

NANOCOMUNICAÇÃO: UBIQUIDADE, MATERIALIDADE E CONVERGÊNCIA

Renata Lemos Morais
renata@nomadesign.com.br
<http://lattes.cnpq.br/0851790424896872>

Ubiquidade e Materialidade

Há no contemporâneo um movimento progressivo de descortinamento de escalas materiais, antes invisíveis, que se tornam visíveis através da tecnologia. De um contexto hipermoderno caracterizado pela virtualidade digital, passamos agora a um novo ecossistema comunicacional, no qual a informação e a comunicação desempenham funções arquitetônicas no desenho e construção de novas materialidades.

Nanotecnologias como as mídias quânticas (BOYER et al., 2008) e nanomídias (KLIMECK et al., 2007) prometem revolucionar as tecnologias de comunicação, acelerar o processamento de informações e impulsionar a evolução do novo campo da **nanocomunicação**. Todas essas conquistas fazem com que a nanocomunicação esteja sendo apontada como sendo um novo paradigma comunicacional (HARA, 2006:233). A ubiquidade e a materialidade é a sua principal característica. As mídias também estão em processo de evolução: temos o surgimento de mídias ambientes (AARTS, 2004; MAYBURY, 1993), nanomídias (KLIMECK et al., 2007) e mídias quânticas (BOYER et al., 2008). Nas nanomídias, as características comunicacionais de moléculas físicas e biológicas são utilizadas para o desenvolvimento de novas plataformas e aplicações comunicacionais híbridas, enquanto que nas mídias quânticas, objetos físicos inorgânicos adquirem capacidades comunicacionais e passam a interagir entre si próprios e com seres humanos.

A materialidade nanotecnológica está se tornando plataforma de reconfiguração tanto do espaço quanto da cultura. A integração entre nanotecnologia e cultura digital está acontecendo em espaços que estão sendo chamados de **ciberfísicos** (AKYILDIZ & JORNET, 2010). Este artigo apresenta algumas das principais linhas de convergência

tecnológica responsáveis pelo advento de processos comunicacionais ciberfísicos, ou nanoconvergentes.

Da Nanotecnologia à Tecnologia Nanoquântica

A nanotecnologia é a ciência da manipulação de estruturas atômicas ou moleculares ao nível nano, ou seja, ao nível em que é possível manipular partículas tão pequenas que podem ser medidas por nanômetros (1×10^{-9} m). O prefixo nano vem de *nanos* em grego, que quer dizer anão. Um nanômetro equivale a um milímetro dividido em um milhão, ou a 1/80000 do diâmetro de um fio de cabelo humano. É a menor medida das partículas manipuláveis (BORISENKO & OSSICINI, 2005). Tudo começou com o físico Richard Feynman, em 1961, quando proferiu a palestra *There's Plenty of Room at the Bottom*, nos Estados Unidos. Nesta palestra, Feynman propunha “o desenvolvimento de nanomáquinas capazes de construir outras nanomáquinas e produtos controlando átomo por átomo (um processo denominado manufatura molecular)” (DREXLER, 2004: 21). Segundo Feynman, é possível a nanoengenharia de sistemas vivos através de nanomáquinas capazes de montar qualquer substância ou elemento químico ou físico a partir de átomos elementares.

Esta ideia se tornou uma realidade quando, na década de 80, foram inventados os primeiros Scanners de Tunelamento Microscópico – STMs – por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (1986). Os STMs utilizam princípios de mecânica quântica para captar informações sobre a superfície de átomos e moléculas. Estes scanners permitiram que fosse feita a visualização e digitalização de imagens de superfícies atômicas. A visualização digital das superfícies de átomos levou à descoberta das hoje célebres buckyballs e nanotubos (ou buckytubes), estruturas geodésicas de átomos de carbono, que receberam este nome em homenagem a Buckminster Fuller. Outra descoberta importante para o desenvolvimento da nanotecnologia foi a dos pontos quânticos. Os pontos quânticos são agregados de nanocristais (nanomateriais $<$ ou $=$ a 100nm) que apresentam propriedades de semicondutores elétricos (FAHLMAN, 2007); que os tornam promissores para as tecnologias de energia, por exemplo.

Os STMs e a visualização digital científica fizeram com que a ideia de Feynman pudesse se tornar realidade algumas décadas depois. Seguindo as pegadas de Feynman, Eric Drexler se firmou como a figura contemporânea mais proeminente na área da nanotecnologia. Seus dois livros seminais, *Motores da Criação* (1986) e *Nanossistemas* (1992), pavimentaram o caminho para a popularização do termo nanotecnologia e estabeleceram as bases do debate científico nas décadas subseqüentes. A grande controvérsia surgida a partir dos livros de Drexler, ambos dedicados à área da nanorobótica, é em relação à capacidade de auto-replicação dos *nanobots*.

A possibilidade de criação de nanossistemas autorreplicáveis é uma das teses defendidas por Feynman e Drexler. Da mesma forma que nanomáquinas podem construir qualquer tipo de estrutura molecular a partir da manipulação átomo por átomo, elas também poderiam construir réplicas perfeitas de si mesmas. Esta é uma consequência direta da manufatura molecular. Alguns dos mais importantes pensadores sobre o futuro da nanotecnologia¹ são unânimes ao afirmar que o potencial da nanoconvergência é o de possibilitar a manipulação de todo tipo de matéria de forma a criar artificialmente qualquer configuração atômica ou propriedade física específica. Se existe carbono, a nanotecnologia pode transformá-lo em diamante; se existe oxigênio e hidrogênio, a nanotecnologia pode transformá-los em água, e assim por diante².

Obviamente, controlar uma tecnologia tão poderosa é absolutamente essencial, devido aos riscos médicos e ecológicos que são inerentes à manipulação atômica. Smalley (2001) compara os nanobots autorreplicáveis a uma nova forma de 'vida' que provavelmente sairia do controle e poderia infestar e contaminar todos os tipos de matéria (a célebre gosma cinza, ou *grey goo*³). Este tipo de preocupação tem marcado o debate sobre as implicações da nanotecnologia.

1 como por exemplo Eric Drexler, J. Storrs Hall, Ralph Merkle and Rob Freitas, entre outros.

2 A similaridade que as proposições dos defensores da autoreplicação nanotecnológica (reconfiguração atômica) possui com a ideia medieval de alquimia (transmutação) fica cada vez mais evidente à medida que observamos as implicações estéticas do discurso nanotecnológico.

3 http://en.wikipedia.org/wiki/Grey_goo

A partir deste breve esboço sobre as origens e possibilidades da nanotecnologia, podemos perceber mais claramente os primeiros contornos do conceito de nanoconvergência, criado por William Sims Bainbridge, e que se refere à convergência entre tecnologias NBIC (nano, bio, info e cogno):

A convergência NBIC (nanoconvergência) será baseada na **unidade da matéria** no nível nano e na integração tecnológica nesta escala. Todos os componentes materiais fundamentais para todas as ciências se originam na nanoescala [...] Assim sendo, a nanotecnologia irá ter um papel essencial no progresso dos quatro campos (nano, bio, info, cogno) e na sua unificação. (BAINBRIDGE, 2007: 1-2).

Muito embora o cientista W. S. Bainbridge não elabore uma definição detalhada sobre o conceito de *unidade da matéria em escala nano*, podemos deduzir que este conceito se refere ao nível universal ou uno que perpassa e constitui cada múltipla particularidade de configuração material. Embutida na *unidade da matéria em escala nano* está a universalidade quântica da matéria. O nível quântico é uma das principais bases operacionais da nanotecnologia e é responsável pela grande adaptabilidade dos nanossistemas. Tecnologias específicas à interface nano e quântica estão sendo chamadas de *tecnologias nanoquânticas*⁴. Vários centros de pesquisa sobre tecnologias nanoquânticas estão sendo estabelecidos ao redor do mundo, como por exemplo o *Quantum Nano Centre*⁵ na Universidade de Waterloo, a escola internacional de *Quantum Nano Computing*⁶ no instituto QANSAS, na Índia, e o *Quantum and Nanotechnology Group*⁷ (QuNat) na Universidade de Oxford.

É justamente a interface entre o nano e o quântico que permite o surgimento da nanoconvergência. Através da universalidade característica ao nível quântico pertencente a todos os tipos de matéria é que a nanotecnologia pode criar e recriar novas

4 ver: Quantum, Nano, Micro and Information Technologies <http://www.ttp.net/978-0-87849-218-3.html>

5 <http://www.nano.uwaterloo.ca/research/facilities-equipment/qnc/>

6 <http://www.dei.ac.in/ConferenceWeb/qansas2011/QNComputing.html>

7 <http://www.qunat.org/>

particularidades materiais. Todos os elementos do processo de nanoconvergência têm natureza comunicacional. Todas as suas instâncias, sejam elas práticas ou estéticas, acontecem através de mediações. O conjunto destas mediações, no contexto da nanoconvergência, está sendo chamado de **nanocomunicação**: a comunicação mediada através da troca de sinais entre moléculas (HARA, 2006).

A nanocomunicação tem o mesmo potencial da comunicação digital no que se refere a alterar os rumos das mídias contemporâneas. A total implementação das novas possibilidades de nanocomunicação seria equivalente ou ainda mais revolucionária do que o avanço das redes digitais. Aliás, sem as mídias digitais a nanocomunicação simplesmente não teria sido possível. Existe uma relação direta entre o desenvolvimento da tecnologia digital e o da nanotecnologia. A nanotecnologia opera em uma escala intermediária na qual as leis da física clássica se misturam às leis da física quântica (HOLISTER, 2002). Isso faz com que a previsibilidade do comportamento das partículas seja complexa, apenas podendo ser obtida através de simulações computacionais. A relação entre o digital e o nanotecnológico não é apenas instrumental, como se poderia supor, mas é também conceitual. A nanotecnologia plenamente desenvolvida pode ser comparada às tecnologias digitais de processamento de texto: da mesma forma que um processador de texto permite a manifestação de qualquer tipo de estrutura textual, assim também a nanotecnologia permite, em princípio, a manifestação de qualquer tipo de estrutura material a nível físico.

As moléculas se tornam um novo tipo de alfabeto material, que permitiria, teoricamente, a total reconfiguração da estrutura física de qualquer tipo de matéria através da manipulação (programação) nanotecnológica. A relação instrumental entre corpo e código deixa de ser uma metáfora e passa a ser um dado científico, o que equipara a nanotecnologia com as tecnologias de comunicação. Nasce o campo da **nanocomunicação**: baseando-se na comunicação molecular, a nanocomunicação é definida como sendo a comunicação que codifica e envia informação através de moléculas (SUDA, 2005), podendo ser integrada com redes de comunicação digital. Com a evolução das redes ubíquas de inteligência ambiente (GREENFIELD, 2006) ocorrendo

paralelamente à evolução da nanotecnologia, a convergência entre níveis de comunicação digitais e nanotecnológicos começa a se desenvolver.

Redes Ubíquas: A Internet das Coisas

A mobilidade das redes de comunicação e do acesso à internet é a principal característica do início do Século 21. A tecnologia wireless e os dispositivos móveis de comunicação, cada vez mais potentes e integrados, tornaram-se lugar comum. Os celulares são onipresentes em praticamente todas as regiões do planeta. O dinamismo e a velocidade da comunicação aumentaram significativamente com a mobilidade do acesso às redes.

Graças às novas tecnologias microeletrônicas, outro tipo de mobilidade está a caminho: a internet das coisas, ou as redes de computação ubíqua, inteligência ambiente e pervasiva. As novas redes de comunicação ubíqua interligarão não apenas pessoas a pessoas, como também pessoas a objetos, e objetos a objetos. A internet das coisas será “...completamente pervasiva, inteligente e interativa. A comunicação em tempo real existirá não apenas entre pessoas, mas também entre coisas, a qualquer hora e em qualquer lugar” (ITU, 2005: 13).

A tecnologia instrumental da internet das coisas, no estágio atual de sua evolução, é encontrada nas etiquetas RFID (Radio Frequency Identification Tags). Esta tecnologia, similar ao código de barras, permite sua aplicação e/ou implante em objetos de todos os tipos e tamanhos, inclusive nos corpos de pessoas e animais. Através da tecnologia RFID, estes chips podem transmitir e receber informações através do acesso wireless à internet. Outra funcionalidade deste tipo de tecnologia é que ela pode ser usada como sensor, captando, processando e transmitindo informações sobre o ambiente físico no qual se encontra. Por exemplo, através de implantes RFID em pombos, informações sobre a poluição do ar onde estes voam é enviada a cientistas via internet; médicos podem monitorar o estado de saúde de pacientes à distância, governos podem identificar o trânsito de pessoas através de pedágios e alfândegas; lojas podem controlar remotamente a entrada e saída de mercadorias, etc (ITU, 2005).

Basicamente, há a expansão da inteligência artificial para qualquer objeto em potencial, daí o nome inteligência pervasiva, ambiente ou ubíqua. Casas podem ter sistemas inteligentes que regulem o funcionamento de seus aparelhos eletrônicos, sistemas elétricos, alarmes, climatização, janelas e portas, etc. Veículos podem ter equipamentos de direção inteligente e controle automático de rotas através da análise de informações sobre a situação do trânsito em tempo real. Roupas podem adaptar-se ao clima ou ajustar-se ao tamanho certo automaticamente através de sensores. Qualquer objeto pode ter funcionalidades ampliadas quando a conectividade móvel à internet é aliada à inteligência artificial (BUCKLEY, 2006). Por exemplo, é o usuário que inicia a interação com a máquina nos sistemas tradicionais de computação. A interação homem/máquina característica à era dos computadores pessoais exige a ação individual intencional da parte do usuário para se desenvolver. Nas redes ubíquas, esta ação intencional não é necessária para desencadear interações entre seres e objetos. A mera percepção do usuário pelos sensores da máquina pode desencadear seqüências de interação. Outra diferença significativa em relação aos computadores pessoais é que no contexto das redes ubíquas, qualquer objeto pode ter funções de um teclado, mouse, ou tela. Os modos e protocolos interacionais entre usuário e máquina mudam radicalmente, podendo ser aplicados a qualquer objeto.

Na área da inteligência ambiente, onde o objetivo é integrar dispositivos inteligentes a objetos comuns, como móveis e utilitários, Greenfield (2006) cita dois exemplos de interfaces tangíveis: uma mesa inteligente em Nova Iorque, na qual informações podem ser obtidas através de seu tampo ao mover pequenas esferas sobre ele; e o Projeto DataTiles de Jun Rekimoto, no qual o usuário, ao mover peças inteligentes pelo espaço, acessa diversos portais de informação. Vários outros projetos de design de interatividade ubíqua estão em fase de desenvolvimento nos laboratórios das grandes multinacionais da tecnologia da informação, nos quais o uso da voz e do movimento ocupa um lugar privilegiado na pesquisa sobre interfaces ubíquas.

A viabilidade e robustez destas novas interfaces variam dependendo do modo como enxergamos as possibilidades das redes ubíquas. Com a popularização da tecnologia RFID, podemos afirmar que, em princípio, redes ubíquas já estão sendo

formadas através das redes digitais comuns de acesso à internet. Contudo, se entendemos as redes ubíquas como sendo relativas ao processamento de informações em todos os níveis dos sistemas materiais, então começamos a adentrar o território da nanotecnologia.

Nanocircuitos

A nanotecnologia só se desenvolveu graças às tecnologias digitais que tornaram possíveis a visualização e simulação computacional do comportamento atômico das partículas ao nível nano. A partir da visualização e simulação computacional, a nanociência pôde estudar as diversas propriedades e características apresentadas pela matéria em nanoescala. A diferença entre nanotecnologia e nanociência é que a primeira testa e desenvolve aplicações práticas para as descobertas da segunda. A ênfase na nanotecnologia se explica pelo ineditismo das possibilidades e aplicações nanotecnológicas, baseado nas propriedades físicas em nano escala.

As propriedades materiais que um determinado tipo de substância apresenta em seu nível físico macroscópico são bem diferentes da que ele apresenta em seu nível nano. As aplicações nanotecnológicas são capazes de interferir nas propriedades materiais de forma absolutamente nova e inédita, revolucionando, por conseguinte, suas aplicações industriais e comerciais (COA, 2004). Os componentes físicos fundamentais da matéria se encontram no nível nano. Manipulando-os, é possível criar novos compostos materiais, modificar propriedades de elementos, criar moléculas novas que não são encontradas na natureza, etc. Ao fazer isso, a nanotecnologia gera novos produtos, incrementa as fontes naturais de energia, aumenta a durabilidade e resistência dos materiais, potencializa o efeito de medicamentos e remédios, faz com que através da inteligência artificial sensores químicos possam ser criados, etc, etc, etc (NNI, 2008: 01).

A natureza desenvolve suas formas a partir do nível nano. Tudo o que nos rodeia, inclusive nós mesmos, surge a partir da engenharia natural dos sistemas físicos materiais. A nanotecnologia tenta decifrar os códigos naturais do mundo e da biologia para replicar ou modificar funções e propriedades materiais. A maioria das aplicações nanotecnológicas ocorre através do estudo das propriedades de fenômenos naturais para recriá-las em processos artificiais. Alguns exemplos são as réplicas de nanoestruturas

encontradas nas flores de lótus, que são usadas para a fabricação de tecidos impermeáveis; a pesquisa sobre os nanocristais responsáveis pela resistência das teias de aranha para o uso em materiais resistentes; a nanoengenharia de proteínas e moléculas reguladoras de processos biológicos, etc. (NNI, 2008: 05).

Nas últimas décadas, os métodos de manipulação e engenharia de nano partículas vêm sendo aperfeiçoados pelos cientistas, sendo que centenas de produtos com nano ingredientes já estão sendo comercializados. Os principais usos presentemente têm sido farmacêuticos (filtros solares, soluções químicas e medicamentos) e industriais (baterias, filtros, resinas, etc). A NNI (National Nanotechnology Initiative), órgão que congrega 26 departamentos e agências governamentais dos Estados Unidos, e que é responsável pela avaliação, implantação e monitoramento de todos os projetos que envolvam nanotecnologia em solo americano, listou em relatório recente algumas aplicações nanotecnológicas, já realizadas, testadas e aprovadas, como por exemplo:

Exemplos de Aplicações Nanotecnológicas Atuais:

1. Nano entrega de compostos químicos: através da bioengenharia de dendrímeros, que são nanoestruturas que podem ser usadas para o tratamento do câncer e outras doenças. Dendrímeros carregados de substâncias determinadas podem detectar células doentes, diagnosticar estados biológicos, entregar medicamentos e revelar informações sobre a localização de uma doença ou dos resultados de uma terapia.

Nanofilmes: diferentes materiais em nano escala podem ser usados em filmes delgados

2. para torná-los impermeáveis, auto-limpantes, inquebráveis, etc. Nanofilmes estão sendo usados em óculos de sol, telas de computador, lentes fotográficas, etc.

3. Nanotubos de Carbono (NTCs): Nanotubos de carbono estão sendo usados em equipamentos esportivos e peças automotivas devido à sua capacidade de conferir maior força mecânica a materiais mais leves do que os convencionais. As propriedades de condução elétrica dos NTCs também os tornam indicados para o uso em dispositivos eletrônicos e digitais. Não apenas o carbono pode ser usado para a construção de nanotubos, como também uma infinidade de outros materiais.

4. Nanotransístores: Transístores são dispositivos eletrônicos nos quais um pequeno volume de eletricidade é usado como portão para controlar o fluxos de volumes maiores de eletricidade. Quanto mais

transistores houver em um computador, maior será sua velocidade. O tamanho dos transistores vem diminuindo, assim aumentando a velocidade dos computadores. A tendência é a de que nano transistores cada vez menores aumentarão cada vez mais a velocidade dos computadores.

5. Plásticos de Energia Solar: Plásticos leves, flexíveis e delgados contendo nanopartículas estão sendo produzidos para aplicação em sistemas de energia solar. Esta aplicação de plásticos na energia solar parece ter o potencial de substituir as tecnologias existentes de produção de energia solar. As nanopartículas absorvem a luz do sol, e em alguns casos, até mesmo a luz do ambiente, fazendo com que esta luz seja transformada em eletricidade.

6. Nano Filtragem da Água: Presentemente os pesquisadores estão desenvolvendo membranas de nanotubos para de-salinização da água e nano sensores para identificar elementos de contaminação na água.

Aplicações Atuais da Nanotecnologia (Adaptado de NNI, 2008: 07)

Ao considerarmos a rapidez com que estas aplicações se tornaram parte das linhas de produção industriais, podemos ter uma idéia da dimensão das mudanças que ainda estão por vir. Assim como encontramos na natureza milhares de propriedades advindas de configurações atômicas em nanoescala, também iremos encontrar milhares de novos usos e aplicações para estas propriedades a partir da nanotecnologia. É importante lembrar que a nanotecnologia não se limita a uma única área ou campo científico; esta se aplica e tem implicações em todas as áreas e todos os níveis da natureza.

Quando falamos em nanotecnologia, estamos falando de uma ciência e tecnologia absolutamente universal e transdisciplinar. Essa talvez seja sua característica mais importante. É justamente pelo caráter universal da nanotecnologia que ela se transforma em ponte que une todas as outras ciências e tecnologias, e é somente ao fazer isto, que o potencial revolucionário desta tecnologia se torna uma realidade. Uma idéia da ampla dimensão deste potencial revolucionário nos é dada por Mihail Roco (2006), que divide a evolução da nanotecnologia em quatro etapas:

Etapa 1 - Passado:

Desenvolvimento de protótipos industriais e início da comercialização de produtos alterados nanotecnologicamente e/ou contendo nanomateriais (de 2000 até 2005);

Etapa 2 - Presente:

Desenvolvimento de nanoestruturas ativas que auto-regulam seu tamanho, forma e propriedades, por exemplo, nanobots de uso biológico e nanotransistores (de 2005 até o presente);

Etapa 3 - Futuro Próximo:

Aumento da precisão na manipulação atômica, que permitirá até mesmo a construção automatizada de circuitos e artefatos tri-dimensionais a partir de nano componentes. A medicina poderia usar esta tecnologia para gerar novos órgãos artificiais compatíveis com humanos (de 2010 a 2015);

Etapa 4 – Futuro a Médio Prazo:

O campo incluirá redes heterogêneas de nanosistemas moleculares e computacionais. Novas interfaces ligando redes cognitivas diretamente a sistemas eletrônicos poderão alterar dramaticamente as telecomunicações (de 2015 a 2020).

Etapas da Evolução da Nanotecnologia (Adaptado de ROCO, 2006: 01).

O próximo grande desafio da nanotecnologia é desenvolver a Tecnologia de Precisão Atômica – TPA, e os Nanosistemas Produtivos de Precisão Atômica - NPPA (BMI & FNI, 2007: v). Os obstáculos presentes à realização de todo o escopo de possibilidades da nanotecnologia estão relacionados à falta de precisão na manipulação atômica. Aumentar o nível de precisão nanotecnológica permitirá a expansão das suas capacidades e aplicações industriais, através da Manufatura de Precisão Atômica – MPA (BMI & FNI, 2007: v).

A natureza é a fonte da TPA e dos NPPAs que servem como modelo para os métodos de MPA que estão sendo desenvolvidos. É na natureza que a ciência tem buscado os exemplos de síntese orgânica e inorgânica de estruturas materiais. A modelagem e o design a partir dos exemplos da natureza são elementos fundamentais para os desenvolvimentos industriais futuros da nanotecnologia. Contudo, a perfeição

encontrada nos sistemas naturais não é mesma encontrada nos sistemas artificiais. A MPA ainda é incipiente e sua aplicação indiscriminada pode acarretar danos para a natureza. Como todas estas novas tecnologias são muito recentes, ainda não se sabe exatamente quais danos seriam estes, ou como será possível evitá-los. Da mesma forma que outros tipos de tecnologia, como a nuclear, por exemplo, existem benefícios e malefícios potenciais.

Ainda existem muitas questões em aberto em relação ao futuro da nanotecnologia. Em meio a tantas possibilidades incertas, existe a certeza de que o completo desenvolvimento deste tipo de manufatura industrial de precisão atômica equivalerá para nossa sociedade, em termos históricos, ao que a revolução industrial significou para a sociedade pré-moderna. A indústria atual sabe do potencial revolucionário destas tecnologias, e tem investido pesadamente em sua pesquisa e desenvolvimento.

Nanoeletrônica

A tecnologia da informação é geralmente dividida em três áreas dentro da perspectiva da nanoconvergência: a eletrônica, a magnética e a ótica (AMALL, 2003: 25). Embora existam aplicações nanotecnológicas em todas as três áreas, nota-se que a mais significativa é a área eletrônica, que responde por uma grande parcela da economia mundial contemporânea. A tecnologia da informação revolucionou o mundo através das redes digitais, se tornou a base do desenvolvimento da nanotecnologia, e continua a evoluir aceleradamente dentro do processo de nanoconvergência. Muito embora os circuitos digitais em redes sejam instrumentais para este processo, não é este o principal tipo de tecnologia que levará ao futuro da nanoconvergência. É a nanoeletrônica que traz as possibilidades que estão pavimentando o caminho para o desenvolvimento de níveis cada vez mais profundos de convergência tecnológica.

A nanoeletrônica é a área que lida com circuitos eletrônicos com chips menores ou até 65 nanômetros. Nesta escala, as propriedades físicas dos circuitos começam a se mesclar com as propriedades quânticas da matéria. Presentemente, os circuitos

eletrônicos digitais estão baseados na tecnologia de CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), responsável pela velocidade dos chips nos circuitos integrados atuais.

O principal desafio da nanoeletrônica é desenvolver nanoartefatos que possam vir a substituir e ultrapassar as capacidades dos CMOS. A manufatura destes artefatos se daria através da nano manipulação de circuitos computacionais de informação (engenharia nanoeletrônica de artefatos), a qual se localiza na interface entre física clássica e física quântica, na qual as características não-lineares do comportamento das partículas são evidenciadas:

O rápido progresso nas tecnologias de nanomanufatura levou à emergência de novas classes de nanoartefatos e estruturas (...) estes nanoartefatos possuem novas capacidades e funcionalidades onde a natureza quântica das suas cargas elétricas tem um papel importante na determinação da sua performance. (KLIMECK et al., 2007: 2079)

É no nível quântico, ou na interface entre o domínio físico macro e o quântico, que estão os principais desafios da nanoeletrônica. As áreas da PQI (Processamento Quântico de Informações) e da computação molecular (AMALL, 2003); a computação quântica e a CIQ (Ciência da Informação Quântica) (DEUTSCH, 2007) juntamente à comunicação quântica (GISIN & THEW, 2007) são exemplos de áreas emergentes ao redor da nanoeletrônica. Todas estas novas áreas surgem com o objetivo de expandir o alcance e a velocidade da computação tradicional, através de novos métodos, técnicas, materiais nanotecnológicos e tecnologias quânticas.

Informação e Computação Quântica

Ao mesclarmos a computação clássica, a física quântica e a teoria da informação, temos o nascimento de uma nova área, a qual vem sendo chamada de Ciência da Informação Quântica, ou Ciência da Computação Quântica, pela comunidade científica

internacional⁸. O avanço da ciência da informação e da computação permitiu um aprofundamento do conhecimento científico sobre o reconhecimento de padrões e fluxos informacionais. Este conhecimento está agora sendo aplicado ao nível quântico da matéria. A unidade fundamental da informação digital é o dígito, ou bit. Todo bit deve ser, necessariamente, ou 0 ou 1. Esta unidade é estável e apresenta um comportamento linear e previsível. Já na informação quântica, a unidade fundamental da informação é o qubit. Um qubit pode ser 0, 1 e também pode ser 0 e 1 ao mesmo tempo (superposição quântica). Esta capacidade se dá devido ao entrelaçamento quântico, que possibilita a transmissão de um qubit através de canais físicos de comunicação. A CIQ desafia todas as teorias da informação e comunicação tradicionais dado que não se adequa a nenhuma delas. Esta área tem suas questões teóricas próprias, e seu desenvolvimento se dá paralelamente ao desenvolvimento de novas abordagens comunicacionais e computacionais:

A ciência da informação quântica surge como resposta a uma variedade de desafios científicos convergentes. Um objetivo é testar os fundamentos da teoria da computação. Que limites são impostos à computação pelas leis fundamentais da física, e como pode-se expandir o poder computacional ao explorar-se a estrutura destas leis? Outro objetivo é expandir a teoria da comunicação. Quais são os limites físicos últimos à performance de um canal de comunicação, e como os fenômenos quânticos se adaptariam a novos protocolos comunicacionais?(NSF, 1999)

Enquanto as redes de comunicação digital se baseiam na teoria da informação de Claude Shannon, as redes de comunicação quântica se baseiam na teoria da complexidade, estando baseadas principalmente em cálculos de probabilidade. Portanto, as regras da teoria da informação shannoniana não se aplicam à computação quântica. Há vantagens e desvantagens. Em algumas aplicações, as redes quânticas são mais eficientes que as clássicas, e em outras, o contrário. Ainda não se conseguiu uma

⁸ <http://www.quantiki.org>

equivalência entre os dois tipos de redes, porém, constata-se que a união dos dois tipos aumenta a sua eficácia.

No campo da computação quântica, o processamento de informações é feito através do uso de fenômenos e da utilização de propriedades da mecânica quântica (PLANCK, 1993), como a superposição e o entrelaçamento quânticos. Até agora, apenas operações computacionais relativamente simples foram efetuadas usando-se a computação quântica. A principal limitação relativa a esta tecnologia é a pouca capacidade de isolar o processador do computador quântico de seu meio-ambiente, para que o mesmo não interfira na computação. Justamente por se basear nas características modulatórias das partículas ao nível quântico, torna-se difícil isolá-las completamente. Interferências externas ao sistema causam a decoerência quântica do mesmo. No estado de decoerência quântica, há o colapso aparente das funções de onda, fazendo com que os elementos em superposição não possam interferir um com o outro, assim impedindo a computação quântica (ZUREK, 2003).

A contribuição mais interessante desta área até agora não é de ordem prática, e sim teórica. A partir das pesquisas em computação quântica, começa a surgir entre os físicos a idéia de que a natureza mais profunda da realidade material seja informacional e computacional (DEUTSCH, 2007; LLOYD, 2006a, 2006b, 2008). As leis da física quântica, as quais regem o nível quântico de todas as estruturas materiais, aproximam-se cada vez mais das dinâmicas da ciência da informação; ou seja, a transmissão de informação na comunicação quântica é literalmente transporte de partículas no espaço-tempo. Segundo este enfoque, a matéria ao nível quântico é **informacional**.

Computação Molecular (Computação DNA)

A computação molecular, ou computação DNA, se baseia no uso de moléculas de DNA como processadores computacionais de informação. A computação DNA é diferente da biotecnologia de DNA, que se localiza em outra área da nanoconvergência. Na primeira, há o uso de moléculas de DNA como elementos de engenharia biológica computacional; na segunda, há a manipulação genética de organismos visando alterar suas propriedades e características. Uma se refere ao uso instrumental de componentes biológicos para fins

computacionais, enquanto a outra se refere ao reposicionamento de informações e códigos genéticos. A área conhecida como computação molecular iniciou-se em 1994, a partir do artigo seminal de Adleman (1994), no qual ele descreve como o processamento computacional de informações pode ser efetuado por moléculas de DNA. A conclusão apontada por Adleman neste artigo é a de que:

É concebível que a computação molecular possa competir com a computação eletrônica em um futuro próximo (...) É possível imaginar a emergência de um computador geral que consista em nada além de única macromolécula conjugada a um ribossomo composto de enzimas que o ativem. (ADLEMAN, 1994: 14-15).

Nanorrobótica

A nanorrobótica, ou robótica molecular, tem duas áreas principais. A primeira é voltada para a simulação computacional de robôs de nanoescala (DREXLER; 1986, 1992). A segunda é voltada para a manipulação de nano estruturas por artefatos, com o uso de SPMs (Scanning Probe Microscopes), ou Sondas de Varredura Microscópica (WIESENDANGER, 1994).

Os SPMs tem sido considerados nanorrobôs, pois possuem características e funcionalidades robóticas, como por exemplo, a seleção e transporte de átomos, a capacidade de locomoção autônoma e de percepção através de sensores. Estas funcionalidades permitem a nanoengenharia de estruturas materiais tridimensionais, possível através da nanolitografia. A nanolitografia diz respeito ao desenho de padrões moleculares com a manipulação de nanopartículas feita por SPMs, sendo que esta manipulação pode ou não ser mecânica, como também química, ou fotônica.

A nanorrobótica caracteriza-se principalmente por interfaces nanotecnológicas comunicacionais entre elementos biológicos e não-biológicos. Esta é uma área de processos de comunicação híbridos por excelência: “A engenharia de nanorrobôs envolve sensores, ativadores, controle, energia, comunicação e interfaces entre escalas espaciais orgânicas e inorgânicas, assim como bióticas e abióticas” (REQUICHA, KOEL &

THOMPSON, 2003: 02). A nanorrobótica pode atuar em sistemas materiais radicalmente diferentes como raios de luz, gases, e líquidos. Na robótica tradicional, os processos de manufatura são mecânicos e/ou eletrônicos, enquanto que na nanorrobótica estes processos são químicos e quânticos.

Nanocomunicação

A comunicação efetuada através de nanomídias é um elemento fundamental para o avanço da nanoconvergência; há atualmente uma grande variedade de pesquisas dedicadas ao desenvolvimento da nova área da nanocomunicação. A nanocomunicação se baseia na **comunicação molecular** (SUDA, 2005). A pesquisa sobre a comunicação molecular iniciou-se com a observação de sistemas de comunicação biológicos nos quais sinais e mensagens são transmitidos através de moléculas. O mapeamento dos processos comunicacionais biológicos oferece subsídios para o desenvolvimento de novos sistemas nanocomunicacionais nos quais a comunicação molecular ocorre também na interface entre célula e nanomáquina (MOORE, 2007). Esta interface é complexa, pois envolve ambientes materiais diversos. As moléculas são capazes de trafegar livremente por estes ambientes, transformando-se em uma espécie de **dispositivo móvel de nanocomunicação**.

A natureza informacional e comunicacional da nanoconvergência é um fato reconhecido pela ciência (MOORE, 2007; SUDA, 2005). Inúmeros pesquisadores das mais diversas áreas teóricas consideram a nanoconvergência como sendo um processo de natureza eminentemente comunicacional, sendo a nanocomunicação apontada como o “novo paradigma comunicacional do Século 21” (HARA, 2006: 233).

A nanoconvergência é o resultado da formação e expansão de redes nanocomunicacionais e redes de comunicação quântica (GISIN & THEW, 2007: 165). As redes nanocomunicacionais baseiam-se na emissão e recepção de mensagens entre sistemas híbridos (orgânico/inorgânico; cognitivo/robótico; biológico/digital), enquanto as redes de comunicação quântica baseiam-se na codificação e decodificação de informações através de sistemas físicos a nível quântico (OXBRIDGE QIP Research Groups, 2008).

Existe ainda muita incerteza em relação às conseqüências deste processo acelerado de convergência tecnológica. Apenas uma certeza existe: a mudança aproxima-se, e ela é radical. Esta mudança acontece a partir da comunicação ubíqua entre organismos biológicos, artefatos e objetos físicos, moléculas, átomos e bits. De forma similar, a computação ubíqua e a inteligência ambiente, ao expandirem o alcance das redes digitais inteligentes de comunicação para objetos físicos e organismos biológicos através de tecnologias de informação móveis (RFID) fortalecem este novo paradigma comunicacional, baseado na ubiquidade, universalidade e hibridismo das redes de comunicação.

Tanto na nanocomunicação, na comunicação quântica e nas redes digitais ubíquas temos a expansão do campo da comunicação para o campo físico dos objetos, organismos e de todos os sistemas materiais. A possibilidade de uma internet das coisas e da formação de redes ubíquas de inteligência ambiente através de objetos físicos acontece simultaneamente à formação de redes de nanocomunicação entre sistemas físicos em nano escala, e de redes de comunicação quântica formadas pela transmissão de sinais através de partículas. A diferença é a escala. Tanto a nanocomunicação quanto as redes ubíquas, digitais ou quânticas, formam novos sistemas comunicacionais híbridos entre objetos, partículas e organismos, inteligentes ou não.

As mídias estão também em pleno processo de evolução: temos o surgimento de mídias ambientes (AARTS, 2004; MAYBURY, 1993), nanomídias (KLIMECK et al., 2007) e mídias quânticas (BOYER et al., 2008). Em todas estas mídias, novos veículos de comunicação são configurados a partir de propriedades e/ou intervenções tecnológicas ao nível físico da matéria. Em alguns casos, estas mídias irão transmitir e traduzir mensagens e códigos através de meios híbridos (nano-digitais; nano-quânticos; digital-quânticos); e em outros casos irão levar mensagens ou codificar informações através das propriedades físicas e/ou moleculares dos organismos, artefatos ou objetos. Ainda existe uma terceira possibilidade, recente e inédita, na qual a interferência tecnológica em um processo físico ao nível quântico origina uma mídia capaz de produzir imagens que possuem as características do nível quântico em sua própria expressão (KLIMECK et al., 2007). Nas nanomídias, as características comunicacionais de moléculas físicas e

biológicas são utilizadas para o desenvolvimento de novas plataformas e aplicações comunicacionais híbridas; enquanto que nas mídias ubíquas, objetos físicos inorgânicos adquirem capacidades comunicacionais e passam a interagir entre si próprios e com seres humanos.

Enquanto que nas redes de comunicação digital o ambiente de recepção e transmissão de informações é eletrônico, nas redes de nanocomunicação o ambiente é químico. A comunicação digital propaga-se pelo ar, enquanto que a nanocomunicação entre sistemas híbridos orgânico-inorgânicos propaga-se através de líquidos. Juntamente à comunicação molecular, outra área importante da nanocomunicação se refere ao design de interfaces nanotecnológicas de transmissão e recepção de informação e a configuração de redes nanocomunicacionais através de nanotubos. A transmissão de dados através de redes de nanotubos possibilita a comunicação entre sistemas biológicos e computacionais. A total integração comunicacional entre célula biológica e chip computacional ainda não ocorreu devido, principalmente, ao obstáculo relativo à escala física diferente dos sistemas.

Uma camada ainda mais profunda da nanocomunicação é a **comunicação quântica**, que se refere à transmissão e recepção de informações a nível quântico. Neste nível, as propriedades tradicionais da informação não se aplicam, porque meio e mensagem se confundem fisicamente, estando inextricavelmente interligados devido às características não-lineares dos sistemas quânticos (entrelaçamento). As leis da mecânica quântica aplicadas aos processos de comunicação fazem com que as regras da transmissão de informações e processos comunicacionais sofram alterações profundas:

A Comunicação Quântica, assim como a Informação Quântica em geral, mudou a maneira que costumávamos pensar sobre a física quântica (...) também ocorreu uma mudança fundamental na maneira como entendemos a informação codificada em sistemas quânticos (GISIN & THEW, 2007: 165)

De acordo com as definições usadas pelo grupo de pesquisa sobre Informação Quântica Oxbridge (pesquisa em conjunto entre as universidades de Oxford e

Cambridge), liderados pelos físicos quânticos David Deutsch e Artur Ekert, entre outros, podemos entender a Comunicação Quântica como sendo:

...a medida da nossa capacidade de codificar e decodificar informação em sistemas físicos, neste caso, aqueles sistemas físicos que obedecem leis da mecânica quântica (...) a comunicação da informação quântica descreve nossa habilidade em preservar um estado quântico desconhecido com alta fidelidade (Oxbridge QIP Research Groups, 2008).

O campo da comunicação quântica não se compõe simplesmente de canais físicos de transmissão e recepção de informação fotônica. Outra subárea emergente são as mídias quânticas, aplicações tecnológicas da comunicação quântica voltadas para a visualização e criação de imagens. Um exemplo significativo são as imagens quânticas, pares de padrões visuais entrelaçados devido ao fenômeno do entrelaçamento quântico (BOYER et al., 2008). Através das propriedades não-lineares da ótica, foi possível captar a seguinte imagem de pontos luminosos entrelaçados:



Imagens Quânticas (Boyer et al., 2008).

Não é apenas o uso de propriedades não-lineares na transmissão de imagens que caracteriza o campo das **nanomídias**. Estas novas mídias também estão se desenvolvendo paralelamente à modelagem, simulação e visualização computacional de nano processos. A invisibilidade relativa da nanotecnologia e da ciência da informação

quântica faz com que haja a necessidade de produção de novos artefatos midiáticos que consigam dar suporte à sua comunicação. Nesta direção, há esforços na pesquisa científica que visam à criação de protótipos midiáticos com ênfase na simulação e visualização computacional. Um exemplo é o software de simulação e visualização NEMO-3D, desenvolvido por cientistas americanos em 2007, o qual tem como funções a representação gráfica tri-dimensional de átomos, a simulação computacional das variações de energia e campo magnético atômico, o cálculo das flutuações magnéticas de partículas, etc (KLIMECK et al., 2007). O pleno desenvolvimento das mídias quânticas e nanomídias promete revolucionar as tecnologias de comunicação e acelerar o processamento quântico de informações, estabelecendo as bases do campo da nanocomunicação.

CONCLUSÃO

O breve panorama relatado nesse artigo, que compila diversos exemplos e instâncias tecnológicas da nanoconvergência, nos desvela apenas a ponta do iceberg das inúmeras possibilidades que surgem a partir da progressiva fusão entre o estado da arte da biologia, computação quântica, nanotecnologia, tecnologias digitais, inteligência artificial, etc.

A nanotecnologia vem atuando como um instrumento que opera a partir do que é comum a todos os níveis da matéria (universal e ubíquo) para atuar em cada nível (particular e local) de realidade, partindo do núcleo quântico comum a todos os tipos de matéria e efetuando modificações singulares no nível particular a cada propriedade física específica. Essas modificações acontecem no coração nanoquântico da matéria, através de mediações nanocomunicacionais que efetuam reconfigurações moleculares antes possíveis apenas no imaginário da alquimia medieval. Através da nanoconvergência, matéria se torna informação e informação se torna matéria; o material se torna informacional e vice-versa.

Pesquisa Futura

A universalidade e ubiquidade inerente à ideia de unidade da matéria (BAINBRIDGE, 2007) nos remete imediatamente às questões trabalhadas pelo **problema dos universais**, que dominou o pensamento medieval (RUSSEL, 1912). O problema dos universais é especialmente pertinente no contexto da unidade da matéria, devido ao fato de que é justamente a relação entre os aspectos universais da natureza e suas particularidades que permite e instrumentaliza a nanoconvergência. Explorar as relações entre a práxis atual da nanocomunicação e a teoria filosófica do problema dos universais pode trazer nova luz sobre a natureza transdisciplinar dos processos de nanoconvergência, e será o tema de nossas publicações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, E. Ambient intelligence: a multimedia perspective. **Multimedia**, vol.11, 01. IEEE, p.p. 12-19, 2004.

ADLEMAN, L. M. Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems. **Science**. 266 (11): 1021–1024, 1994.

AKYILDIZ, I. & JORNET, J. The internet of nano-things. **IEEE Wireless Communications**, 17(6):58 –63, Dec. 2010.

AMALL, A. H. **Future Technologies, Today's Choices**. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A technical, political and institutional map of emerging technologies. Greenpeace Environmental Trust. July 2003. Disponível em: <<http://www.greepace.org.uk>>. Acessado em: 11/08/2008.

BAINBRIDGE, William Sims. **Nanoconvergence: the unity of nanoscience, biotechnology, information technology and cognitive science**. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

BINNIG, G & ROHRER, H. Scanning tunneling microscopy. **IBM Journal of Research and Development**, 30,4, 1986.

BMI & FNI (Battele Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute). **Productive Nanosystems. A Technology Roadmap**. 2007. Disponível em: <<http://www.foresight.org/roadmaps/>>. Acessado em 11/08/2008.

BORISENKO, V. E., & OSSICINI, S. **What is What in the Nanoworld: A Handbook on Nanoscience and Nanotechnology**. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.

BOYER, V.; MARINO, A.; POOSER, R.; LETT, P.D. Entangled Images from Four-Wave Mixing. **Science**. 321, 544, 2008.

BUCKLEY, J. From RFID to the Internet of Things: Pervasive networked systems. **European Union Directorate for Networks and Communication Technologies**. 2006.

COA, Guozhong. **Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications**. London: Imperial College Press, 2004. Disponível em: <<http://www.ebrary.com/corp/>>. Acessado em: 11/08/2008.

DEUTSCH, David. **The Beginning of Infinity**. London: Penguin, 2011.

DREXLER, E. K. Modular Molecular Composite Nanosystems. **Metamodern**. November 10th, 2008. Disponível em: <<http://metamodern.com/2008/11/10/modular-molecular-composite-nanosystems/>>. Acessado em: 28/11/2011.

_____, E. K. From Feynman to Funding. **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 24, No. 1: 21-27, 2004.

_____, E. K. Drexler Counters. **Chemical & Engineering News**, 81: 40-41, 2003.

_____, E. K. **Nanosystems**. New York, NY: John Wiley & Sons, 1992.

_____, E. K. **The Engines of Creation**. New York, NY: Anchor Books, 1986.

FAHLMAN, B. D. **Materials Chemistry**. Springer: Mount Pleasant. Vol. 1, pp 282-283, 2007.

GISIN, N.; THEW, R. Quantum Communication. **Nature Photonics**. 1:165-171, 2007.

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

HARA, S. et al. New Paradigms in Wireless Communication Systems. **Wireless Personal Communications**, vol. 37, no. 3-4:233-241, May 2006.

HOLISTER, P. Nanotech: The Tiny Revolution. **CMP Cientifica**; July 2002. Disponível em: http://www.cientifica.info/html/docs/NOR_White_Paper.pdf>. Acessado em: 18/08/2008

ITU. International Telecommunication Union. **Internet Reports 2005: The Internet of Things**. 2005. Disponível em: <<http://www.itu.int>>. Acessado em: 18/08/2008.

KLIMECK, G. et al. Atomistic Simulation of Realistically Sized Nanodevices Using NEMO 3-D: Part I Models and Benchmarks. **IEEE Transactions**. September 2007.

LLOYD, Seth. Quantum Information Matters. **Science**. 319, 1209. 2008.

_____, Seth. A Theory of Quantum Gravity Based on Quantum Computation. **MIT**. 2006b. Disponível em: <<http://arxiv.org/>>. Acessado em: 27 dez. 2007.

_____, Seth. **Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos**. Boston: Alfred A. Knopf, 2006a.

MAYBURY, M. **Intelligent Multimedia Interfaces**. Menlo Park, AAI Press: 1993.

MOORE, Edward C. (ed). **Charles S. Peirce and the philosophy of science: papers from the Harvard Sesquicentennial Congress**. Tuscaloosa: University of Alabama Press, 1993.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE (NNI). **Big Things from a Tiny World**. 2008. Disponível em: <<http://www.nano.gov>>. Acessado em: 08/08/2008.

NSF – National Science Foundation Workshop Report. **An Emerging Field of Interdisciplinary Research and Education in Science and Engineering**. Arlington, VA. October 28-29, 1999.

OXBRIDGE RESEARCH GROUP. 2008. **The Handbook of Quantum Information**. Disponível em: <<http://www.quantiki.org>>. Acessado em: 20/08/2008.

PLANCK, Max. **A Survey of Physical Theory**. London: Dover, 1993.

REQUICHA, A.; KOEL, B.; THOMPSON, M. Nanorobotics. **NSF Nanoscale Science and Engineering Grantees Conference**, Dec 16-18, 2003.

ROCO, Mihail. Nanotechnology's Future. **Scientific American**, 24 July 2006.

RUSSEL, Bertrand. On the Relation of Universals and Particulars. **PAS New Series**, vol. XII. 1912. Disponível em: <<http://www.hist-analytic.org/Russelluniversals.pdf>>. Acessado em: 24/08/2011.

SMALLEY, R. E. Of chemistry, love and nanobots—How soon will we see the nanometer-scale robots envisaged by K. Eric Drexler and other molecular nanotechologists? The simple answer is never. **Scientific American**:68-69, Sept. 2001.

SUDA, T. et al. Exploratory Research on Molecular Communication between Nanomachines. **Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)**, Late Breaking Papers, June, 2005.

WIESENDANGER, R. **Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy**. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1994.

ZUREK, W. H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. **Reviews of Modern Physics**. 75:715, 2003.

SOBRE A AUTORA

Renata Lemos Morais é doutora em Comunicação e Semiótica pela PUC São Paulo, com estágio de pesquisa CAPES na European Graduate School - Suíça. Faz parte de vários grupos de pesquisa e think tanks no Brasil, Estados Unidos e Europa.