
Computação, Ubiquidade e Transparência

Computing, Ubiquity and Transparency

Peter Jandl Junior¹, UniAnchieta

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é apresentar a computação ubíqua, uma área de pesquisa relativamente nova e ainda promissora. Para isso, traça um breve histórico deste campo; caracteriza e diferencia os sistemas de computação tradicional, móvel, pervasiva e ubíqua; indicando suas aplicações atuais e futuras possibilidades; discute as bases tecnológicas para esta classe de sistemas; e também analisa alguns dos maiores problemas técnicos envolvidos. Finalmente, discute alguns dos problemas sociais relacionados à adoção dessa tecnologia.

Palavras-chave. computação ubíqua; computação pervasiva; computação móvel; novas tecnologias.

Abstract

The main objective of this work is to present the ubiquitous computing, a relatively new research area and still promising. To this end, it traces a brief history of this field, characterizes and differentiates the traditional, mobile, pervasive and ubiquitous computing systems, indicating its current applications and future possibilities; discusses the technological basis for this class of systems; and also examines some of major technical problems involved. Finally, discusses some of the social issues related to the adoption of this technology.

Keywords. ubiquitous computing; pervasive computing; mobile computing; new technologies.

As tecnologias mais profundas são aquelas de desaparecem. Elas se emaranham no tecido do dia-a-dia da vida até que tornem indistinguíveis.

—Mark Weiser

1.Introdução

É inquestionável o papel de importância central que os computadores ocupam em nossa sociedade. Praticamente todas as áreas do conhecimento - Engenharias, Ciências Médicas, Ciências Sociais e outras - puderam se beneficiar, em maior ou menor grau, do surgimento da Computação, hoje com apenas 65 anos contados a partir do anúncio do *Electronic Numerical Integrator and Computer* ou ENIAC, o primeiro computador digital de propósito geral operado com sucesso (PENN, 2011).

A afirmativa, embora clichê, é verdadeira. Todo sistema financeiro global - o que inclui bancos, financeiras, seguradoras, corretoras, bolsas de valores e agências reguladoras - dependem radicalmente das *Tecnologias de Informação e Comunicação* (TIC) em todas as etapas de suas cadeias de negócios. Na indústria, comércio, serviços, pesquisa científica, infraestrutura e administração pública, apesar da penetração diferente em função do porte das empresas e instituições envolvidas, a utilização das TIC é igualmente ampla e importante.

De maneira geral, a computação se apresenta como um conjunto de ferramentas, sistemas e técnicas que permitem a criar, organizar, classificar, armazenar, recuperar e distribuir dados; constituindo inúmeros tipos de sistemas de informação. A utilização destes possibilita alcançar uma série de benefícios organizacionais refletidos em termos de agilidade, produtividade, integridade, confiabilidade, segurança e versatilidade. Com isso, os sistemas de informação suportam as operações, os processos de negócios e a tomada de decisões na busca por melhores produtos e serviços, maior satisfação de seus clientes, acionistas e colaboradores (OLIVEIRA, 2007; O'BRIEN, 2006).

¹Mestre. Coordenador do Centro Universitário Padre Anchieta-UniAnchieta (Jundiá-SP).

Em particular, a vigorosa expansão das redes de telefonia celular e também da Internet, cujo crescimento e popularização não foram antevistos por grande parte dos analistas de negócios e consultores técnicos (ZIMMERMAN, 1999), promoveram uma convergência de mídias e serviços para o universo digital, que está revolucionando a indústria do cinema, música, televisão, entretenimento e, principalmente da indústria da computação e das telecomunicações.

Finalmente, a enorme adesão da sociedade às redes sociais - como Facebook, Orkut, Twitter e outras - que efetivamente constituem comunidades virtuais que abrangem algo como 2/3 dos internautas no mundo (NIELSEN, 2009), ou seja, mais de 1.3 bilhões de pessoas, o que equivale a quase um quinto da população mundial (IWS, 2011), indicam um sério interesse na interação social, na comunicação permanente, na troca contínua de dados e na mobilidade irrestrita, principalmente dentre os mais jovens, que em geral desejam o acesso direto e descomplicado à estes serviços. Isto não é apenas uma tendência, mas provavelmente um futuro.

2.Computação ubíqua, pervasiva e móvel

A *ubiquidade* é a propriedade daquilo que está presente em todos os lugares ao mesmo tempo, ou seja, algo onipresente (HOUAISS & VILLAR, 2004).

Assim, a *computação ubíqua*, *ubiquitous computing* ou apenas *ubicomp*, significa a presença dos computadores em todos os lugares, de maneira que, embora muitos destes equipamentos estejam disponíveis no ambiente físico, sejam efetivamente invisíveis para seus usuários (MOBILEMAN, 2011; ARK & SELKER, 1999; DRYER, EISBACH & ARK, 1999), ou seja, não residam como equipamentos de mesa ou portáteis, mas estejam embutidos no ambiente em que vivemos.

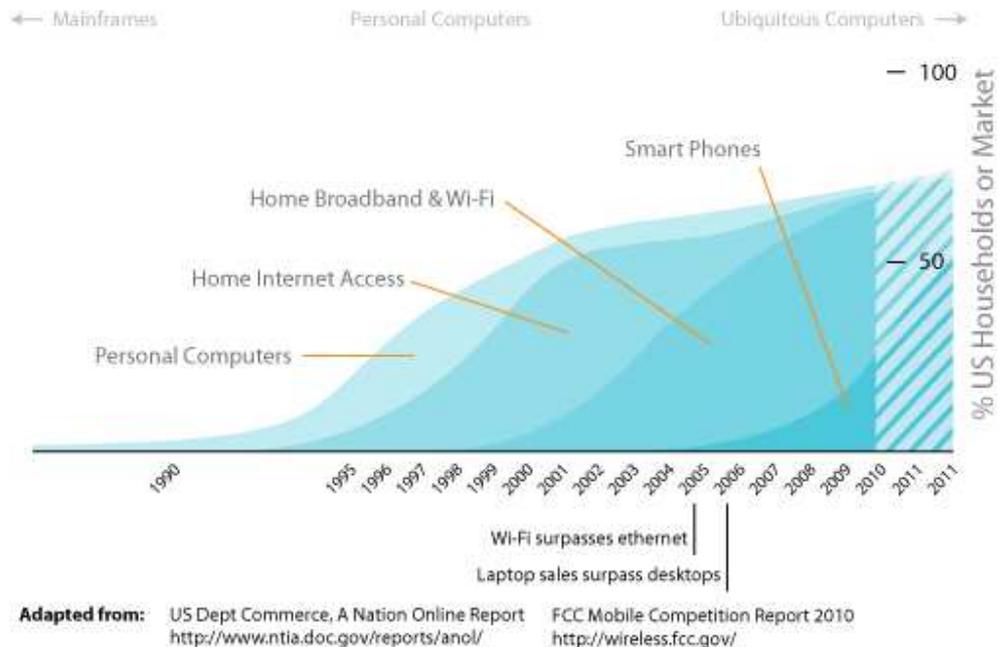
O objetivo maior da computação ubíqua é tornar o uso dos computadores tão simples, comum e corriqueiro que as pessoas nem percebam sua presença, mesmo quando os utilizam, tal como aconteceu com outras tecnologias, como a escrita e a eletricidade, absolutamente incorporadas em nossas vidas.

Para Mark, "*a revolução da computação pervasiva certamente acontecerá: a computação estará incorporada nas coisas, não em computadores*" [tradução livre] (1999, p.677). Em tese, a integração de computadores ao ambiente permitiria que as pessoas se deslocassem, trabalhassem ou interagissem com tais sistemas mais naturalmente do que hoje, ou seja, transparentemente. Então, o termo computação ubíqua se refere aos métodos de melhoria do uso do computador, tornando muitos destes disponíveis no ambiente físico, mas de maneira que sejam efetivamente invisíveis para o usuário (WEISER, 1994, 1993). Além disso, deve possibilitar que os dispositivos detectem alterações em seus ambientes, adaptando-se automaticamente e atuando conforme tais mudanças, considerando também as preferências ou necessidades dos usuários.

Weiser (2011) considerava a computação ubíqua como a terceira onda da computação. A primeira foi a era dos *mainframes*, onde muitas pessoas utilizavam um mesmo sistema. A segunda onda foi determinada pela introdução e ampla disseminação dos computadores pessoais, onde cada pessoa usava seu próprio computador. A terceira onda da computação se caracteriza pela situação onde cada pessoa utiliza muitos computadores, visíveis ou não, disponíveis nos diversos ambientes em que vive (em casa, no trabalho e nos demais lugares de seu convívio). Como indica a Figura 1, estamos presenciando a transição entre a segunda e terceira ondas, pois já é comum que as pessoas disponham de redes WiFi ou móveis, utilizem vários computadores, onde alguns destes equipamentos já não possuem acondicionamento tradicional, como *smartphones*, sistemas de posicionamento global (*Global Positioning Systems* - GPS) e *tablets*.

Os automóveis são exemplos da presença invisível e natural de sistemas computacionais ubíquos (ARK & SELKER, 1999), pois possuem: sistemas de injeção eletrônica adaptativos à combinação dos combustíveis usados e também às diferentes situações de exigência de potência do motor; câmbios automáticos que oferecem modos diferentes para as trocas de marcha e também capazes de se adequar ao estilo de condução do motorista; sistemas de assistência à frenagem, tração e estabilidade; GPS que oferecem orientação audível; integração com celulares por meio de Bluetooth e acionamento por comandos de voz; além de sistemas de entretenimento (em geral, som e vídeo) com inúmeras capacidades de processamento de formatos digitais e analógicos.

Figura 1. Ondas da computação representadas pela participação da venda de tipos de equipamentos ao longo do tempo.



Fonte: <http://punchcut.com/images/ubi-comp-mainstream.png>.

O conceito de computação ubíqua envolve a construção de sistemas diferentes dos computadores típicos, integrados de tal maneira aos nossos ambientes cotidianos de trabalho e convívio social, que o acesso a dados, mídias e às redes se torne constante, contínuo, móvel, fácil e, principalmente, transparente (CBC, 2011). Assim, faz-se necessário diferenciar os termos computação ubíqua, pervasiva, móvel e, inclusive, tradicional (ARAÚJO, 2003).

Como ilustrado na Figura 2, a *computação tradicional*, representada pelos *mainframes*, *workstations* e *desktops* se caracteriza por nenhuma mobilidade e baixo grau de integração com o ambiente (*low embeddedness*), ou seja, o computador é um equipamento no qual as pessoas executam tarefas explícitas, como a criação de documentos ou o envio de *e-mails* (MARK, 1999), utilizando uma interface convencional composta de teclado, *mouse* e monitor. Os *notebooks*, *laptops* e *netbooks* são equipamentos facilmente transportáveis, mas utilizados sobre mesas ou sobre as pernas, ou seja, parados, com isso também se encaixam na definição da computação tradicional.

A *computação móvel* é entendida como aquela onde dispositivos de pequeno porte, que podem ser carregados ou transportados, são capazes de realizar tarefas computacionais, independentes ou associadas aos serviços existentes nas redes onde se conectam (telefonia celular ou Internet), permitindo que seus usuários os utilizem enquanto se movem livremente. Tais dispositivos, também conhecidos como *Mobile Information Devices* - MIDs, devem ser rapidamente ativáveis (*instant-on computing*) e possuir autonomia considerável, ou seja, 10 horas ou mais de duração de sua bateria (CBC, 2011). Os antigos *Personal Digital Assistants* - PDAs, que evoluíram e se combinaram aos telefones celulares, hoje conhecidos como *smartphones*, são os representantes típicos desta modalidade. Os computadores transportáveis situam-se na transição da computação tradicional com a móvel, devido sua mobilidade e conectividade.

A *computação pervasiva*, outro termo utilizado em alguns contextos como equivalente à computação ubíqua (ARK & SELKER, 1999), indica a combinação de computadores com vários outros elementos, tais como sensores, isolados ou em rede, e múltiplas interfaces, presentes em objetos de todo e qualquer tipo (aparelhos, mobília e vestuário), distribuídos em todos os lugares (NIST, 2001). Estão, portanto, embutidos (*embedded*) em outros objetos, sendo diferente dos computadores tradicionais principalmente em relação a sua interface e ao modo mais intuitivo de utilização, onde as tarefas computacionais são realizadas de maneira implícita.

Figura 2. Computação tradicional, móvel, pervasiva e ubíqua representadas em termos de mobilidade e integração (LYYTINEN & YOO, 2002).



Por outro lado, para Barton & Pierce (2007), a computação pervasiva possui a ubiquidade como uma característica fundamental, a qual permite que atividade computacional seja contínua no tempo e no espaço. Na opinião destes autores, outros atributos da computação pervasiva são invisibilidade, pois a computação deve ajudar, sem se tornar a atividade central; conexão física-virtual, onde a experiência do usuário pode depender e se beneficiar da localização, orientação e presença de outras pessoas ou objetos; e heterogeneidade, pois tipos diferentes de dispositivos e redes deverão ser intergrados.

A combinação das modalidades móvel com pervasiva dá origem a *computação ubíqua*, ou seja, se beneficia destas tecnologias e agrega outras para a construção de sistemas distribuídos e inteligentes, imperceptivelmente integrados aos ambientes, capazes de perceber a presença de seus usuários, ofertando transparentemente serviços de informação, controle e conveniência de maneira simples e intuitiva.

Kuniavsky (2010) sintetiza o conceito de computação ubíqua como a prática de embutir processamento de informação e comunicação em rede nos ambientes do dia-a-dia para prover serviços, informação e comunicação. Com isso, uma multiplicidade de dispositivos computacionais, baratos e simples de usar, poderiam auxiliar tanto indivíduos como grupos de trabalhos a se comunicarem melhor (LANDAY & DAVIS, 1999).

Também é conveniente destacar que os ambientes computacionais ubíquos são, conceitualmente, opostos aos ambientes de realidade virtual (*Virtual Reality* - VR), no sentido de que sistemas de VR envolvem a construção de mundos gráficos artificiais *dentro* de computadores, enquanto sistemas ubíquos envolvem a construção de computadores integrados ao mundo real (CBC, 2011). Na visão de Weiser (2011), a VR era um problema de capacidade de processamento, enquanto a computação ubíqua é uma integração complexa de muitos fatores humanos, ciência da computação, engenharia e ciências sociais. Tradicionalmente a VR requeria que os seres humanos se adaptassem às suas possibilidades e limitações, mas as novas tecnologias de geração de imagens 3D no cinema, televisão e, em breve, até em *tablets*, associados com interfaces extraordinariamente simples, como as presentes nos consoles Nintendo Wii® e Microsoft XBox with Kinectic® mostram que a VR também caminha para integração plena com o mundo real.

Gershenfeld (2000) já argumentava que bilhões de dólares foram (e ainda são) gastos no desenvolvimento de processadores ainda mais rápidos, os quais são utilizados em equipamentos que pouco mudaram desde os primórdios da computação. Mas, para um número impressionante e crescente de pessoas e problemas, a maior restrição dos computadores continua a ser a obtenção do dado ou da informação desejada, no instante e local em que isso se faz necessário, muito mais do que a velocidade em que podem ser processados.

Assim, a computação ubíqua exige equipamentos acessíveis por meio de *interfaces multimodais*, cuja tecnologia deve se adaptar aos requisitos humanos de usabilidade e ergonomia. As interfaces multimodais são aquelas que podem utilizar para entrada de dados, incluindo aqueles multimídia, um conjunto de diferentes modalidades, tais como escrita à mão, gestos, voz ou mesmo *eye-tracking*, além de janelas convencionais, teclado e *mouse* (OVIATT, 2003; IMAI, 1992).

As idéias subjacentes ao conceito de computação ubíqua são simples e poderosas: computação fácil e disponível onde necessária; ou computadores em todos os lugares, todos conectados à Internet (LEVY *et.al.*, 1999). Araújo avalia que:

"A convergência das tecnologias de rádio, dos microprocessadores e dos dispositivos eletrônicos digitais pessoais está levando ao conceito de ubiquidade no qual dispositivos inteligentes, móveis e estacionários, coordenam-se entre si para prover aos usuários acesso imediato e universal a novos serviços, de forma transparente, que visam aumentar as capacidades e habilidades humanas" (ARAÚJO, 2003, p.45).

Para Greenfield (2006) a computação ubíqua, cujas muitas formas são indistinguíveis na perspectiva do usuário, se caracterizará como um único paradigma: *everyware*. Anteriormente, Mark (1999) já expressava este conceito de maneira semelhante, como *computação implícita*.

O emprego e a conveniência de sistemas ubíquos e pervasivos podem ser melhor ilustrados com um exemplo. Uma jovem executiva tem uma viagem de negócios programada para o final da manhã. Cedo, em seu escritório, ela revê e ajusta sua apresentação, diretamente no tampo de sua mesa, que ao mesmo tempo exibe um canal de notícias ao vivo e outras informações usadas rotineiramente. Quando o seu táxi, previamente agendado, está a 15 minutos do seu local de trabalho, o aplicativo agenda a informa deste fato, de maneira que ela possa se preparar para sair, transferindo a visualização da apresentação para seu *smartphone*. Enquanto desce de elevador, ela recebe uma chamada de sua amiga, atendendo sem manipular diretamente o aparelho, pois seu casaco, integrado ao mesmo, possui microfone e alto-falantes embutidos na gola. Ao entrar no taxi, a chamada é automaticamente transferida para o sistema de som privativo do passageiro, ao mesmo tempo que o aplicativos em uso surgem numa tela sensível a toque disposta à sua frente. Assim, ela finaliza sua apresentação enquanto continua a conversa escolhendo uma peça de teatro para assistirem, consultando a programação disponível na *web*. Ao chegar no aeroporto, o pagamento é realizado por meio da transferência de créditos, autorizada biometricamente por meio do *smartphone*. Entrando no saguão, ela ouve por meio do casaco, que seu vôo está no horário, mas foi transferido para outro portão de embarque, indicando o caminho que deve ser seguido. Agora ela está tranquila e pode saborear um café enquanto aguarda sua viagem. Tudo realizado transparentemente, sem uso direto de computadores.

Mas, enquanto a noção de sistemas ubíquos é simples e elegante, as implementações são incrivelmente complexas, com a presença de muitas interdependências críticas. Por exemplo, as soluções proprietárias de fornecedores diferentes, antes independentes, agora necessitarão se adaptar às interfaces e protocolos mais universais, eventualmente abertos, à medida em que a idéia de que *a rede é o computador* se concretiza.

Então, os termos computação pervasiva e computação ubíqua indicam uma tendência emergente na direção de dispositivos computacionais numerosos, acessíveis casualmente, quase sempre invisíveis, frequentemente móveis ou embutidos no ambiente, conectados a uma infraestrutura de rede crescentemente onipresente, composta de um núcleo *wired* e extremidades *wireless* (NIST, 2005).

Tais definições refletem apenas uma visão de natureza tecnológica, assim, uma abordagem mais ampla requer o exame de outros pontos de vista adicionais: as pessoas, os negócios e as implicações de tempo, privacidade e segurança. Ao mesmo tempo, existe um atributo comum a todas essas questões: oportunidade (NIST, 2005). Na verdade, um conjunto de oportunidades numa escala que é raramente vista, acompanhado dos riscos que, naturalmente, coexistem nos períodos de mudanças substanciais/significativas.

3. Breve histórico

No final de 1987, um grupo de pesquisadores do Xerox *Palo Alto Research Center* (PARC) imaginaram construir grandes *displays* que pudessem funcionar como quadros brancos capazes não apenas de permitir o reconhecimento de escrita por meio de canetas eletrônicas, mas também de digitalizar imagens e documentos por meio de contato direto, além de integrar-se com outros dispositivos em rede (WEISER *et.al.*, 1999).

Destas idéias, já distantes do então paradigma dominante de *uma pessoa - um computador*, surgiu a proposta de embutir computadores, de maneira invisível, em todo e qualquer ambiente. Estes novos conceitos também levaram à reflexão de *como* a tecnologia dos computadores era usada, em contraste com os anseios de quem utilizava tal tecnologia.

Neste cenário foi cunhada a expressão *computação ubíqua* (*ubiquitous computing*) e iniciado em 1988 um programa de pesquisa de mesmo nome, como uma resposta radical:

"ao que estava errado com o computador pessoal: muito complexo e difícil de usar; muito exigente de atenção; muito isolado de outras pessoas e atividades; e muito dominador, à medida em que coloniza nossas mesas e nossas vidas" [tradução livre] (WEISER *et.al.*, 1999, p.693).

A partir da atuação do Xerox PARC, outros laboratórios de pesquisa, igualmente renomados, adotaram a computação ubíqua ou pervasiva como uma de suas áreas de pesquisa. Entre eles se destacam o MIT Media Lab do *Massachusetts Institute of Technology*, *Ubiquitous Computing Research* do *Georgia Institute of Technology*, *Group for User Interface Research* da *University of California*, *Telecooperation Office* (TecO) da *University of Karlsruhe*, *Laboratory of Communication Engineering* da *University of Cambridge*, *Institute for Pervasive Computing* na *ETH Zurich*, *AMBIENTE - Smart Environment of the Future* - no *Fraunhofer Institute IPSI*, etc.

Com isto, foram criadas várias conferências de âmbito internacional para a apresentação e discussão dos avanços e problemas desta nova área, tais como a *International Conference on Ubiquitous Computing* - UBIComp - promovida pela *Association of Computer Machinery* (ACM) e a *International Conference on Pervasive Computing and Communications* - PERCOM - organizada pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE).

Além dos trabalhos realizados no Xerox PARC, outras iniciativas em UbiComp se destacaram, tais como o InfoPad, do *Electrical Engineering and Computer Science Department* em Berkeley, um projeto para permitir o acesso a informações em tempo real por meio de dispositivos de baixo custo; iROOM, para construção de ambientes de trabalho interativos e colaborativos, conduzido pela *Stanford University*; BlueBoards, um grande *display* interativo, sensível à toque e dotado de reconhecimento de usuários baseado em leitura de crachá pessoal, mantido pelo *IBM Almaden Research Center* (RUSSELL, STREITZ & WINOGRAD, 2005); e o Classroom 2000, um experimento computacional amplo, conduzido pelo *Future Computing Environments Group* no *Georgia Institute of Technology*, para avaliar o impacto da computação ubíqua na educação (ABOWD, 1999).

Da mesma forma, várias empresas de tecnologia deram início a programas específicos nestas áreas, dirigindo seus esforços para concretizar suas próprias visões da computação ubíqua e pervasiva (GREENFIELD, 2006), tais como Hewlett-Packard, Philips, Samsung, NTT DoCoMo, Intel, LG, entre outras. Em 2005 foi estabelecido o *Team for Research in Ubiquitous Secure Technology*² (TRUST), um centro de pesquisa estratégico patrocinado pela *National Science Foundation* (NSF), dedicado ao desenvolvimento de ciência e tecnologia para transformação radical das habilidades das organizações no projeto, construção e operação confiável de sistemas de informação para infraestrutura crítica (NSF, 2011). Mais recentemente, outras companhias voltaram sua atenção para sistemas ubíquos e pervasivos, como Nokia, Qualcomm, Research in Motion e HTC, do segmento de telefonia móvel, e Garmin, fabricante de GPS.

²<http://www.truststc.org/>. Acesso em 20/04/2011.

Especificamente no Brasil, existem o Grupo de Computação Pervasiva e de Alto Desempenho³ (PAD) formado em 1996 na Universidade de São Paulo; o Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva⁴ (*Embedded*), criado em 2005 na Universidade Federal de Campina Grande (UFCCG); e o Grupo de Computação Ubíqua⁵ (GCU), fundado em 2006 na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) promove desde 2009 o Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP), um fórum específico para apresentação e discussão de projetos nacionais desta área.

Hoje, a computação ubíqua ou pervasiva, é considerada uma área de pesquisa e desenvolvimento interdisciplinar, que utiliza e integra as tecnologias móveis, *wearable*, embutidas, *wireless* e pervasivas para interligar os espaços entre os mundos físico e digital (UBICOMP, 2011), sendo assim, tem interesses comuns com muitas áreas, como arquiteturas de sistemas distribuídos, computação móvel, computação em nuvem, redes de sensores, inteligência artificial, sistemas tolerantes à falhas e interação humano-computador.

4. Bases tecnológicas

Ark & Selker (1999) identificaram quatro grandes aspectos da computação ubíqua que, de maneira geral, afetariam as pessoas:

- a crescente disponibilidade de novos dispositivos de informação;
- a mobilidade dos usuários;
- a distribuição da computação pelo ambiente; e
- a simplificação da comunicação entre indivíduos; entre indivíduos e coisas; e entre coisas.

Uma década depois, esta avaliação se confirmou com a introdução e popularização de múltiplos dispositivos de informação móveis (GPS, monitores de corrida, livros eletrônicos, consoles portáteis para jogos, *players* diversos, etc.), a convergência de PDA e celulares nos *smartphones*, além de novas gerações de equipamentos computacionais compactos (*netbooks* e, mais recentemente, os *tablets*).

Esta abordagem, que considera diretamente os aspectos relacionados com a heterogeneidade, distribuição e mobilidade do *hardware* e seus usuários, é complementada por análise semelhante realizada por Araújo (2003), que inclui outros pontos, igualmente importantes, relacionados:

- as aplicações seguem os usuários em movimento;
- a informação é acessada por meio de múltiplos dispositivos heterogêneos, que apresentam visões diferentes da aplicação e interação entre si;
- o ambiente e os dispositivos trocam informações e respondem às mudanças percebidas; e
- algumas tarefas são executadas de maneira autônoma, reduzindo ou eliminando a necessidade de intervenção humana.

Considerando tais requisitos, a criação de sistemas ubíquos, isto é, presentes em todos os ambientes, conectados permanentemente à Internet, e acessíveis de maneira transparente e intuitiva, exigem uma extensa base tecnológica que possa atender aos princípios anteriormente comentados (BARTON & PIERCE, 2007): ubiquidade, invisibilidade, conexão física-virtual e heterogeneidade. Tal acervo de tecnologias, a grosso modo, deve incluir, entre outros elementos, *interfaces multimodais*; dispositivos pervasivos e móveis; capacidades de reconhecimento de contexto; e sistemas operacionais e distribuídos.

³<http://sites.google.com/site/padlsiepusp/>. Acesso em 20/04/2011.

⁴<http://www.embeddedlab.org/>. Acesso em 20/04/2011.

⁵<http://gcu.dc.ufscar.br/>. Acesso em 20/04/2011.

4.1. Interfaces multimodais

A implementação de sistemas ubíquos e pervasivos remete rapidamente às questões de construção de interfaces para dispositivos eletrônicos. No mundo real, as melhores interfaces são aquelas intuitivas, cujo uso parece diretamente relacionado com sua função, tais como maçanetas e torneiras. Mas no mundo eletrônico, apesar da possibilidade de imitar-se botões de aparelhos convencionais, existe razoável dificuldade em mimetizar interfaces reais e também em determinar a *melhor* interface, principalmente quando para realização de tarefas computacionais:

"Consequentemente, a maioria das interfaces físicas para sistemas eletrônicos são talhadas para o maior *denominador comum* da experiência humana, mais do que para a *multiplicidade* da experiência humana, e poucas interfaces, se alguma, são dinamicamente construídas para as necessidades individuais das pessoas" [tradução livre] (EUSTICE *et.al.*, 1999, p.576).

As *interfaces multimodais* podem ser entendidas como aquelas de uso intuitivo, não tradicionais e capazes de estabelecer comunicação mais efetiva com seus usuários. Oviatt (2003) define os sistemas multimodais de entrada como aqueles capazes de processar uma combinação de modalidades - tais como fala, toque, escrita, gestos, olhar, movimentos de cabeça e corpo - de maneira coordenada com sistemas multimídia de saída, com o objetivo de reconhecer as formas naturais de linguagem e comportamento humano e, desta forma, suportar a interação humano-computador de maneira mais transparente, flexível, eficiente e expressiva. Sarter (2006), cujo trabalho se concentra nas interfaces multimodais de saída, discute o uso de *feedback* visual, audível e também tátil para criação de sistemas cujos benefícios são sinergia, redundância e maior capacidade de transferência de informação.

Cada uma das modalidades não tradicionais de entrada apresenta um conjunto particular de dificuldades, como por exemplo o reconhecimento pleno de escrita a mão livre, de gestos e expressões faciais e corporais. A integração destas modalidades de comunicação em interfaces de entrada capazes de selecionar os modos efetivamente em uso, além de admitir algum grau de redundância e complementaridade, é um desafio tecnológico ainda maior (IMAI, 1992). Alguns autores, como Wigdor & Wixon (2011) e Clayton (2011), entendem que estas são as *Natural User Interfaces* (NUI), ou seja, aquelas capazes de fazer o usuário agir e sentir tal como uma extensão de seu próprio corpo, diminuindo ou eliminando as dificuldades com o uso dos computadores.

4.2. Dispositivos pervasivos e móveis

Do ponto de vista dos dispositivos pervasivos, isto é, embutidos no ambiente, podem ser considerados aqueles de grandes dimensões, como mobília ativa e *super-displays*, nos quais podem ser incluídas as mesas inteligentes, versões ampliadas dos atuais *tablets*; e paredes ativas, em substituição às televisões e projetores (RUSSELL, STREITZ & WINOGRAD, 2005); que requerem interfaces multimodais e conectividade com a Internet e outros dispositivos.

No outro extremo situam-se os sistemas de pequenas dimensões, tais como os cartões, crachás e etiquetas inteligentes; livros eletrônicos; consoles e computadores portáteis; que fazem parte do cotidiano, mas não ainda com as capacidades desejadas pela computação ubíqua. Computadores *de vestir* (*wearable computers*) (WIRED, 2010; LEE & KWON, 2010), capazes de ofertar a versatilidade de um computador pessoal tradicional na forma de um casaco ou outra peça do vestuário, hoje podem parecer excêntricos, mas em algum tempo poderão se tornar lugar comum, principalmente porque, como aponta Zimmerman (1999), existem situações onde não é aceitável utilizar um computador, como um cirurgião ao longo um procedimento crítico ou um piloto de aviões durante manobras de pouso ou decolagem. Em contrapartida, vale ressaltar que já é possível que médicos realizem cirurgias à distância, utilizando robôs e outros equipamentos interligados que efetuam a coleta de um grande número de dados, disponibilizados por meio computadores, cujas interfaces não são o tradicional teclado-*mouse*-monitor.

As necessidades de detecção de alterações no ambiente também exigem o desenvolvimento de sistemas de processamento de *arrays* de câmeras, sensores e microfones; reconhecimento de imagens; reconhecimento biométrico; processamento de diálogos e outros. O próprio conceito de ubiquidade foi impulsionado com a evolução na construção de sensores - de som, pressão, temperatura, ondas

eletromagnéticas e outros - considerados com uma nova classe de sistemas computacionais (SBC, 2006). Redes de sensores miniaturizados, como os *Radio-Frequency Identifiers* (RFID), podem ser distribuídos em ambientes ou objetos, disponibilizando dados específicos para dispositivos *efetuadores*, entidades complementares destinadas a coleta de dados de redes de sensores. A combinação de sensores, individuais ou em rede, com os efetuadores e *software* de controle oferece incontáveis possibilidades e pode mudar, substancialmente, nosso dia a dia.

E ainda existem propostas revolucionárias, tal como a tinta digital (*digital ink*) (WIRED, 1997), onde microcélulas, capazes de trocar de cor e controláveis individualmente, seriam coladas a uma folha de papel convencional, juntamente com um micro-sistema de processamento, dando origem a um papel inteligente, cujo conteúdo poderia ser ativamente alterado, substituindo com inúmeras vantagens o papel comum.

A criação de dispositivos móveis esbarra nas tradicionais questões de tamanho, desempenho e autonomia. Pequenos aparelhos são adequados ao transporte, mas exibem interfaces minúsculas, nem sempre convenientes. Desempenho e autonomia são características antagônicas do ponto de vista de duração das baterias necessárias. Além disso, existe uma tendência em desenvolver-se *software* que imite o modelo estático do mundo atual devido nossa familiaridade. Outra vez, novos tipos de interfaces são exigidas, assim como miniaturização e uso de novos materiais.

Deseja-se criar uma espécie de dispositivo universal de informação ou *universal information appliance* (UIA), que possa servir como um portal pessoal para acesso ao domínio digital e eletrônico (EUSTICE *et. al.*, 1999). Na visão do usuário, um UIA, na forma de *smartphone* ou *wearable computer*, poderia interagir com qualquer aplicação, acessar qualquer informação, ou operar qualquer dispositivo remotamente. O objetivo final do UIA é melhorar a qualidade da interação humano-computador, explorando as interfaces dinâmicas e aplicações, novas ou legadas, que se ajustem ao contexto, experiência e necessidades imediatas de seus usuários.

O desenvolvimento de componentes pervasivos e móveis, realmente incorporados ou interconectados ao ambiente, exigirá tecnologias de interface mais avançadas e novas técnicas de miniaturização e integração. Além disso, serão necessários serviços de descoberta, outros tipos de redes, capazes de prover comunicação eficiente entre uma multiplicidade de dispositivos heterogêneos, estáticos e móveis, a curta distância, o que pode ser entendido como *Personal Area Networks* (PANs) (ZIMMERMAN, 1999).

4.3.Reconhecimento de contexto

Dentre as maiores dificuldades técnicas da computação pervasiva e ubíqua estão as questões de reconhecimento de contexto (DRYER, EISBACH & ARK, 1999; MARK, 1999; ZIMMERMAN; 1999). Conceitualmente, quando uma pessoa adentra um ambiente, ela, por meio dos dispositivos que carrega, deve ser reconhecida pelo ambiente e vice-versa, possibilitando a troca de informações correta e convenientemente. Isto envolve a identificação inequívoca do usuário e a troca de informações pertinente a contexto (local, horário e atividades em curso). A identificação automática de contexto pode tornar os dispositivos computacionais capazes de responder mais adequadamente as necessidades individuais dos usuários, ajudando-os a personalizar serviços e aplicações de maneira inteligente.

Segundo Picard, sistemas capazes de reconhecer o contexto *percebem* ou *recordam* informações sobre a pessoa e sua situação física e emocional, de maneira a reduzir o esforço e a comunicação envolvidos entre usuário-computador (*apud* SELKER & BURLESON, 2000, p.881). Para interpretar tais tipos de entrada, estes sistemas devem criar, manter e ser orientados a modelos de tarefa, usuário e de sistemas. Assim, para proporcionar uma experiência útil, os sistemas ubíquos necessitam realizar a descoberta mútua e integração de usuários, serviços e recursos. Sendo assim:

"Contexto não é simplesmente um estado, mas parte de um processo. Não suficiente que um sistema se comporte corretamente num dado instante: ele deve comportar-se corretamente durante o processo no qual os usuários estão envolvidos" [tradução livre] (COUTAZ *et. al.*, 2005, p.50).

Com isto, surge o conceito de *espaços mediados*, que são espaços físicos onde o foco reside na interação interpessoal de seus participantes. Hoje, com raras exceções, as interfaces computacionais

não reconhecem a presença dos seres humanos, quanto mais suas identidades. Assim, a presença explícita dos computadores, nos quais as pessoas realizam tarefas computacionais, deveria ser substituída por um ambiente onde os sistemas pervasivos presentes facilitassem a condução das atividades que as pessoas fazem *normalmente*, como movimentar-se, usar objetos e conversar (MARK, 1999) ou até mesmo aprender e conseguir realizar novas tarefas (SELKER & BURLESON, 2000, p.881). Esta é uma mudança radical, onde o relacionamento entre pessoas e computadores deixa a forma estática, monousuário, desconexa da localização; e passa para outra, dinâmica, multiusuário, situada no ambiente (isto é, que considera o contexto de sua localização).

O reconhecimento de contexto também é complexo em relação a maneira com que as informações são disponibilizadas aos seus usuários, ou seja, além das questões de identificação do usuário e sua localização; é necessário limitar a quantidade de informações fornecida espontaneamente, evitando sobrecarregar os indivíduos, adotando o conceito de *espaços de informação situados* (SPOHRER, 1999). Assim, a informação associada a objetos e serviços presentes em um espaço seria disponibilizada nos elementos físicos presentes, provendo *hot spots* acessíveis por dispositivos carregados pelo usuário, ou seja, UIAs, capazes de fornecer a quantidade de informação demandada dinâmica e individualmente. Ainda segundo Spohrer (1999), a aproximação de colocar informação nos lugares, permitiria ao usuários usufruir de uma realidade que combine objetos virtuais e reais, o que é um dos objetivos dos pesquisadores de sistemas de realidade aumentada.

Torna-se claro que o reconhecimento de contexto é uma característica fundamental na construção de *espaços mediados* ou *espaços de informação situados* capazes de fornecer informação contextualizada na quantidade correta ao seus usuários. Isto também enfatiza a necessidade de melhores tecnologias de interface, que tornem mais simples o uso dos dispositivos pervasivos e móveis distribuídos nestes mesmos espaços. Assim, é premente que a Ciência da Computação se una ao projeto das coisas, pois é essencial que, dentre as inúmeras alternativas, seja escolhida aquela mais adequada para a tarefa em questão.

4.4.Sistemas operacionais e distribuídos

Ao mesmo tempo que a computação ubíqua herda conceitos e implementações bastante maduras de sistemas operacionais e sistemas distribuídos, ainda existem uma série de restrições de cunho tecnológico que precisarão ser superadas para que seus objetivos de onipresença e transparência sejam alcançados.

A combinação da adoção de interfaces multimodais, com a criação de inúmeros dispositivos diferentes onde as funções computacionais serão embutidas, somada as novas exigências de transferência de dados entre múltiplos dispositivos e as tradicionais questões de autonomia e desempenho que se apresentam nesse cenário, demandarão o desenvolvimento de novos sistemas operacionais, novas ferramentas de programação e novos *frameworks* de componentes e serviços.

Para Zimmerman (1999), os dispositivos computacionais móveis, em geral, requerem redes eficientes de baixo alcance, cuja implementação deve observar questões como padrões, formatos de dados, sistemas de transporte e serviços de descoberta, permitindo que possam se conectar a quaisquer serviços, providos por outros dispositivos espalhados pelo ambiente, em qualquer parte do mundo, tal como um *browser* acessa páginas da *web*. Assim, serão necessárias alternativas mais eficazes para o descobrimento de dispositivos e serviços, as quais precisa ser *espontâneas*. Exemplos destas tecnologias são Jini, Salutation e Microsoft *Universal Plug and Play*® (UPnP).

Dada a heterogeneidade, o dinamismo, a robustez e interatividade requeridas para a constituição de ambientes ubíquos, será natural e necessário o uso de um considerável número de dispositivos diferentes, interconectados localmente, capazes de acessar redes externas, devendo "*apenas funcionar*", sem necessidade de administração frequente, principalmente por serem caracterizados como um recurso comum, utilizado por várias pessoas que não estudarão manuais de uso, mas confiarão em suas próprias experiências (RUSSELL, STREITZ & WINOGRAD, 2005).

Estratégias diferentes precisam ser amadurecidas para o desenvolvimento de sistemas distribuídos operando em ambientes dinâmicos, heterogêneos e abertos, tal como o *código móvel*, uma nova classe de programação, onde um programa é capaz de ser executado em plataformas diferentes (como os Java

Applets) e também de transferir sua execução de um sistema para outro, de maneira autônoma, levando seus dados consigo. Atualmente, os *agentes móveis* são os exemplos mais elaborados desta tecnologia.

Já existem sistemas operacionais, como o Apple iOS®, que permitem a localização do equipamento onde operam, por meio da integração com o GPS ou pela antena de serviço de acesso. Isto permite a criação de aplicações geoposicionadas, *ligadas* aos seus usuários, como o *upload* de fotos ou a localização de informação; ou suporte à aplicativos como o Buscar, existente nos Apple iPhone® e iPad®, que permite encontrar o equipamento onde quer que ele esteja.

As expectativas originais em relação ao protocolo TCP/IP já foram há muito superadas e ainda parece existir espaço para outro número de melhorias e avanços. Embora a largura de banda e serviços atuais possibilitem a transmissão ao vivo de programas de televisão e de estações de rádio, não existe capacidade de suporte efetiva para que todos os serviços de rádio, televisão e telefonia possam convergir e compor uma única rede. Considerando-se apenas proliferação e utilização de dispositivos convencionais, as atuais tecnologias de rede de maior alcance devem ser substancialmente melhoradas para suportar um tráfego de dados muito maior, mais diverso e complexo que o atual, o que exigirá enormes investimentos na infra-estrutura de telecomunicações global. Isto também inclui o desenvolvimento de melhores tecnologias de distribuição de mídia, gerenciamento de aplicações, controle de mobilidade, serviços de localização, entre outros.

5. Implicações da UbiComp

É fato notório que as tecnologias de informação e comunicação estão assumindo um papel cada vez maior em nossa sociedade. Esta tendência, discutida por vários autores (CROWCROFT, 2005; NIST, 2001; DRYER, EISBACH & ARK, 1999; SPOHRER, 1999; WEISER, 1994, 1993). Uma das grandes transformações observadas é o fato das pessoas declararem explicitamente seus relacionamentos e interesses, com novos padrões de comunicação, o que permite uma compreensão mais profunda, ou ao menos diferente, da sociedade.

Ark & Selker (1999) afirmam que a interação social é o foco de nossa existência, pois somos animais sociais, e, desta maneira, qualquer tecnologia útil deve suportar, ao menos, algum tipo de mecanismo de socialização. Neste sentido, a possibilidade das pessoas permanecerem constantemente conectadas, conversando, trocando mensagens ou imagens, simultaneamente com muitas outras pessoas, distribuídas geograficamente, é algo diferente, pouco habitual, mas que já não soa como totalmente novo. Apenas como exemplo, no Brasil, o Orkut constitui a maior comunidade doméstica do mundo, ou seja adesão de 70% dos internautas do país (NIELSEN, 2009), o que corresponde a 50 milhões de participantes (IWS, 2011). Por outro lado, só agora as implicações sociais destas novas modalidades de relacionamentos começam ser estudadas.

Os computadores, *mainframes* ou *personal computers*, ainda se caracterizaram como ferramentas utilizadas por especialistas para realizar tarefas específicas, que por conta de seus conhecimentos, relevam ou nem percebem como os atuais sistemas são exigentes em termos da realização de operações em série e uso combinado de diferentes *softwares*. Em geral, são os usuários menos experientes que se deparam tais dificuldades, questionam o *modus operandi* e, por meio de críticas, oferecem uma visão simplificadora ou até inovadora para o uso dos computadores.

Tal como Weiser (2011), Ark & Selker também entendem a computação ubíqua como uma mudança muito substancial:

"Esta revolução começou afetar nossas vidas diárias de tal maneira que nós nem percebemos. Parte da beleza da computação pervasiva é que nós não notaremos sua presença, uma vez que se torne uma parte necessária de nossas vidas" [tradução livre] (ARK & SELKER, 1999, p.505).

Mas a computação ubíqua, como qualquer tecnologia, também tem implicações nem sempre positivas, ou seja, existem alguns aspectos devem ser cuidadosamente analisados antes de sua utilização, tais como questões relacionadas ao comportamento social, complexidade, privacidade e segurança, cuja maioria ainda não foi respondida satisfatoriamente.

5.1. Comportamento social

Em algumas circunstâncias, os seres humanos respondem socialmente aos artefatos, pois estão inclinados a tratar tudo como social e natural. Portanto, automática e inconscientemente, utilizam, quando possível, seus conhecimentos e vivências para ajudá-los em suas experiências tecnológicas (DRYER, EISBACH & ARK, 1999). Da mesma maneira, estão acostumados a receber *feedback* de suas ações. Neste sentido, a visão da computação ubíqua de oferecer suporte transparente, sem que as pessoas notem explicitamente tais ações, é contraditória em relação ao retorno esperado ou, eventualmente, desejado. Então, como determinar a quantidade de *feedback* sem que se comprometa o caráter implícito destes sistemas?

Os sistemas pervasivos, embora sem agentes explícitos, são perceptíveis, pois seu caráter assistivo ou gerencial acaba por caracterizar-se como uma presença que exhibe um comportamento razoavelmente *inteligente*. Mesmo intangíveis, parecem encorajar respostas sociais por parte de seus usuários, que podem manifestar agrado por seu auxílio, ou frustração e até raiva nas situações onde são parcial ou insatisfatoriamente atendidos. Assim, como realizar o projeto de sistemas socialmente aceitáveis e como avaliar as consequências da proliferação destes atores sociais invisíveis?

5.2. Complexidade

Outro aspecto a ser considerado é que, para conviver e lidar com a complexidade dos sistemas pervasivos, será necessário delegar muito do controle direto para ferramentas automáticas, fazendo surgir outras questões relacionadas à confiabilidade, usabilidade, acuracidade, responsabilidade e capacidade de resposta. Se estes sistemas passarem a administrar uma parcela substancial de nossas vidas, como garantir que problemas, no *hardware*, *software* ou sistemas de comunicação, não prejudiquem seus usuários? Como todo dispositivo ou sistema está sujeito a problemas de muitas naturezas, como tornar estes sistemas tolerantes a falhas?

Ao mesmo tempo, uma das vantagens potenciais dos sistemas ubíquos é a possibilidade de suporte contínuo e simplificado para públicos diferenciados, como os portadores de necessidades especiais - físicas ou mentais, para os idosos e, até mesmo, para crianças. Também existem enormes possibilidades para educação continuada, informação e entretenimento a qualquer hora e local, incluindo-se aí os possíveis benefícios e problemas que as acompanharão.

Tal como na *web*, a abundância de informações e as facilidades em seu acesso não significam que estejam corretas, completas, atualizadas ou mesmo disponíveis. Assim, como garantir que os usuários não sejam sobrecarregados ou distraídos pelo excesso de informação? Se os sistemas ubíquos passarem a governar parte substancial de nossas vidas, mesmo que de maneira restrita às tarefas cotidianas, como garantir que utilizem adequadamente as informações disponíveis? Finalmente, como conseguir que ofereçam funcionalidades na medida certa para cada tipo de usuário e situação?

5.3. Privacidade

Muito da conveniência dos sistemas ubíquos se baseia na determinação de localização, no reconhecimento de contexto e na identificação de seus usuários. Desta forma, se os dispositivos carregados ou utilizados pelas pessoas estão cientes da sua localização e da sua identidade, então passa a ser possível seu rastreamento. Enquanto existem argumentos para o rastreamento de prisioneiros ou pacientes, o monitoramento de localização de qualquer indivíduo tem potencial para tornar-se invasão de sua privacidade (SPOHRER, 1999). Isto desperta uma discussão acerca dos aspectos positivos e negativos dessa possibilidade que ultrapassa, em muito, as questões tecnológicas, situando-se em aspectos jurídicos, sociais e éticos.

Da mesma forma, o funcionamento destes sistemas requer, para fins de reconhecimento de contexto, que informações pessoais de seus usuários, incluindo algumas de caráter íntimo, sejam transmitidas entre diversos dispositivos espalhados pelos ambientes em que transitam. Como assegurar que tais informações sejam utilizadas especificamente para os propósitos de prover serviço e suporte direto aos seus usuários? Como evitar que informações sensíveis sejam coletadas de maneira inescrupulosa?

Seria possível estabelecer um código de ética ou uma legislação própria para projetistas, fabricantes e operadores de sistemas ubíquos e pervasivos?

5.4.Segurança

As arquiteturas vislumbradas para sistemas ubíquos e pervasivos se caracterizam pela implantação de sensores e dispositivos *efetuadores*, combinados com modelos de contexto e *software* distribuído em equipamentos embutidos, móveis e sistemas em grade ou nuvem operando em rede. Com isto, serão criados muitos bancos de dados para armazenar uma quantidade enorme de informação dos usuários de serviços públicos e privados. Outra questão que surge é como proteger tais dados do acesso não autorizado, do roubo de conteúdo ou do vandalismo digital? Como assegurar que detentores destes sistemas utilizem os dados obtidos apenas para os fins contratados?

O conforto possível de ser obtido com presença de inúmeros dispositivos portáteis e estáticos interligados para prover serviço aos usuário também oferece outros riscos. Como prevenir a distribuição e proliferação de vírus eletrônicos?

Como impedir que os dispositivos pervasivos e móveis sejam inadequadamente utilizados para alterar a percepção de realidade de seus usuários (SPOHRER, 1999), isto é, como evitar que informações incorretas, adulteradas ou manipuladas sejam distribuídas coletiva ou individualmente? Os mesmos sistemas e canais que podem ser empregados para informar, ensinar, comunicar e auxiliar os usuários, podem ser usados de maneira questionável dos pontos de vista econômico, político, legal, social e ético. Algumas das problemas são semelhantes aos já enfrentados pelo rádio, televisão e Internet em relação a propaganda, campanhas políticas, oferta de produtos e serviços, etc. Mas outras questões são inéditas quando consideramos a adequação, conveniência e possibilidade do controle da informação entregue de maneira individual.

5.5.Outros aspectos

Do ponto de vista econômico, quais os impactos que podem ser esperados com a adoção massiva de sistemas de informação em tempo real, que conectará bilhões de pessoas a uma miríade de produtos e serviços, transferindo quantidades de dados imensas? As desigualdades existentes serão minimizadas ou acentuadas?

Os novos modelos de negócio que se desenvolverão com o uso de sistemas ubíquos e pervasivos, tanto do ponto de vista financeiro, como em relação ao uso de recursos naturais e energéticos, serão sustentáveis? Qual o papel dos governos e dos serviços públicos neste novo contexto?

Qual será a efetiva dependência, cultural e social, da sociedade para com estes sistemas? Qual o grau de controle que, de fato, será exercido pelas empresas e estados em relação aos cidadãos?

6.Conclusões

A computação ubíqua propõe uma mudança do paradigma atual, centrado em processos ocorridos *no computador* para outro cujo foco são as atividades do usuário final *no ambiente social*; e com isso, pretende resgatar um dos objetivos primordiais da computação em sua criação.

O reposicionamento dos computadores e seu papel, por meio de sua inserção quase que irrestrita a lugares e objetos do cotidiano, acarretarão muitas mudanças na sociedade, como visto pelas muitas possibilidades e alternativas de serviços e suporte que podem oferecer, em contraste com o grande número de questões que pairam sobre a adoção destas tecnologias. A construção deste cenário requer, então, a pesquisa rigorosa e multidisciplinar envolvendo, praticamente, todas as áreas da computação e também as diversas implicações no âmbito social, econômico e ético.

A computação ubíqua é um desafio verdadeiro, reconhecido pela SBC, tal como expresso em seu Relatório Grandes Desafios da Pesquisa em Computação no Brasil 2006-2016 (SBC, 2006), no qual são explicitadas as necessidade do desenvolvimento tecnológico de qualidade, na forma de sistemas disponíveis, corretos, seguros, escaláveis, persistentes e ubíquos.

De qualquer forma, o sucesso da computação ubíqua será determinado por sua efetiva capacidade de oferecer suporte social para seus usuários, no sentido de satisfazer as necessidades de comunidades específicas e, principalmente, de seus indivíduos, auxiliando-os a colaborar com e participar da vida dos demais, próximos ou à distância, mas sem substituir sua humanidade.

7.Referências bibliográficas

ABOWD, G. D. *Classroom 2000: an experiment with instrumentation of a living education environment*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.508-530.

ARAÚJO, R. B. de. *Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios*. In: Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. 2003. pp.45-115. Disponível em: https://im.ufba.br/pub/MAT570FG/LivroseArtigos/045_AraujoRB.pdf. Acesso em 20/04/2011.

ARK, W. S. & SELKER, T. *A look at human interaction with pervasive computers*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.504-507.

BARTON, J. J. & PIERCE, J. *Finding the Right Nails: Scenarios for Evaluating Pervasive Systems*. In: Common Models and Patterns for Pervasive Computing Workshop (2007). Disponível em: <http://www.almaden.ibm.com/u/bartonjj/FindingTheRightNails.pdf>. Acesso em 20/04/2011.

CBC. *Cyber Business Centre Glossary*. University of Nottingham. Disponível em: <http://www.nottingham.ac.uk/cyber/fullglos.html>. Acesso em 20/04/2011.

CLAYTON, S. *Microsoft is Imagining a NUI future*. Disponível em: http://blogs.technet.com/b/microsoft_blog/archive/2011/01/26/microsoft-is-imagining-a-nui-future-natural-user-interface.aspx. Acesso em 20/04/2011. Acesso em 20/04/2011.

COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S. & GARLAN, D. *Context is key*. In: Communications of the ACM (CACM), Vol.48, No.3, 2005, pp.49-53.

CROWCROFT, J. *On the nature of computing*. In: Communications of ACM (CACM), Vol.48, No.2, 2005, pp.19-20.

DRYER, D. C.; EISBACH, C. & ARK, W. S. *At what cost pervasive? A social computing view of mobile computing systems*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.652-676.

EUSTICE, K. F.; LEHMAN, T. J.; MORALES, A.; MUNSON, M. C.; EDLUND, S. & GUILLEN, M. *A universal information appliance*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.575-601.

GERSHENFELD, N. *Everything, the universe, and life*. In: IBM Systems Journal, Vol.39, Nos.3&4, 2000, pp.932-934.

GREENFIELD, A. *Everyware: The dawning age of ubiquitous computing*. Berkeley: New Riders, 2006.

HOUAISS, A. & VILLAR, M. de S. *Minidicionário Houaiss da língua portuguesa*. 2a.Ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004.

IMAI, Takuji. *The Next-Generation User Interface: From GUI to Multimodal*. In: Nikkei Electronics, December/1992.

IWS (Internet World Stats). *World Internet Users and Population Stats*. Disponível em: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. Acesso em 20/04/2011.

KUNIAVSKY, M. *Smart Things: Ubiquitous Computer User Experience Design*. Burlington: Morgan Kaufmann, 2010.

LANDAY, J. A. & DAVIS, R. C. *Making sharing pervasive: ubiquitous computing for shared note taking*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.531-550.

LEE, H. & KWON, H. *Combining Context-Awareness with Wearable Computing for Emotion-based Context Service*. In: International Journal of Advanced Science and Technology, V.22, Sept/2010. Disponível em: <http://www.sersc.org/journals/IJAST/vol22/2.pdf>. Acesso em 20/04/2011.

LEVY, S.; SANDBERG, J.; TANAKA, J. & STONE, B. *The New Digital Galaxy:specialized information appliances will replace PCs in the future*. In: Newsweek, 31/May/1999. Disponível em: <http://www.highbeam.com/doc/1G1-54719527.html>. Acesso em 20/04/2011.

LYYTINEN, K. & YOO, Y. *Issues and Challenges in Ubiquitous Computing*. In Communications of the ACM, Vol.45, No.12, 2002, pp.62-65.

MARK, W. *Turning pervasive computing into mediated spaces*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.677-692.

MOBILEMAN. *Mobile Metropolitan Ad hoc Network Glossary*. Disponível em: <http://mobileman.projects.supsi.ch/glossary.html>. Acesso em 20/04/2011.

NIELSEN. *Global Faces and Networked Places*. A Nielsen report on Social Networking's New Global Footprint. Março/2009. Disponível em: http://blog.nielsen.com/nielsenwire/wp-content/uploads/2009/03/nielsen_globalfaces_mar09.pdf. Acesso em 20/04/2011.

NIST (National Institute of Standards and Technology). *Pervasive Computing Program* (July, 2001). Disponível em: <http://www.itl.nist.gov/pervasivecomputing>. Acesso em 16/05/2005.

_____. *About Pervasive Computing*. Disponível em: http://www.nist.gov/pc2001/about_pervasive.html. Acesso em 16/05/2005.

NSF (National Science Foundation). *NSF Major Research Centers Programs*. Disponível em: http://www.nsf.gov/od/oia/presentations/jf/HBCU-UP_Talk.pdf. Acesso em 20/04/2011.

O'BRIEN, J. A. *Sistemas de Informação: e as decisões gerenciais na era da internet*. 2a.Ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

OLIVEIRA, D. de P. R. *Sistemas de Informações Gerenciais: estratégias, táticas operacionais*. 11a.Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

OVIATT, S. *Multimodal interfaces*. In JACKO, J. & SEARS, A. (Eds.). In: A Handbook of Human-Computer Interaction. New Jersey: Lawrence Erlbaum and Associates, 2003, pp.286-304.

PENN (Penn University). *Penn Engineering - ENIAC Museum*. School of Engineering and Applied Science. Disponível em: <http://www.seas.upenn.edu/about-seas/eniac/>. Acesso em 20/04/2011.

RUSSELL, D. M.; STREITZ, N. A. & WINOGRAD, T. *Building Disappearing Computers*. In: Communications of the ACM (CACM), Vol.48, No.3, 2005, pp.42-48.

SARTER, N. B. *Multimodal information presentation: Design guidance and research challenges*. In: International Journal of Industrial Ergonomics, No.36, 2006, pp.439-445.

SBC (Sociedade Brasileira de Computação). *Grandes Desafios da Pesquisa em Computação no Brasil – 2006 – 2016*. Relatório Final. Disponível em: http://www.ic.unicamp.br/~cmbm/desafios_SBC/RelatorioFinal.pdf. Acesso em 20/04/2011.

SELKER, T. & BURLESON, W. *Context-aware design and interaction in computer systems*. In: IBM Systems Journal, Vol.39, No.3&4, 2000, pp.880-891.

SPOHRER, J. C. *Information in places*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.602-628.

UBICOMP. *13th International Conference on Ubiquitous Computing*, Beijing, China, 17-21/September/2011. Disponível em <http://www.ubicomp.org>. Acesso em 18/04/2011.

WEISER, M. *Hot Topics: Ubiquitous Computing*. In: IEEE Computer, Vol.6, No.10, October/1993, pp.71-72.

_____. *The world is not a desktop*. In: ACM Interactions, Vol.1, No.1, January/1994, pp.7-8.

_____. *Ubiquitous Computing*. Disponível em: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>. Acesso em 20/04/2011.

WEISER, M; GOLD, R. & BROWN, J. S. *The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.693-696.

WIGDOR, D. & WIXON, D. *Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture*. Burlington: Morgan Kaufmann, 2011.

WIRED. *Digital Ink*. In: Wired Magazine, May/1997. Disponível em: http://www.wired.com/wired/archive/5.05/ff_digitalink.html. Acesso em 20/04/2011.

_____. *DIY Wearable Computer Turns You Into a Cyborg*. Disponível em: <http://www.wired.com/gadgetlab/2010/07/a-wearable-computer/>. Acesso em 20/04/2011.

ZIMMERMAN, T. G. *Wireless networked digital devices: A new paradigm for computing and communication*. In: IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999, pp.566-574.