional e organizado da engenharia e ciência (Ellul, 1964). De fato, nos primórdios do desenvolvimento da tecnologia, como por exemplo o uso do fogo para o aquecimento e cozimento de comida ou no preparo de lanças para a caça de animais ou luta armada, ainda não existia uma tecnologia ou uma ciência como são conhecidas nos dias atuais. Nos dias atuais a tecnologia atingiu tal grau de maturidade que ela permeia o funcionamento, a atividade e a economia de muitos países. De fato toda atividade humana, tendo em vista a produção e distribuição de bens, requer o uso de instrumentos e métodos baseados em tecnologia. Hoje em dia se conhecem certas espécies de animais que fazem uso de uma tecnologia própria, que, embora elementar comparada com aquela usada por humanos, evidencia que tecnologia não é algo exclusivo aos humanos.

A separação entre tecnologia e ciência não é sempre uma tarefa simples. Se usarmos uma definição de “tecnologia” como sendo aquela atividade que visa à criação de instrumentos (definição instrumentalista) tendo em vista um conjunto de aplicações e “ciência” como aquele conhecimento prático e/ou teórico necessário para o desenvolvimento de tecnologia, então a tecnologia é uma consequência da aplicação da ciência. Esse é um modelo simplista: de fato tecnologia e ciência estão intimamente interligadas. Em muitos casos, o desenvolvimento da ciência e o da tecnologia se alternam, um precedendo o outro em termos de novas invenções (Ellul, 1964).

SOBRE A ESSÊNCIA DA TECNOLOGIA

O título desta seção já parece de realização impossível: discorrer sobre algo para o qual não existe uma definição precisa. Entender a essência da tecnologia nos leva para o domínio atemporal: falamos sobre características da tecnologia que não variam num dado intervalo histórico do desenvolvimento da tecnologia.

Nós voltamos à definição de “tecnologia”. Usamos aqui como guia para a nossa discussão sobre a essência da tecnologia um texto de Heidegger (2002). Nesse texto uma série de definições de “tecnologia” são estabelecidas tendo como meta entender a sua “essência”. Inicialmente discute uma definição instrumentalista e antropomórfica: a) tecnologia é um *meio* para um *fim*; b) tecnologia é uma atividade humana. Apesar de essa definição ser perfeitamente correta, ela não nos remete à essência do que é tecnologia. Mais ainda, Heidegger diz que, embora correta, essa definição não é verdadeira. Assim, o que significa o instrumental em si? E o que quer dizer “meio” e “fim”? A resposta de Heidegger é baseada no conceito de causa: um meio é aquilo através do qual algo é criado – o efeito da causa; tudo que tem como consequência um efeito é chamado de causa. Heidegger enumera as quatro causas conhecidas desde os tempos da filosofia grega: i) *causa materialis*, o material do qual algo é feito; ii) *causa formalis*, a forma na qual um dado material é transformado; iii) *causa finalis*, o fim para o qual algo é feito de um certo material, tomando uma dada forma; e finalmente iv) *causa efficiens*, aquilo ou aquele cuja ação cria o atual objeto. Mas o que une essas quatro causas? Elas são responsáveis em trazer algo para a aparência; de outra forma, elas estão na base da criação de um dado objeto como um ente real. Heidegger define essa responsabilidade como um “ocasionar” ou “induzir para ir adiante”. Esse ocasionar traz algo que está ainda escondido para a presença; “escondido” no sentido de algo

que ainda não existe como objeto real, mas como idéia, e “presença” no sentido de algo real (aparência). Assim:

“[...] quem constrói uma casa ou um navio ou cria um cálice sacrificial revela aquilo que é trazido adiante (criado), de acordo com os quatro modos (causas) de ocasionar. Esse revelar reúne junto de forma apriorística o aspecto e o material do qual um navio ou casa são produzidos, com a visão do objeto terminado visto como completo, e a partir disso determina a maneira de sua construção” (Heidegger, 2002).

Isso é descrito pelo termo grego *téchne* ou *τεχνι*. É interessante que do ponto de vista etimológico *τεχνι* não significa apenas o nome da atividade e conhecimento artesanal (instrumental), mas também as ciências da mente e as artes. Além disso, *τεχνι* está vinculado à palavra *episteme* ou *ηπιστιμη*; essas duas palavras significam conhecimento no sentido mais amplo. Aristóteles distingue *téchne* de *episteme*; *téchne* é um tipo de *aletheuein* ou *αλιθητην*; *aletheuein* é o ato de trazer à presença ou desocultar; *αληθησια* é a verdade; *téchne* traz para a presença aquilo que não tem a capacidade de realizar esse ato de forma autônoma¹.

Essa definição de tecnologia é, de acordo com Heidegger, adequada para descrever a tecnologia tradicional como aquela criada pelo trabalho artesanal. Ela é insuficiente para o caso da tecnologia moderna. O que distingue a tecnologia moderna daquela tradicional é que ela faz uso da ciência moderna, como por exemplo a física, a química ou a biologia. Dessa forma, ao invés de falar de um ocasionar como uma atividade (passiva) de trazer à presença, Heidegger fala de um desafio, do alemão *Herausfordern*. Um desafio é estabelecido sobre a natureza para extrair dela energia ou riqueza à disposição do homem. Para Heidegger, a essência de “tecnologia” é descrita pela palavra *Gestell*, que significa “esqueleto” ou “estrutura” e corresponde ao *modo* de revelar que está em controle na essência da tecnologia moderna e que

¹ Nesse sentido *fisis* ou *θυσια* – natureza – também traz para a presença aquilo que ainda está oculto, tal como a flor que brota em uma planta, mas de forma autônoma, em distinção à *téchne*, que requer a intervenção de um agente externo – homem, animal.

por si só não tem nada de tecnológico. Esse modo de revelar coloca o homem no centro desse desafio sobre a natureza. Isso é realizado num complexo processo de interdependência entre etapas da tecnologia e da ciência. Pensemos, por exemplo, na tecnologia para criar um moderno avião a jato ou um acelerador de partículas subatômicas; essas maravilhas da tecnologia moderna são o resultado de uma longa cadeia de desenvolvimentos científicos e tecnológicos que tem como ponto de partida a revolução científica pós-Renascimento (século XVI) e a Revolução Industrial (século XVIII). Mas qual é a função do homem em tudo isso? De acordo com Heidegger (2002), o homem, apesar de realizar essa tarefa de ocasionar, trazer para a presença objetos criados pela tecnologia-ciência, também é parte desse processo. Isso quer dizer que ele é desafiado, dada uma ordem, para realizar, fazer parte desse processo. Não só temos a íntima interdependência entre ciência e tecnologia, mas também a do homem com a tecnologia-ciência.

Podemos falar da “essência” do homem, e como essa essência está envolvida na tarefa de trazer para a presença aquilo que está ainda oculto (ainda um objeto conceitual). Perguntamos: como será que essa essência pode ser influenciada pela essência da tecnologia moderna? No desenvolvimento dessa tecnologia no futuro, essa íntima relação entre o homem e a tecnologia poderá trazer uma mudança na essência do homem.

O que está aparentemente ausente dessa análise são as fundamentais influências da economia, política, sociologia, ecologia, e outros aspectos no desenvolvimento e estruturamento da tecnologia e, consequentemente, da ciência. O texto seminal de Jacques Ellul (1964), *The Technological Society*, elucida essas influências de forma magistral além de traçar a evolução da técnica (tecnologia) desde os tempos do homem das cavernas. Na discussão dessas influências, temos o homem como elemento central – de acordo com a análise de Heidegger. A seguir vamos discutir alguns desses aspectos que influenciam a tecnologia e seu futuro.

ALGUNS ASPECTOS QUE INFLUENCIAM A TECNOLOGIA

A fim de entender de forma mais abrangente as principais características da tecnologia – a sua essência – vamos, nesta seção, nos afastar da análise conceitual dada na seção anterior para contemplar alguns aspectos, talvez os mais importantes, que têm uma influência decisiva na tecnologia.

Aspecto econômico

O aspecto econômico tem um papel fundamental no desenvolvimento da tecnologia. Não temos aqui a intenção de fazer uma análise detalhada da função e da estrutura da economia no futuro desenvolvimento da tecnologia, o que é por si só um trabalho enciclopédico. Neste texto nos concentramos num aspecto que está tomando um papel central na evolução da economia mundial: a globalização. A globalização da economia, no seu modelo atual, representa uma expansão da economia capitalista para países do chamado mundo subdesenvolvido, tais como Brasil, China, Índia, Rússia e África do Sul, bem como a criação de um modelo de distribuição e terceirização da atividade tecnológica. Essa tendência mundial vai continuar, possivelmente nos próximos 100 a 200 anos, ao fim do que muitos dos países do Terceiro Mundo vão estar integrados de forma efetiva na economia mundial. Dessa forma, vai ser criada nesses países uma tecnologia que se adapta às necessidades da economia e da estrutura de um mercado local. Por exemplo, com o desenvolvimento da telefonia sem fio, é possível hoje em dia criar uma malha celular de telefones que elimina a necessidade do uso da tecnologia de telefonia tradicional (com fio), e isso propicia, a países que até poucos anos atrás não dispunham ou tinham uma estrutura precária de telefonia, a criação de um sistema moderno de telefonia e um mercado crescente de usuários. Esse aspecto foi especialmente visível em países

da América Latina e da África. Todo esse processo acelera o desenvolvimento de nova tecnologia de telefonia e, de forma mais geral, de comunicação baseada em multimídia (vídeo/imagens, áudio e texto). Um outro exemplo é o da criação, armazenamento e distribuição de energia. Vemos no exemplo do Brasil, no desenvolvimento de tecnologia baseada no álcool na área do transporte pessoal e coletivo nos últimos 40 anos, o princípio de uma tendência mundial para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia; isso diminui progressivamente a dependência do petróleo bem como cria mercados locais e regionais, dessa forma acelerando o desenvolvimento da economia. A criação de nova tecnologia de energia (alternativa) tal como a eólica e solar nos próximos 100 a 200 anos vai diminuir a dependência de economias atualmente menos desenvolvidas do modelo capitalista tradicional e, por consequência, criar economias regionais desenvolvidas.

Aspecto político

Os eventos do século XX, a saber, duas guerras mundiais, inúmeras guerras regionais, regimes ditatoriais ou democráticos, nos mostram o enorme efeito da política no desenvolvimento de novas tecnologias. De um lado, a tecnologia civil – que visa a uma melhora na vida do cidadão “comum” – e de outro lado, a tecnologia militar. Como exemplo de tecnologia civil podemos mencionar o automóvel, a tecnologia médica tal como a usada para monitorar pacientes em cirurgias, para visualizar lesões (raio X, PET, MRI), os produtos eletrônicos de consumo (TV, rádio, telefone). Na área de tecnologia militar, temos o exemplo da tecnologia nuclear que foi usada para fins destrutivos (bomba atômica, de hidrogênio) ou pacíficos (reator nuclear), foguetes, também usados para aplicações puramente militares, como os mísseis intercontinentais, ou para fins pacíficos, como o lançamento de satélites de comunicação. O progresso no desenvolvimento de novos sistemas políticos baseados na liberdade individual e

o acesso democrático a bens fundamentais, como saúde e educação, vão expandir e criar novas áreas de consumo, em particular em países emergentes, nos próximos 100 a 200 anos. De outro lado, se aumentar o número de sistemas políticos ditatoriais, com a criação de áreas de conflito e o conseqüente surgimento de guerras, isso vai acelerar um quadro em que a guerra se torna cada vez mais dependente da alta tecnologia. Uma consequência dessa dependência é a chamada virtualização da guerra – a diminuição da participação direta do homem nessas guerras. Também é altamente provável que guerras do futuro vão envolver ação no espaço sideral, o chamado *space shield*, que envolve um conjunto de tecnologias para a proteção e ataque baseado em mísseis. Essa tendência vai muito possivelmente envolver a criação de colônias militares na Lua e em planetas do sistema solar nos próximos 100 a 500 anos. Esse fato por si só vai criar novas tecnologias de habitação, transporte, alimentação, para citar algumas. Vemos nesta análise que diferentes cenários de futuro(s) da tecnologia podem ser descritos, e de tal forma que previsões do futuro remoto da tecnologia sejam possíveis.

Aspecto sociológico

Com o desenvolvimento da tecnologia, um maior número de pessoas, de todas as camadas sociais e em todo o mundo: i) tem acesso a bens comuns que melhoram sua qualidade de vida; ii) tem uma mobilidade social, por exemplo, do campo para a cidade, ou de um país para um outro, que difere da do tradicional imigrante, como nos séculos XIX e XX; iii) tem aumento na sua autonomia em termos de emprego e tipo de trabalho.

Qualidade de vida

No futuro o acesso a bens comuns, como eletrodomésticos, computadores, sistemas de comunicação, transporte e habitação, vai continuamente aumentar. Esse processo é

uma conseqüência da própria natureza do sistema capitalista, que “facilita” o acesso a esses bens comuns; de outro lado, isso cria um círculo vicioso que mais e mais envolve o cidadão, criando uma necessidade cada vez maior desses bens comuns para o seu dia-a-dia. Esse processo aumenta o número de “consumidores”, o que por sua vez aumenta o mercado e os investimentos das companhias que produzem esses bens comuns. Dessa maneira, o ciclo assim criado vai aumentar a sua atividade e a extensão do seu campo de influência. Por conseqüência, o nível médio da qualidade de vida de um crescente número de pessoas vai aumentar. Podemos observar esse processo tomando corpo em países como a Índia e a China, menos no Brasil.

Mobilidade social

Nos últimos 200 anos a mobilidade social foi caracterizada pela imigração compulsória. Devido a guerras, sistemas políticos, motivos religiosos e problemas econômicos, populações inteiras tiveram que emigrar de seus países de origem para países como os EUA, Canadá, Brasil, Argentina e Austrália. Essa tendência ainda vai vigorar por muitas décadas ou séculos devido à existência de grandes desigualdades socioeconômicas ainda vigentes no mundo.

De outro lado, nos últimos 30 a 50 anos, observou-se o aumento gradual de um outro tipo de população: o engenheiro, o médico, cientista com um nível que qualificação internacional que imigra, mas muitas vezes não de forma definitiva. Esse tipo de imigração está em crescimento no bloco da Comunidade Européia e continua entre EUA, Índia e China. Muito recentemente esse processo tem se invertido, por exemplo, entre EUA e Índia; antigamente a imigração ocorria da Índia para os EUA, e atualmente, dado o crescente desenvolvimento da Índia, muitos desses imigrantes voltam dos EUA para a Índia, onde podem usufruir de um bom nível de qualidade de vida e também contribuir para o desenvolvimento do próprio país.

O aspecto da mobilidade social e a adaptabilidade para transformações de tecnologias é caracterizado como extremamente importante por Ellul (1964) no desenvolvimento da tecnologia, em particular tal como ocorreu durante a Revolução Industrial, principalmente durante o século XIX.

Autonomia de emprego

O aspecto da autonomia de emprego diz respeito à possibilidade de ter uma atividade autônoma e de mudança de carreira. A tecnologia – e nesse particular, a alta tecnologia (ver abaixo) – está criando novos tipos de atividades graças à possibilidade do uso eficiente de instrumentos de trabalho que não existiam até 20 ou 30 anos atrás: i) computador pessoal; ii) telefone celular; iii) Internet; iv) transporte expresso como FedEx, UPS, DHL, etc.; v) sistemas de fax, impressão, etc. Hoje em dia essa tendência já é uma realidade em muitos países, e vai certamente se acelerar à medida que um maior número de pessoas tiver acesso à tecnologia de ponta. Outra tendência que já se faz notar hoje em dia é da própria natureza do trabalho: é necessário, periodicamente, atualizar-se, mudar de profissão. Cada vez menos existe o modelo de trabalho em que a pessoa, saindo da universidade, mantém um único emprego por toda a vida, atuando numa dada área de competência.

Aspecto ecológico

Nos últimos 200 anos os efeitos do homem no meio ambiente se tornaram particularmente observáveis. Devido à crescente industrialização e ao aumento populacional, observa-se um crescente aumento da poluição, como aquela que afeta o ar, a terra, os mares e rios. Isso tem mostrado efeitos extremamente nocivos para a saúde do homem e animais, bem como para o meio ambiente. Em particular, nos últimos 10 anos, aumentou a evidência da existência de um processo de aquecimento global

(<http://www.climatecrisis.net>), tendo como indicação o aumento da temperatura média nos diferentes continentes, o aumento da frequência e duração de secas, enchentes, e a desertificação de regiões da África, Austrália e Américas. A importância desse tópico foi ressaltada durante a elaboração deste texto com a outorgação do Prêmio Nobel da Paz de 2007 para Albert Gore e para a Comissão Intergovernamental sobre a Mudança Climática (<http://www.ipcc.ch>).

Qual é o papel da tecnologia nesse aspecto ecológico? Em primeiro lugar, o desenvolvimento da tecnologia, principalmente desde os primórdios da era industrial, teve um efeito global no meio ambiente. Isso se deve em parte ao uso e abuso dessa tecnologia pelo homem, e em parte a aspectos intrínsecos da tecnologia. Por exemplo, a má administração no processamento e destruição de detritos industriais criou imensos problemas ambientais, tais como a poluição de rios, dos mares, de grandes centros urbanos e industriais. De outro lado, muita tecnologia, ainda hoje, é extremamente poluente, tal como aquela baseada na exaustão de gases (motores, indústria). O futuro da tecnologia tem que ter um impacto grande e positivo na ecologia; a própria existência da vida animal em nosso planeta está ameaçada de desaparecimento. Esse fator vai ter um grande impacto no desenvolvimento de futuras tecnologias. Isso já começa a ser evidente na criação de métodos de reúso de matéria-prima, tal como metal e plástico, na despoluição da água dos rios, e nos carros movidos a energias alternativas.

Essa descrição de alguns aspectos que influenciam a tecnologia, principalmente desde a Revolução Industrial, nos mostra que existe um conjunto de elementos cuja tendência pode ser analisada num período de tempo mais longo, e isso possibilita uma “predição” de possíveis futuros da tecnologia em futuros remotos. A seguir vamos nos concentrar numa análise da alta tecnologia. Em primeiro lugar, vamos dar uma descrição de elementos do passado para colocar em perspectiva o desenvol-

vimento de diferentes tecnologias e, dessa forma, possibilitar a criação de modelos para o futuro dessas tecnologias. Em segundo lugar, vamos descrever algumas altas tecnologias nas áreas específicas da biotecnologia, robótica e interfaces.

ALTA TECNOLOGIA: ELEMENTOS DO PASSADO

Detalhar ainda mais um possível futuro da tecnologia representa um trabalho enciclopédico. Neste texto vamos nos concentrar em discutir alguns elementos da alta tecnologia. Isso por si só não simplifica o trabalho de entender o futuro da tecnologia, mas ajuda a aumentar o foco da análise.

Raízes da alta tecnologia

A alta tecnologia, baseada principalmente na combinação de elementos das engenharias mecânica, elétrica/eletrônica e química, é um exemplo do desenvolvimento conjunto da tecnologia e da ciência, exemplificando o paradigma da tecnologia moderna. Essa alta tecnologia só foi possível graças ao desenvolvimento da ciência, em particular da física quântica (Feynman, Leighton & Sands, 1965). Em 50 anos, aproximadamente de 1900 até 1950, a física quântica se desenvolveu da teoria (quântica) corpuscular da luz até uma ciência madura que descreve o comportamento de toda espécie (partícula elementar) de matéria e luz. Esse “projeto” foi completado com o programa de axiomatização da teoria quântica de campos (Weinberg, 1995). Como consequência desse desenvolvimento da física quântica, houve um desenvolvimento da engenharia eletrônica que, baseado na miniaturização de circuitos eletrônicos e na criação do chip, possibilitou a criação do computador, inicialmente do *main frame* e, mais recentemente, nos últimos 30 anos, do computador pessoal.

Matemática e ciência da computação

A matemática teve um papel fundamental no desenvolvimento da alta tecnologia. De fato, a matemática constitui a “espinha dorsal” do método científico, em particular da física e de sua aplicação na engenharia. O desenvolvimento da matemática discreta e da lógica levou à criação da ciência da computação. Como exemplo da matemática discreta podemos citar a teoria dos números, a teoria dos conjuntos, os algoritmos e a teoria da informação. A lógica, apesar de fazer parte de um ramo da filosofia que trata dos métodos de pensamento desde Aristóteles, teve um desenvolvimento acelerado nos primórdios do século XX, com o trabalho de Alfred North Whitehead e Bertrand Russell, com base no trabalho de Friedrich Ludwig Gottlob Frege, em particular a lógica matemática. Um outro ramo da lógica foi estabelecido por George Boole, com a criação da álgebra booleana.

A combinação da tecnologia de mecanização, que se desenvolveu continuamente entre os séculos XVII e XIX, culminou com o trabalho de Babbage na criação da máquina de computar. Esse desenvolvimento criou a base do que se chama hoje de *computer hardware*, baseado em circuitos eletrônicos. Entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial houve um desenvolvimento dessa tecnologia para automatizar e acelerar processos “mecânicos” de processamento de informação para uso em armamentos e na espionagem. Um exemplo é a Enigma Machine, máquina eletromecânica baseada no uso de rotores, em particular a sua versão militar, a Wehrmacht Enigma, criada pelos alemães e cujo código foi decifrado pelos poloneses Marian Rejewski, Jerzy Rzycki e Henryk Zygalski, em 1932. Nesse ínterim, foram lançadas as bases da ciência da computação. Alan Turing teve um papel fundamental na criação dos princípios da computação tendo também contribuído para a criptografia na quebra do código secreto da Wehrmacht Enigma. O outro elemento

fundamental do método computacional é o chamado *computer software*, conjunto de instruções compiladas pelo computador para sua implementação. Esse ramo da ciência da computação, baseado em *softwares*, foi desenvolvido no pós-guerra – décadas de 50 e 60 – basicamente por Marvin Minsky, John McCarthy, Allen Newell e Herbert Simon –, a chamada “inteligência artificial”. Allen Newell, em colaboração com Herbert Simon, trabalhou na criação das primeiras linguagens de computador, a *information processing language* (IPL), a *logic theory machine*, e a *general problem solver* e também o programa NSS, que “joga” xadrez.

Computador e microcircuito

O desenvolvimento do computador moderno, tal como nós o conhecemos nos dias atuais, teve como marcos: i) a máquina eletromecânica de Konrad Zuse (1941); ii) o computador Atanasoff Berry (1941); iii) o computador Colossus (1944), criado pelo serviço secreto britânico; iv) o computador Mark I criado na Universidade de Harvard nos Estados Unidos da América; v) e o Eniac (1946), criado pelo laboratório de pesquisas balísticas do exército americano. Isso se tornou possível com o advento da miniaturização a partir dos meados da década de 70, em particular o desenvolvimento do microprocessador².

ALTA TECNOLOGIA: FUTURO

A alta tecnologia, que é exemplificada pelo computador (pessoal), telefone multimídia portátil e sistemas de comunicação, vai ter um papel cada vez mais importante no futuro. Uma tendência que já se tornou uma prática comum é a necessidade de combinar conhecimento: uma vez que uma dada tecnologia alcança um estágio de maturidade, como a (micro)mecanização e a ciência da computação, ela é combinada ou fundida com outras tecnologias. No futuro,

² O microprocessador é um componente eletrônico programável e que incorpora as funções de uma unidade de processador central (CPU). Esse microprocessador é implementado num único circuito integrado (IC) baseado em semicondutores eletrônicos.

novas disciplinas vão ser (possivelmente) criadas e algumas áreas da tecnologia vão ter uma particular relevância. Como exemplo, analisamos a seguir três dessas áreas tecnológicas.

Uma primeira área que vai tomar relevância no futuro é a da biotecnologia, em particular na combinação de elementos da biologia, física, matemática, computação e engenharia. Possivelmente a biologia, como uma disciplina “augmentada” – combinação com outras disciplinas –, terá um papel semelhante ao daquele que a física e a engenharia tiveram a partir do século XV até os dias de hoje. A área de aplicação da biotecnologia vai da medicina, tecnologia de alimentação, ecologia, até a de fontes de energia.

Uma segunda área com possível desenvolvimento no futuro é a da robótica. A robótica combina elementos de engenharia (mecânica, elétrica, eletrônica) com métodos computacionais, inteligência artificial, psicologia, neurofisiologia, entre outros. Sua aplicação é relevante na automatização dos processos de mecanização, transporte, medicina, exploração espacial, submarina e em meios insalubres.

Uma terceira área vai ser a de interfaces, o que inclui sistemas sofisticados de comunicação tais como sistemas de teleconferência, de diversão e de telefonia. Tem sido uma área de grande expansão, como com os telefones celulares, mas tem ainda muito a ser descoberto e desenvolvido.

Para entender estas como áreas de desenvolvimento tecnológico no futuro, vamos discutir alguns aspectos que lhes são comuns.

Alguns aspectos da alta tecnologia do futuro

Miniaturização

A miniaturização já tem sido desenvolvida nos últimos 50 anos, em particular com o rápido desenvolvimento da tec-

nologia de chips. Nos últimos 20 anos a nanotecnologia tem se firmado como nova área da engenharia que combina resultados da física dos materiais, da química, da biologia e das engenharias elétrica e mecânica, para a criação de novos materiais e sistemas baseados em processos na escala de 10^{-9} metros (nanômetros). Esse aspecto abre as portas de um conjunto enorme de novas aplicações que vamos discutir a seguir.

Artificialidade

A artificialidade se refere a novos tipos de entidades sintéticas, que são reais ou “virtuais”. A característica principal de uma entidade artificial é que ela não foi criada por meios naturais; a interação com essa entidade precisa ser mediada por algum dispositivo. Com o advento da miniaturização do computador e da inteligência artificial foi possível a implementação de entidades artificiais.

Automatização

A automatização é uma tendência da tecnologia que tem se acelerado nos últimos 100 anos. Isso é evidente nas linhas de produção de bens materiais os mais diversos em que é necessário otimizar a qualidade, o tempo de produção e a capacidade de reprodutibilidade de um dado produto.

Hibridização

A hibridização combina métodos, meios e materiais tendo como meta a criação de sistemas sintéticos. Recentes avanços da engenharia eletrônica, da biologia e da computação possibilitaram a implementação dos primeiros sistemas de biologia sintética.

A seguir vamos discutir em mais detalhes as três áreas com grande potencial de desenvolvimento no futuro, analisando a influência dos aspectos descritos acima.

Biotecnologia

Tudo o que se relaciona com “bio” – biotecnologia – vai ter um grande desenvolvimento nas próximas décadas, e por que não dizer séculos. A percepção geral nos meios científicos e econômicos é de que todas as áreas relacionadas à biologia terão um desenvolvimento comparável ao da física nos últimos 400 anos. Esse estágio de desenvolvimento não ocorre por acaso: é o resultado do desenvolvimento de métodos e tecnologias desde a matemática até a engenharia eletrônica, passando pela física e pela química. O impacto do desenvolvimento da biotecnologia pode apenas ser especulado. Algumas biotecnologias a ser desenvolvidas vão certamente ter impacto na: i) medicina; ii) tecnologia de alimentação; e iii) na preservação do meio ambiente, entre outras.

Medicina

A medicina do futuro vai ser muito diferente da do presente. Apesar dos enormes desenvolvimentos da tecnologia de remédios, de monitoração de pacientes e de cirurgia, a medicina atual ainda preserva a mesma natureza desenvolvida nos últimos 5.000 anos: diagnose e tratamento de pacientes. A diagnose tradicional atende o paciente quando ele mostra sinais de uma doença num dado estágio de avanço. O que é crítico nessa prática é que o paciente muitas vezes se encontra em um estágio avançado do desenvolvimento da doença e, dessa forma, o único tratamento viável, tal como a cirurgia, é paliativo: apenas prolonga a duração da sua vida por um tempo limitado. Especula-se que a “medicina do futuro” vai ter aspectos radicalmente novos tal como a medicina molecular e a medicina particularizada a cada paciente. A medicina molecular, tal como a entendemos hoje em dia, faz uso do conhecimento do funcionamento das células e, em particular, do funcionamento das proteínas, da genética e da epigenética. O entendimento de como os

processos envolvendo as células evoluem de acordo com regras precisas é importante: não é suficiente entender a estrutura das células; é fundamental entender como essa estrutura é criada, evolui e é modificada; o entendimento de como isso ocorre e, mais importante, como influencia o estado de muitas células ou moléculas na sua interação num dado tecido do corpo está ainda nos primórdios de seu desenvolvimento.

Uma nova área de especialização é chamada de *systems biology* ou biologia de sistemas. Ela combina técnicas de engenharia de sistemas, métodos estocásticos e o conhecimento da estrutura celular. A medicina molecular tem como meta a *deteccção precoce* ou *early detection*. A deteção precoce tem como meta a deteção e a diagnose de doenças em seus estágios iniciais; em distinção das técnicas de deteção e diagnose atuais, que atuam nos estágios mais avançados das doenças, a deteção precoce faz uso da combinação de agentes de contraste (*contrast agents*) – necessários para visualizar a estrutura e o funcionamento das células, em particular as células “doentes” – e de poderosas máquinas de visualização de estruturas do corpo, tal como aquelas que utilizam o *positron emission tomography* (PET), o raio X, o *computer tomography* (CT), e o *magnetic resonance imaging* (MRI).

O progresso na criação de novos agentes de contraste, de máquinas de visualização e de modelamento da evolução de uma dada doença vai possibilitar uma revolução na medicina. Um importante elemento nesse desenvolvimento é a criação de métodos para se estabelecer quando e onde uma dada doença principia. Parte desse desenvolvimento da medicina molecular inclui o uso da genética e, em particular, um entendimento do papel da epigenética – que estuda fatores além daqueles estritamente ligados à estrutura do DNA –, nucleotídeos, genes, código genético, tal como o causado por agentes tóxicos ou poluentes e da proteomics, que estuda as propriedades e a função das proteínas.

Uma área particular de desenvolvimento é o conhecimento fundamental de

como as proteínas se dobram (*folding*) ou desdobram (*unfolding*) nas estruturas primárias, secundárias, terciárias e quaternárias, e em particular como elas podem se dobrar de forma errônea (*misfolding*), o que tem conseqüências enormes no desenvolvimento de doenças, tais como as doenças neurodegenerativas. De forma análoga, o entendimento de mutações na estrutura dos nucleotídeos do DNA, e em particular do *single nucleotide polymorphisms* (SNPs) – variações da estrutura dos nucleotídeos dada a mutação num único nucleotídeo –, vai ter conseqüências fundamentais no entendimento da origem e da evolução do câncer, da diabete e de doenças cardiovasculares.

Também é importante o desenvolvimento de tecnologias médicas que possibilitem a erradicação de doenças tropicais que afligem bilhões de pessoas em todo o mundo. Isso inclui a criação de potentes vacinas que inoculam as pessoas, não de uma doença, mas de muitas ao mesmo tempo. Além disso, é necessário a criação de biotecnologias que atuam no meio ambiente de forma a erradicar áreas de proliferação de insetos e bactérias nocivas à saúde.

No desenvolvimento da medicina do futuro, a miniaturização vai ser relevante para a detecção, cirurgia e tratamento de doenças ao nível celular/molecular; o desenvolvimento de microrrobôs ou sondas que exploram diminutas partes do corpo em busca de sinais de doenças vai ser uma área muito ativa de pesquisa no futuro; também esses microssistemas poderão ser usados para o transporte de alimentos e/ou remédios para um tratamento “local” de doenças. Um outro fator importante na medicina do futuro vai ser a hibridização: a combinação de materiais biológicos e sintéticos para a regeneração de células, no lugar de células danificadas. As implicações desse novo ramo da medicina, chamada de *regenerative medicine*, vão ser enormes: será possível regenerar seções inteiras de órgãos danificados por um processo canceroso ou neurodegenerativo. Em particular, esse processo será importante na regeneração de órgãos cujo transplante é difícil ou impos-

sível. Doenças como o câncer do esôfago, do fígado ou da glândula supra-renal, a doença de Parkinson ou de Alzheimer e a diabete teriam um enorme benefício dessa tecnologia.

Tecnologia de alimentação

Com a previsão de uma população mundial da ordem de 9 bilhões de pessoas em 2050, comparada com os 7,6 bilhões atuais (2007), a tecnologia de alimentação do futuro terá que ser extremamente bem desenvolvida para alimentar adequadamente toda essa população. Por várias causas, hoje existem entre 500 milhões e 1 bilhão de pessoas que passam fome ou são subalimentadas. Em princípio existe no mundo suficiente quantidade de alimentos para toda a população; mesmo sendo correta essa assertiva, um contingente grande de pessoas é subalimentada. O papel da tecnologia de alimentação no futuro é o de melhorar essa situação. Essa não é uma tarefa simples. Ela não somente inclui o desenvolvimento tecnológico *per se* mas também requer a mudança dos hábitos alimentares. Por exemplo, uma porcentagem grande da população mundial tem, como parte de sua dieta, a carne animal, incluindo o peixe. Nos últimos 50 anos, com a expansão das pastagens para a criação de gado e outras espécies animais, houve um crescente desflorestamento e conseqüente destruição do ecossistema e da qualidade do solo para uso agrário; o que resta desse solo é usado para monoculturas tendo em vista o mercado externo; as populações locais são mantidas a um nível de subsistência. Todo esse processo está interligado: o uso crescente de carne no cardápio de populações afluentes em detrimento da destruição do meio ambiente e da dieta das populações locais. De forma semelhante, muitas espécies de peixes dos mares e rios têm sido dizimadas tendo como meta principal mercados de países afluentes que têm aumentado nas últimas décadas o uso de peixes na sua dieta. Desse ponto observamos a íntima

relação entre os aspectos econômicos, políticos e sociais antes mencionados, que juntos criam as condições negativas na vida de populações inteiras e no meio ambiente.

Possíveis desenvolvimentos da tecnologia de alimentação no futuro incluem: i) técnicas, baseadas em manipulação genética testada contra efeitos nocivos ao homem, animais e o meio ambiente, que ajudam na criação de espécies de frutas e legumes resistentes contra pragas e com maior teor alimentício. Tem havido no últimos anos uma resistência em relação à chamada tecnologia transgênica de alimentação dada a falta de dados relativos a possíveis efeitos nocivos. Uma pesquisa rigorosa para desenvolver esse tipo de tecnologia com uma comprovada inexistência de fatores nocivos vai levar possivelmente décadas de trabalho, mas resultados positivos vão compensar esse esforço; ii) métodos para um eficiente tratamento do solo, sem o uso indiscriminado de pesticidas, que mantenham a qualidade do microsistema do solo e que criem produtos ao alcance de toda a população mundial; iii) exploração e uso do mar como fonte alimentar no futuro. Nesse item pouco tem sido possível de se realizar devido à necessidade de uma tecnologia adaptada a grandes profundezas. Nesse sentido o desenvolvimento de métodos em robótica para a exploração e colonização de regiões profundas dos mares vai ser importante. O entendimento do ecossistema dos mares e rios, e como isso pode ser usado para criar “fazendas” de, por exemplo, peixes ou plantas com alto teor alimentício, vai ser importante para essa empreitada. Os aspectos fundamentais para o desenvolvimento da tecnologia de alimentação são a automatização e a hibridização. A automatização do plantio, da colheita e do tratamento do solo vai tornar a agricultura mais eficiente. De outro lado, a hibridização possibilitará a criação de novas espécies de plantas e também as tornará mais resistentes às intempéries e pragas naturais e com maior teor alimentício.

Preservação do meio ambiente

Poucos temas têm atraído mais atenção do que a questão da preservação do meio ambiente. Com a industrialização crescente nos últimos 200 anos ocorreu uma sistemática deterioração do meio ambiente incluindo o solo, a vegetação, os rios, os mares, a atmosfera, os animais e o homem. A deterioração do meio ambiente não é somente devida à poluição proveniente de dejetos industriais, dos meios de transporte, dos meios de criação de energia, mas também à falta de políticas consistentes de uso e conservação do meio ambiente; outro fator importante é a falta de uma consciência do papel e da importância que o meio ambiente tem sobre a vida de todos no planeta.

Para entender as dimensões do problema da preservação do meio ambiente é necessário conhecer melhor como funciona o gigantesco ecossistema representado pelo planeta Terra. No futuro novos ramos da ciência vão surgir que, de forma multidisciplinar, irão investigar, por exemplo: i) como ecossistemas reagem e se adaptam à presença de poluentes naturais e aqueles gerados pelo homem; ii) o controle climático, que inclui um entendimento de como funcionam as diferentes camadas de correntes de ar na atmosfera; iii) o ecossistema dos rios e mares, as correntes marítimas e fluviais; iv) o processo de decomposição de materiais industriais na natureza. Ao mesmo tempo em que todo esse conhecimento é gerado pela pesquisa, nova tecnologia adaptada aos resultados dessa pesquisa vai ser criada no futuro.

Um papel importante nesse processo é o da miniaturização. Por exemplo, microssores que se distribuem em dado ambiente (ar, mar ou terra) para captar informação, que depois é integrada para determinar o estado e evolução de processos poluentes. Também esses sensores poderiam ser usados para a monitoração de ambientes a fim de detectar a invasão, destruição e poluição. Esses microsistemas poderiam ter o tamanho de um grão de areia e mesmo assim processar, armazenar e transmitir in-

formação comparável à dos computadores pessoais atuais. A automatização vai ter um papel importante: o controle de vastos ambientes somente é possível por meio de sistemas automáticos, autônomos e que se adaptam ao ambiente.

Robótica

A robótica tem tido um grande desenvolvimento nos últimos 100 anos graças à evolução de um conjunto de áreas da engenharia e da ciência. A robótica é, por excelência, um ramo da engenharia do futuro. Os principais ramos da engenharia que contribuíram para a robótica são as engenharias mecânica e eletrônica. Principalmente desde os séculos XVII e XVIII houve uma revolução no desenvolvimento de sistemas totalmente mecanizados, o que era importante para a economia e a eficiência de produção da era industrial daquela época. Em particular, com o desenvolvimento da mecânica de alta precisão, foram desenvolvidos sistemas autômatos, como relógios, bonecos e instrumentos musicais. O desenvolvimento da eletrônica só ocorreu de forma mais acentuada com a miniaturização dos circuitos eletrônicos.

Aquilo que diferencia a robótica dos desenvolvimentos anteriores dos sistemas mecânico-eletrônicos são o uso de sensores sofisticados e a inteligência artificial. Em particular, o uso de métodos da inteligência artificial propicia o desenvolvimento de sistemas autônomos. Alguns elementos básicos de sistemas de robótica dotados de autonomia são: i) a percepção; ii) a memória; iii) o processamento de informação; e iv) a parte motora (Newell, 1980).

Percepção

O sistema perceptual usa informação sensorial, tal como informação visual, sonora e de *range sensor*. Nos últimos 40 anos houve um enorme desenvolvimento da área de visão computacional (*computer vision*) (Horn, 1986; Faugeras, 1993), de

processamento de imagens (*image processing*) (Rosenfeld, 1982) e de computação gráfica (*computer graphics*) (Foley, Van Dam, Feiner & Hughes, 1995). Isso inclui o processamento de visão bidimensional (em imagens) e tridimensional (no espaço tridimensional). O desenvolvimento dessa área teve duas vertentes: i) baseada em métodos puramente computacionais; ii) baseada em modelos de sistemas visuais biológicos (homem, animais – gato, macaco, etc. –, insetos – mosca, abelha, etc.). Do ponto de vista computacional, a teoria de como a informação visual (Marr, 1992) tridimensional é processada a partir de dados de imagens bidimensionais, como aquela de uma câmara, foi estabelecida nos últimos 30 anos. Essa teoria foi usada em sistemas de robótica baseados em visão para a navegação em ambientes com obstáculos (*obstacle avoidance navigation*), bem como em sistemas de robótica industrial. Em paralelo a esse desenvolvimento, o conhecimento de como a visão funciona em diferentes sistemas biológicos desde a mosca até o homem teve uma enorme evolução a partir dos anos 60.

Apesar de todo esse enorme desenvolvimento, os sistemas de robótica baseados em visão são: i) lentos nas suas ações; ii) frágeis no modo como processam informação visual, como, por exemplo, a cor, a forma, a textura, e a velocidade de objetos no espaço tridimensional são integrados; e iii) incapazes de combinar de forma efetiva a visão com ação, em particular com processos motores. No futuro, desenvolvimentos que tratam dessas limitações vão propiciar a criação de sistemas de robótica baseados em visão computacional com alto grau de discernimento perceptual.

Muitos sistemas de robótica atuais fazem uso de processos híbridos de sensores, que combinam visão com outros sensores; o tipo de combinação desses sensores depende da aplicação e da complexidade do meio ambiente. Um desses sensores é o sonar (*sound navigation and ranging*), que é baseado nas propriedades de propagação e de espalhamento do som na água e no ar. Em robôs autônomos os sensores de sonar são

muitas vezes distribuídos na superfície dos robôs, como na distribuição anular, e eles provêm uma informação sobre a distribuição tridimensional de obstáculos a serem evitados (Elfes, 1989; 1986) durante uma navegação num dado meio ambiente. Outro sensor importante é o *range sensor* baseado no *laser* (*light amplification by stimulated emission of radiation*), que cria imagens bi ou tridimensionais de um meio ambiente baseado nas propriedades de reflexão do *laser* de superfícies num ambiente. Um exemplo de um sistema híbrido é aquele que combina *range sensor* com visão estéreo tridimensional (Wallace, Matsuzaki, Crisman, Goto, Webb & Kanade, 1986). O entendimento de como diferentes sensores são integrados entre si e com a parte mecânica vai ser uma importante área de atividade, assim como, nesse sentido, um estudo comparativo entre sistemas artificiais e biológicos. Podemos citar como um elemento desse estudo comparativo o entendimento do sistema servo-visual da mosca estudado por Werner Reichardt do Max Planck Institut de Tübingen, na Alemanha. Graças a seu trabalho e de seus colaboradores foi possível analisar em detalhe como o sistema visual que processa movimento é integrado com o sistema motor que coordena o vôo e a aterrissagem da mosca. De forma mais geral, a integração de sensores com sistemas de controle e de conhecimento é uma das áreas fundamentais que serão continuamente desenvolvidas nas próximas décadas e séculos.

Memória e processamento de informação: conhecimento

A memória e o processamento de informação estão interligados: dependem de como o conhecimento é processado e representado. De acordo com Alan Newell (1980) o conhecimento é um nível entre os níveis de um sistema de computador: i) nível do aparelho ou dispositivo; ii) nível do circuito; iii) nível lógico; iv) nível do programa ou sistema; e v) nível do conhecimento. O siste-

ma no nível do conhecimento é representado pelo agente, e as componentes do nível de conhecimento, pelas metas, ações e corpos. O nível de conhecimento é o conhecimento *per se*, e a lei do comportamento é dada pelo princípio de racionalidade. A memória faz parte do conjunto de conhecimento que é adaptado no tempo. Toda essa estrutura formal é essencial para se ter sistemas, por exemplo, de robótica, que navegam e agem de forma autônoma num dado ambiente. O tipo de conhecimento de sistemas de robótica atual se concentra na área “executiva”: a execução de um plano dado um conjunto de metas. O que é possível como desenvolvimento no futuro são sistemas dotados de um tipo elementar de consciência em que o robô consegue refletir sobre suas ações e, dessa forma, mudar os planos e metas na execução de uma dada ação. Dessa forma os futuros robôs vão poder ter uma autonomia maior na execução de tarefas para sobreviver em ambientes insalubres e pouco explorados e se preservar. Um passo além da consciência é a emoção (Picard, 2000). Construir robôs com emoção vai representar um passo importante para a interação mais efetiva entre robôs e humanos.

Aplicações

Existem pelo menos três domínios nos quais a robótica vai ter um grande impacto: i) exploração espacial; ii) exploração submarina; iii) automação da produção industrial.

O uso de sistemas autônomos na exploração espacial é uma realidade, em grande parte, graças à pesquisa e desenvolvimento realizado no Jet Propulsion Laboratory (JPL) (<http://www.jpl.nasa.gov/index.cfm>) e em laboratórios da Europa e do Japão. Como exemplo dessa tecnologia temos a missão Mars Pathfinder, que combinou sistemas autônomos de navegação e exploração na superfície do planeta Marte. Outro exemplo é a missão Cassini-Huygens, que explorou o planeta Saturno e sua maior lua, Titão. Esse tipo de tecnologia baseado em robótica vai ser cada vez mais importante

na exploração do sistema planetário do sistema solar e, possivelmente, além de Plutão e dos limites atualmente conhecidos. Os principais argumentos a favor do uso de sistemas autônomos de robôs, comparado com o uso de tripulações humanas, na exploração espacial incluem: i) a robustez, a confiabilidade e a durabilidade de sistemas artificiais; e ii) a viabilidade econômica.

Os custos para a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de missões humanas são muito maiores do que aqueles necessários para sistemas artificiais de robôs, pois requerem a preservação da vida humana, do ponto de vista material e mental. Isso não significa que nenhuma missão humana vai existir no futuro; muito provavelmente vão existir missões humanas para a Lua e Marte, nos próximos 50-100 anos, apesar dos argumentos contra esse tipo de missão. Isso vai ocorrer em parte devido à nossa curiosidade natural de explorar o desconhecido, e em outra parte por motivos nacionalistas, estratégicos e militares. Mesmo nesse caso o desenvolvimento de sistemas de robótica que auxiliem o homem na exploração planetária vai ser importante.

No futuro, com o desenvolvimento contínuo da microtecnologia (processadores, memória), de métodos de automação baseados em sistemas eletromecânicos e talvez de uma síntese desses sistemas com sistemas biológicos preserváveis, e da inteligência artificial, será possível o desenvolvimento de sistemas de robótica com grande autonomia, auto-suficiência e inteligência. Uma possibilidade num futuro remoto é a construção de sistemas que coletam informação e amostras físicas que são posteriormente trazidas de volta à Terra para uma investigação mais detalhada. Para além do sistema solar, o próximo passo é a exploração de outros sistemas solares, como o sistema solar de Alpha Centauri, distante aproximadamente 4,37 anos-luz ou 41,5 trilhões de quilômetros; para esse fim, novos sistemas de propulsão terão que ser desenvolvidos, uma vez que, baseado em sistemas atuais de propulsão, a Voyager, com uma velocidade aproximada de 64.000

km/h, levaria aproximadamente 65 milhões de anos para atingir Alpha Centauri!

Os desafios para a exploração submarina baseada em robôs são grandes. A exploração efetiva dos mares requer sistemas de robôs com uma grande autonomia de operação, resistência a enormes pressões e sensores de alta resolução para uso na navegação, reconhecimento e exploração do fundo do mar. Tal tecnologia ainda é inexistente. A exploração das grandes profundezas para a exploração de novas fontes de energia, alimentação e para o desenvolvimento de habitação submarina permanente pode representar um elemento alternativo para o futuro do homem, dada a crescente degradação do nosso meio ambiente.

Interface

“Interface” é um termo genérico que se refere desde a sistemas de comunicação, de diversão, até o de informação. Nos últimos 100 anos houve um desenvolvimento enorme dessa tecnologia; estamos hoje em dia rodeados de TVs, rádios, computadores, telefones celulares, etc. Poderíamos pensar que basicamente nada mais radicalmente novo poderá ser desenvolvido. Nós queremos pensar o contrário: esse é apenas o começo de uma evolução tecnológica. Vamos falar de um “futuro” em que certos ideais tecnológicos sejam possíveis, baseado numa extrapolação do nosso conhecimento atual.

Comunicação

A comunicação mais efetiva é aquela que faz uso pleno do som, para ouvir/falar, de imagens/vídeo, para ver e aparecer, e de texto – o que se chama de “multimídia”. Num futuro próximo, 10 a 20 anos a partir de hoje (2007), poderemos nos comunicar em qualquer lugar do globo terrestre. Isso vai se dever em parte ao desenvolvimento de tecnologia de rede sem fio, desde ambientes fechados (casa, escritório) e locais, até regiões pouco acessíveis, bem como à

tecnologia de redes de satélites. As imagens terão formatos de ultradefinição até para monitores portáteis. Esses monitores poderiam ter uma forma compacta no transporte, como de bolso, mas durante seu uso poderiam ter um formato expandido, como um lenço. Uma forma primitiva desse conceito já existe em telefones celulares com tela dobrável. Sistemas de comunicação do futuro vão incorporar o fax, possibilitando a transmissão e impressão de extensos volumes de texto dado o uso de bandas ultralargas de comunicação e de sistemas de alta capacidade de armazenamento. A leitura de livros e a audição de música poderiam ser possibilitadas por esses sistemas de comunicação. Num futuro remoto os livros vão ser substituídos por textos eletrônicos; a compra e a venda de livros, CDs, DVDs, etc., poderiam ser efetuadas por esses meios de comunicação. Isso vai possibilitar o acesso ao conhecimento por qualquer pessoa, vai revolucionar o ensino, o trabalho e contribuir para uma verdadeira democratização de todos os países do mundo.

Diversão

Uma tecnologia básica em sistemas de diversão é a tela. Hoje em dia aparecem os primeiros sistemas em alta definição; basicamente uma tela bidimensional, na qual se vê uma imagem bidimensional. Desde os primórdios do cinema mudo, uns 120 anos atrás, o princípio é o mesmo. Uma indicação do que está por vir no futuro é o desenvolvimento de telas bidimensionais que mostram imagens tridimensionais. Na verdade, imagens tridimensionais em filmes, tal como o Imax, já são comuns desde a década de 50. Para ver essas imagens é necessário usar um dispositivo ou *goggle* na forma de “óculos”, para se ter a percepção de profundidade tridimensional baseada na disparidade bidimensional (Marr, 1992). O que está se desenvolvendo hoje em dia são, por exemplo, sistemas baseados em telas com pequenas lentes – sistema lenticular – que possibilitam ver imagens tridimensionais sem o uso de qualquer dispositivo. Esse tipo de sistema, uma vez aperfeiçoado, vai

possibilitar, em uns 10 a 20 anos, produzir-se telas que nos possibilitem ver imagens tridimensionais em alta resolução (*high* ou *ultra high definition*).

Uma outra tecnologia é a de realidade virtual: tipicamente são imagens e vídeos de ambientes criados por computador baseados na tecnologia de *texture rendering*. Essa tecnologia vai evoluir de tal forma que, no futuro, vai incorporar e combinar imagens reais (bi e tridimensionais) e sintéticas (via computador). Possivelmente a qualidade de imagens sintéticas vai chegar perto daquela de imagens reais. Uma amostra disso é a evolução do cinema de animação baseado em imagens sintéticas (*Toy Story*, *A Bug's Life* ou *Ratatouille*). Num futuro mais distante, digamos daqui a uns 50 a 100 anos, poderá ser possível que o espectador seja parte da cena de um filme, de um programa de TV, ou de um jogo virtual. Como ilustração disso, podemos comparar esse tipo de experiência com aquela de quem presenciou a peça de teatro *O Balcão*, de Jean Genet, apresentado no Teatro Ruth Escobar, em São Paulo, em 1971; a platéia, sentada em níveis de uma estrutura cilíndrica, era parte do cenário, sendo que os atores “flutuavam” no vão central do cilindro em diferentes níveis de altitude.

Nesse tipo de tecnologia, a cena é percebida como objetos reais em três dimensões que poderiam ser gerados, por exemplo, via tecnologia de holografia. Um pouco dessa experiência foi mostrada no filme *Star Wars* (*Star Wars Episode IV: a New Hope*, 1977), em que a princesa Leia aparece em um vídeo holográfico projetado por R2-D2, um dos personagens robôs (junto com 3-CPO). Em *Star Trek*, o programa de televisão, o *holodeck* é um ambiente simulado tridimensional no qual personagens reais interagem. Esse pode ser um dos futuros do cinema.

Informação

A nossa era é chamada da informação. Entretanto, o acesso, o armazenamento, o uso e a visualização da informação dependem ainda de uma tecnologia nos seus primórdios. A informação, de todo tipo

possível, está hoje, mais do nunca, ao nosso alcance, seja por livro, jornal, televisão ou Internet. Muitas vezes a informação que realmente nos interessa é difícil de ser obtida. No futuro é possível que essa informação, exatamente aquela da qual precisamos, seja acessível de forma natural, como os objetos que nos rodeiam no dia-a-dia. Isso vai requerer o desenvolvimento de uma tecnologia de indexação de objetos por rótulos multidimensionais que dão desde a posição e a velocidade até os níveis semânticos desses objetos. O acesso a essa informação indexada vai ser dada por interfaces tipo multimídia do futuro.

Um aspecto importante da informação é a Internet. O acesso à informação via Internet vai evoluir para incorporar a rede semântica (*semantic web*). Essa rede usa informação semântica de palavras (nos próximos 10 anos) ou visual e/ou auditiva (próximos 20 a 50 anos).

CONCLUSÃO

Discursar sobre o futuro da tecnologia é possível. Para tal é necessário combinar informação sobre o desenvolvimento passado de uma dada tecnologia, como, por exemplo, a televisão, com necessidades de mercado, desenvolvimentos sociais e tendências gerais do consumidor. O que é mais difícil é prever o futuro: isso requer um grau de exatidão que muitas vezes é difícil de gerar. Prever significa que certas características de uma tecnologia, dadas pequenas variações em torno delas, vão ser concretizadas. Uma vez que essas características não sejam confirmadas no futuro, a previsão falha. Muitas vezes os elementos de uma tecnologia criada num dado momento histórico podem ser conhecidos antes desse momento – meses, anos – e, mesmo assim, essa tecnologia pode não se materializar pela falta de condições de mercado ou mesmo de conhecimento adequado de como combinar esses elementos para realizar essa tecnologia. Um exemplo disso é a Internet: quem poderia ter previsto a Internet de hoje, que entre

outras coisas deu condições para a criação de uma forma totalmente nova de comércio em âmbito internacional, bem como uma vasta gama de serviços e informação. Isso mostra a importância dos aspectos econômicos, políticos e sociais no desenvolvimento de uma dada tecnologia. De um lado, esses aspectos criam condições para o aparecimento de novas tecnologias; de outro lado, essas novas tecnologias podem alterar esses aspectos, muitas vezes de forma radical.

O desenvolvimento de diferentes elementos de uma tecnologia se dá em paralelo ou em cadeia. O que torna difícil prever o futuro de uma dada tecnologia é que não é possível ter uma idéia precisa de: i) como seus elementos vão se desenvolver e se tornar maduros para seu uso; ii) como esses elementos vão ser combinados. Dependendo de como se combinam, conceptualmente, esses elementos, obtém-se um diferente futuro para uma dada tecnologia. Dessa forma, prever o futuro significa criar uma dada representação de um possível futuro. Prevê-se por projeção ao futuro daquilo que se sabe sobre o presente e o passado de uma dada tecnologia.

Ellul (1964) cita Norbert Wiener, que interpreta o papel da Revolução Industrial como algo que substituiu o músculo humano como uma fonte de energia. Wiener preconiza que uma segunda revolução, ainda em seu desenrolar, tem a missão de substituir o cérebro humano. Isso nos leva para os aspectos de miniaturização, artificialidade, automatização, e hibridização: qual o papel da alta tecnologia no futuro em relação a essa segunda revolução? Um elemento da artificialidade é o domínio do virtual. Nesse domínio aquilo que parece ser não é, o que nos remete aos conceitos de dissimular e simular de Baudrillard (1994): dissimular é pretender não ter aquilo que se tem, ao passo que simular é dar a impressão de se ter aquilo que não se tem. Na dissimulação, o princípio da realidade não é alterado, ao passo que na simulação a diferença entre “verdadeiro” e “falso” ou “real” e “imaginário” é nebulosa. Dessa forma, é possível que certos novos desenvolvimentos da alta tecnologia ligados ao domínio do virtual possam criar algo to-

talmente novo cuja definição não satisfaça os parâmetros da análise heideggeriana, nos quais a essência da tecnologia está relacionada com a verdade.

O que podemos dizer sobre um futuro remoto? Vai a tecnologia do futuro remoto ser do mesmo tipo daquilo que entendemos por tecnologia hoje em dia? Talvez a tecnologia se desenvolva independentemente do homem, em cujo caso a sua própria essência vai ser alterada.

Finalizamos com uma nota de Roberto Bolaño, escritor chileno que foi radicado na Espanha. Ele discursa sobre o futuro dos escritores e, creio, dos pensadores em geral. Muito possivelmente isso se aplica a todos os domínios de atividade humana:

“*Dentro de cuatro millones de años o diez millones de años va a desaparecer el escritor más miserable del momento en Santiago de Chile, pero también van a desaparecer Shakespeare y Cervantes. Todos estamos condenados al olvido, a la desaparición no sólo física, sino total. No hay inmortalidad. Y esto es una paradoja que los escritores conocen y sufren muy de cerca, porque hay escritores que se la juegan todo por el reconocimiento y la inmortalidad, palabras rimbombantes donde las haya, e inexistentes. No existe la inmortalidad. En el gran futuro, en la eternidad, Shakespeare y mengani-to son lo mismo, son nada*” (Roberto Bolaño).

BIBLIOGRAFIA

- BAUDRILLARD, Jean. *Simulacra and Simulation*. Trad. Sheila F. Glaser. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Press, 1994.
- BIEMEL, Walter. *Heidegger*. Rowolt, 1976.
- ELFES, Alberto. “A Sonar-based Mapping and Navigation System”, in *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Vol. 3, 1986, pp. 1.151-1.156.
- _____. “Using Occupancy Grids for Mobile Robot Perception and Navigation”, in *IEEE Computer* 22(6), 1989, pp. 46-57.
- ELLUL, Jacques. *The Technological Society*. New York, Vintage Books, 1964.
- FAUGERAS, Olivier. *Three-Dimensional Computer Vision*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1993.
- FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B. & SANDS, Matthew. *The Feynman Lectures on Physics*. New York, Addison-Wesley, 1965.
- FOLEY, James; VAN DAM, Andries; FEINER, Steven & HUGHES, John. *Computer Graphics: Principles and Practice*. New York, Addison-Wesley Professional, 1995.
- HEIDEGGER, Martin. *Die Frage nach der Technik*. Stuttgart, Kett-Cotta, 2002.
- HORN, Berthold. *Robot Vision*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1986.
- MARR, David. *Vision*. San Francisco, W. H. Freeman Publishers, 1992.
- NEWELL, Allen. “The Knowledge Level (Presidential Address)”, in *AI Magazine* 2(2), 33, 1980, pp. 1-20.
- PICARD, Rosalind. *Affective Computing*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 2000.
- ROSENFELD, Azriel. *Digital Picture Processing*, New York, Academic Press, 1982.
- SCHWAM, Stephanie (ed.). *The Making of 2001: A Space Odyssey*. New York, The Modern Library, 2000.
- WALLACE, R.; MATSUZAKI, K.; CRISMAN, J.; GOTO, Y.; WEBB, J. & KANADE, T. “Progress in Robot Road-Following”, in *Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*. vol. 3, 1986, pp. 1.615-1.621.
- WEINBERG, Steven. *The Quantum Theory of Fields*. Cambridge University Press, 1995.