

Os novos desafios e oportunidades das tecnologias da informação e da comunicação na agricultura (AgroTIC)

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá
Maria Angélica de Andrade Leite
Maria Fernanda Moura

1 Introdução

Nos dias atuais, a humanidade está passando por um momento de transformação em que se vive em uma grande dicotomia. Por um lado, as pessoas vivem em tempos extraordinários de grande prosperidade, vida longa saudável, tecnologias disponíveis associadas ao acesso à informação e ao conhecimento e crescimento do nível de educação. Por outro lado, deparam-se com vários riscos ao planeta, níveis altos de pobreza, enfermidades e necessidade de melhoria da qualidade da educação.

Este mundo contemporâneo e globalizado remete todos a uma busca por uma economia mais sustentável e mais justa, em que a bioeconomia ganha força e visibilidade porque a sustentabilidade entrou definitivamente como uma das prioridades da sociedade. No escopo deste trabalho, a bioeconomia é considerada um ramo da atividade humana que promete reunir todos os setores da economia que utilizam recursos biológicos (seres vivos) para oferecer soluções coerentes, eficazes e concretas para grandes desafios - como as mudanças climáticas, substituição de insumos de origem fóssil, segurança alimentar e saúde da população (EMBRAPA, 2014).

Neste contexto, em que o foco é a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar, cada vez mais os avanços em tecnologia de informação terão um caráter estratégico e político para o Brasil e para o mundo. No relatório elaborado pela National Science Foundation dos Estados Unidos da América, *Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, foi apontada a sinergia entre a nanotecnologia, a tecnologia da informação, a biotecnologia e a ciência cognitiva como o maior potencial de futuro para a humanidade nos próximos 20 anos (ROCO; BAINBRIDGE, 2002).

As tecnologias da informação e da comunicação (TIC) têm contribuído, há várias décadas, de forma impactante, para as diversas áreas de conhecimento, permitindo o armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, automatização de processos e o intercâmbio de informações e de conhecimento. Seu grande potencial reside na sua transversalidade podendo agregar valor e benefício para as diversas áreas de negócios, mercado, agricultura e meio ambiente.

Algumas das inovações mais recentes em TIC prometem alavancar as pesquisas na agricultura gerando novas AgroTIC. Neste trabalho, AgroTIC é definido como um conjunto de aplicações específicas para agricultura que utilizam ferramentas baseadas em TIC, tais como sistemas de in-

formação geográfica (SIG), sistemas baseados em conhecimento, sistemas de suporte à decisão e modelos que são incorporados em novas tecnologias empregadas no campo. Dentre as aplicações no campo pode-se destacar: sistema de irrigação inteligente, agricultura de precisão envolvendo a aplicação de inteligência embarcada, automação e rede de sensores locais para mapeamento de solos, monitoramento de doenças e de variáveis meteorológicas. Além dessas aplicações tem-se atividades de sensoriamento remoto visando obter mais dados sobre a produção e aspectos ambientais e climáticos.

Em todas estas aplicações é produzido um grande volume de dados, também denominado *big data*, aos quais se pode aplicar técnicas de mineração de dados visando identificar padrões, de modo a gerar informações e conhecimentos para uso do setor agrícola. Adicionalmente às técnicas de mineração de dados pode-se utilizar modelos de inteligência computacional e simulação para emissão de alertas e suporte à decisão agropecuária. Pode-se destacar também o uso de SIG, bem como sistemas de informação e gestão do conhecimento implementados em aplicações web e dispositivos móveis.

No relatório elaborado pelo governo norte-americano Computational Science: Ensuring America's Competitiveness (ESTADOS UNIDOS, 2005), o Comitê Assessor de TI para o Presidente (PITAC) apontou que a tecnologia da informação (TI) constitui o terceiro pilar da investigação científica, com a teoria e a experimentação, permitindo aos cientistas construir e simular modelos de fenômenos complexos – tais como mudanças climáticas, testes de estresse estrutural em aviônica e explosões estelares – que não poderiam ser replicados em laboratório. Outro exemplo que retrata o papel estratégico da TI nos dias de hoje é o trabalho dos vencedores do prêmio Nobel de Química de 2013, que envolveu a criação de modelos de computador que simulam reações químicas. A academia sueca comparou o estudo dos vencedores como “levar a química do tubo de ensaio ao ciberespaço”.

Por outro lado, na agricultura são encontrados alguns desafios que devem ser superados para atingir o desejado aumento de produtividade: heterogeneidades inerentes ao ecossistema de produção agrícola (sistemas biológicos, químicos e físicos); eventos extremos da atmosfera; grande dispersão geoespacial; requisitos de segurança alimentar e alimentos seguros, além das limitações da agricultura (TING et al., 2011). A agricultura trabalha com sistemas biológicos que são inerentemente heterogêneos refletindo no ecossistema de produção agrícola. Os campos podem variar em tipo de solo e teor de umidade para a resolução de um metro quadrado. Padrões climáticos podem variar espacialmente e temporalmente em termos da luz solar e da chuva. As matérias-primas podem ter variações genéticas básicas de planta para planta e de animal para animal. De fato, a variação genética é muitas vezes biologicamente útil para aumentar a resistência a doenças e pragas.

Processos agrícolas são muito mais vulneráveis às perturbações inesperadas do que muitos outros processos industriais. Variações climáticas podem causar inundações ou trazer tempestades de granizo que, por sua vez, podem devastar plantações. Pestes ou infestações de doenças podem afetar rapidamente, se não acabar com grandes quantidades de matéria-prima. Quando se compara esse ambiente natural com o ambiente cuidadosamente controlado de uma sala limpa de indústria de fabricação de semicondutores, imediatamente pode-se entender que, por causa de forças externas, os níveis de precisão na cultura ou o rendimento do rebanho são muito mais baixos do que em outras indústrias.

Outro grande desafio da agricultura é a grande dispersão geoespacial. Vários pontos em uma cadeia de suprimentos agrícolas estão muito dispersos e o sistema agrícola global pode ser dividido em subprocessos interligados nas três principais etapas de uma cadeia produtiva, a saber: pré-produção, produção e pós-produção (Figura 1). Um desafio relacionado à dispersão geoespacial refere-se ao tratamento de algumas matérias-primas, como a pecuária e culturas perecíveis. Assim, na etapa de pós-produção, a logística e as longas distâncias, entre os pontos de processamento da cadeia de abastecimento, podem apresentar riscos para a viabilidade global de todo o processo.

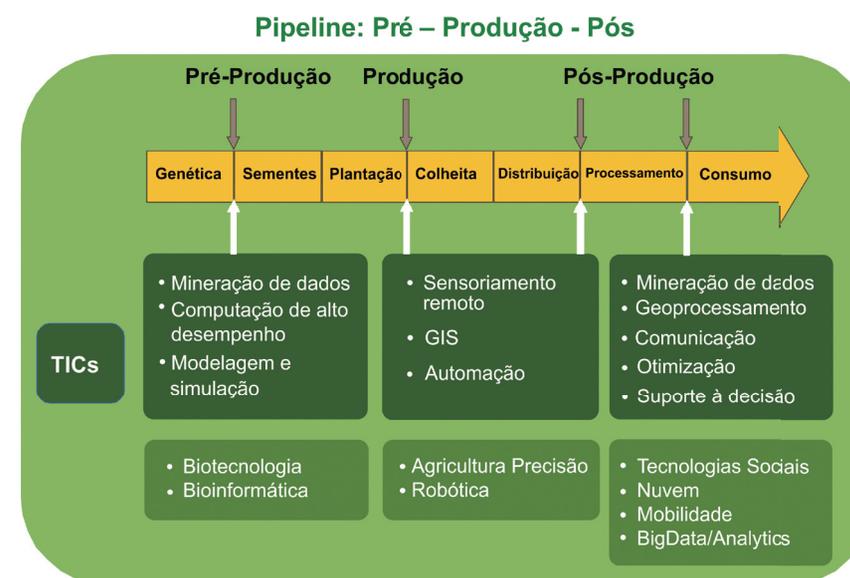


Figura 1. Pipeline da cadeia de produção agrícola.

Fonte: Adaptado de Ting (2011).

Outras questões estão relacionadas com os requisitos de segurança alimentar e alimentos seguros que são fundamentais para os sistemas agrícolas em duas escalas de tempo separadas. Em uma escala de tempo curto de dias ou semanas, a segurança dos alimentos é crítica porque muitos produtos são eventualmente ingeridos por seres humanos. Proteger a saúde humana requer um processo de gestão da cadeia de oferta de produtos agrícolas a uma escala global. Em uma escala de anos ou décadas de tempo mais longo, a sustentabilidade do ambiente natural é fundamental para a saúde de longo prazo da sociedade. Melhorias agrícolas, como pesticidas ou fertilizantes, devem ser usadas de modo a aumentar a produtividade sem afetar negativamente a qualidade de vida global. Da mesma forma, os recursos, como a terra e a água, devem ser utilizados de uma forma que possam ser mantidos indefinidamente.

Todos esses desafios devem ser atendidos dentro das limitações inerentes ao processo agrícola. Por exemplo, a quantidade de terra arável é relativamente fixa no mundo, especialmente nos países mais desenvolvidos. O tempo também impõe uma restrição, particularmente em sistemas sensíveis a prazo, como gado e produtos perecíveis. Há uma janela de tempo finito durante o qual estes produtos agrícolas são viáveis durante o processamento. Adicionalmente, estes desafios devem ser atendidos dentro dos limites de viabilidade econômica (ou seja, custo).

Diante destes grandes desafios da agricultura, surgem novas oportunidades para a utilização de inovações na área de tecnologias da informação e comunicação (AgroTIC) em todas as etapas da cadeia produtiva. Conforme apresentado na Figura 1, na pré-produção tem-se a oportunidade de utilizar técnicas de modelagem e simulação, mineração de dados e computação de alto desempenho para, por exemplo, tratar o grande volume de dados moleculares gerados no melhoramento genético com apoio da Biotecnologia e da Bioinformática. Na etapa de produção, pode-se destacar as técnicas de sensoriamento remoto, SIG para automação das etapas de plantação e colheita, avançando para uma agricultura de precisão e robótica. Finalmente, em relação à pós-produção, as TIC já estão amplamente utilizadas nas etapas de distribuição, processamento e consumo, conforme apresentados na Figura 1 (computação em nuvem para armazenar grandes volumes de dados, análises de dados para orientação de mercado e logística, além de dispositivos móveis e tecnologias sociais para monitorar o mercado).

Na próxima seção, o papel das TIC e suas aplicações na pesquisa agropecuária são apresentados. Na seção 3 é apresentado o mapeamento de tendências das publicações em TI na agricultura, bem como o centro de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que tem como missão viabilizar soluções de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em TI para a agricultura. A seção 4 trata das perspectivas de TI na agricultura. Finalmente, na seção 5, são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

2 O papel das TIC na pesquisa agropecuária

A evolução recente da PD&I para o setor agrícola brasileiro pode ser discutida em função do macroambiente (mundo e Brasil) e sua relação com o desenvolvimento sustentável. O enorme avanço da agricultura brasileira, nos últimos 40 anos, confirmou a convicção existente na década de 1970 de que era necessária a criação de tecnologias adaptadas ao ambiente tropical, fundamentadas em pesquisa científica contínua e bem planejada. O avanço tecnológico evidenciado por essa crescente produtividade foi conseguido graças ao fortalecimento do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, que inclui a Embrapa, as Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (Oepa) e as universidades. Em relação à inserção do tema de tecnologia da informação no agronegócio brasileiro, pode-se afirmar que ela ocorreu no período de 1984-1985 com a criação do Centro de Informática (Ciagri) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) em Piracicaba, SP, da Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP e da Embrapa Informática Agropecuária, em Campinas, SP, conforme descrito por Zambalde et al. (2011).

Em 1985, por meio de uma ação visionária, a Diretoria da Embrapa criou o Núcleo Tecnológico de Informática Agropecuária (NTIA) que, a partir de 1993, passou a ser chamado Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura (CNPTIA), como um centro de pesquisa voltado à excelência na pesquisa e na geração de conhecimento e tecnologia em TI para a agricultura brasileira. Atualmente, este centro de pesquisa é conhecido pelo nome-síntese Embrapa Informática Agropecuária. Em 1989, foi criado o Laboratório de Automação Agrícola (LAA) da Escola Politécnica da USP, com o objetivo de desenvolver pesquisas na área de eletrônica embarcada, agricultura de precisão, zootecnia de precisão, controle de ambientes e processamento pós-colheita. No período entre 1990 e 2000, o tema TIC no Brasil caminhou a passos

largos. Em 1996, foi criada a Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e Agroindústria (SBIAgro) que, posteriormente, passou a ser denominada Associação Brasileira de Agroinformática. A partir de 1999, o LAA passou a trabalhar também na área de tecnologia de informação aplicada ao ambiente, em particular à biodiversidade, a chamada Informática na Biodiversidade (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014). Paralelamente, em 2000, a Embrapa Informática Agropecuária ampliou sua atuação, iniciando suas atividades de pesquisa em Bioinformática.

Desde então, a Embrapa Informática Agropecuária¹ tem comprovado a transversalidade da TI por meio da execução de seus projetos de pesquisa, aplicando métodos, técnicas e ferramentas de modelagem e simulação, inteligência artificial, reconhecimento de padrões e geoprocessamento, apoiados na gestão da informação e do conhecimento e no uso de tecnologias emergentes e padrões abertos. A atuação da área de pesquisa e desenvolvimento pauta-se pela visão estratégica, focada no desenvolvimento de soluções de TI, especialmente nas áreas de agroinformática e bioinformática.

A Embrapa, por sua vez, de modo a otimizar sua programação de pesquisa, tem instituído novas figuras programáticas como Portfólios e Arranjos no Sistema Embrapa de Gestão (SEG)². Portfólios são instrumentos de apoio gerencial para a organização de projetos afins, segundo visão temática, com o objetivo de direcionar, promover e acompanhar a obtenção dos resultados finalísticos a serem alcançados naquele tema, considerando-se os objetivos estratégicos da Empresa. Dentre os 17 portfólios instituídos na Empresa, a Embrapa Informática Agropecuária participa mais ativamente do comitê gestor de três deles que envolvem vários centros de pesquisa da Embrapa, a saber: o Portfólio de Mudanças Climáticas, o Portfólio de Dinâmica e Uso da Cobertura da Terra (Geotecnologias) e o Portfólio de Automação e Agricultura de Precisão.

Enquanto os portfólios têm uma abordagem top-down, os arranjos são bottom-up. Arranjos são conjuntos de projetos convergentes, complementares e sinérgicos organizados para fazer frente a desafios prioritários em determinado tema, preferencialmente a partir da visão conjunta de mais de uma Unidade da Embrapa. Atualmente são 63 arranjos aprovados, trabalhando de forma sinérgica em temas como: melhoramento genético, sustentabilidade e sistemas de produção vegetal e animal; Huanglongbing (HLB) dos citros e a mosca-das-frutas, pragas e toxinas de grãos armazenados, entre outros. A Embrapa Informática Agropecuária participa de 35 arranjos, o que comprova a complementaridade das TIC neste novo cenário científico.

Em relação à bioinformática, diversas áreas do conhecimento, especialmente a biologia molecular, experimentaram nas três últimas décadas um crescimento exponencial na capacidade de gerar dados e, conseqüentemente, do volume de dados disponível. A bioinformática, embora originalmente lidasse com sequências proteicas na década de 1960, ganhou importância e foi reconhecida como área distinta a partir do papel decisivo nos primeiros projetos genoma, no final da década de 1980. Desde então, passou a atuar também nas áreas de expressão gênica, marcadores moleculares, evolução, regulação da expressão, modelagem de sistemas biológicos, predição de estrutura proteica e interação molecular, entre outras.

¹ Disponível em: <<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria>>.

² Disponível em: <www.embrapa.br>.

A Embrapa ainda tem um longo caminho a percorrer na incorporação da bioinformática em seus programas de melhoramento genético, fazendo com que somente sejam levados a campo os experimentos com alto potencial de sucesso. Estão em execução projetos na área de prospecção de novas tecnologias para obtenção de dados genômicos; bases de conhecimento em nível molecular, desvendando as principais forças que regem a comunicação e a interação entre macromoléculas biológicas; caracterização estrutural e funcional das proteínas identificadas através dos proteomas brasileiros com impacto no agronegócio; e pipeline de utilização de softwares de bioinformática na Embrapa visando a sua interoperabilidade; entre outros.

A Embrapa tem estimulado a criação de laboratórios multiusuários para atender às demandas de alta complexidade científica, envolvendo equipamentos modernos e equipes multidisciplinares altamente qualificadas. Desde 2011, o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB), que visa viabilizar soluções de bioinformática para projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em um ambiente colaborativo, está sediado na Embrapa Informática Agropecuária³.

Outra iniciativa da Embrapa são as Unidades Mistas de Pesquisa (Umip). A Embrapa Informática Agropecuária participa deste novo desafio por meio da Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada a Mudanças Climáticas (Umip GenClima), que é um laboratório conjunto entre a Embrapa e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) que visa à união de esforços técnicos, científicos, materiais, operacionais e de recursos humanos voltados à geração de tecnologias genéticas e biotecnológicas, a partir da prospecção genômica, que serão utilizadas para o desenvolvimento de plantas melhor adaptadas às mudanças climáticas.

A Umip GenClima⁴ foi implantada para identificar e validar novos genes de alto valor biotecnológico e desenvolver construções genéticas que possuam valores científicos e comerciais e que contenham novos genes que possam ser transferidos, por meio de transformação genética, para variedades comerciais de plantas desenvolvidas pela Embrapa.

As experiências com o Laboratório Multiusuário de Bioinformática e com a Umip GenClima estão sendo estendidas para outras áreas que a Embrapa visa atender, por meio de seus centros de pesquisa e instituições parceiras públicas e privadas.

Neste contexto em que a pesquisa agrícola gera grandes volumes de dados e informações, é importante um ambiente virtual para pesquisa científica, o que envolve um trabalho na área de organização da informação. Um projeto previsto na Embrapa, denominado Agropedia, prevê a construção semiautomática de mapas conceituais por meio de geração semiautomática de ontologias baseadas em mineração de textos e processamento de linguagem natural (RODRIGUES et al., 2013). A execução desse projeto dará uma importante contribuição para a inserção da Embrapa no panorama global de integração de informações previsto na Web Semântica, inclusive vinculando três das quatro áreas do relatório NBIC (ROCO; BAINBRIDGE, 2002): TI, biotecnologia e ciência cognitiva.

Adicionalmente, para contemplar os novos desafios da agricultura brasileira, além de projetos na área de organização e estruturação da informação agropecuária, estão sendo desenvolvidos

³ Disponível em: <<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/infraestrutura/laboratorio-multiusuario-de-bioinformatica>>.

⁴ Disponível em: <<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/infraestrutura/unidade-mista-de-pesquisa-em-genomica-aplicada-a-mudancas-climaticas-umip-genclima>>.

projetos no âmbito do monitoramento de fronteira agrícola e dos biomas; uso de ferramentas inteligentes na gestão de recursos hídricos, no diagnóstico de doenças e no licenciamento ambiental; sistemas de suporte à decisão para análise de impactos ambientais; sistemas de modelagem e simulação de cenários agrícolas futuros frente às mudanças climáticas; modelagem e simulação de sistemas de produção agrícola; e sistemas de rastreabilidade para produtos de origem animal e vegetal, entre outros.

Avanços na área de modelagem e simulação de crescimento de plantas são outro grande desafio na pesquisa agropecuária. Aplicações como análise funcional-estrutural de plantas, desenvolvimento de modelos de crescimento de plantas, análise de fenótipos para genômica animal e vegetal e realidade aumentada para instrumentação e controle envolvem a construção automática de modelos tridimensionais a partir de imagens digitais, de modo que possam ser produzidas e utilizadas em larga escala.

A construção automática de modelos tridimensionais para objetos simples, provenientes de atividades humanas, tais como prédios e móveis, recebeu muita atenção da comunidade de visão computacional nos anos 1990. Entretanto, a construção de modelos tridimensionais (3D) de plantas a partir de imagens digitais é muito mais complexa, dadas as estruturas orgânicas das plantas e as condições de ambiente externo que influenciam seu crescimento, tais como luz e sombra. Trabalhos de pesquisa nessa área envolvem estudos e investigações na área de computação gráfica, processamento de imagens e reconhecimento de padrões. Algoritmos desenvolvidos no âmbito desta linha de trabalho visam auxiliar as pesquisas em botânica, ambiente, genômica e proteômica. Em um horizonte mais longo, outros campos que se beneficiariam dos resultados seriam sistemas de realidade aumentada aplicada à instrumentação em agricultura e o uso de robôs em agricultura de precisão.

Conforme apresentado acima, diante dessas considerações, é possível ver que o cenário científico atual passa por um processo de mudança de paradigma, no qual cada vez mais é comum projetos de pesquisa utilizarem tecnologias capazes de adquirir e/ou gerar *terabytes/petabytes* de dados de alta qualidade e a um custo razoavelmente baixo. Além disso, esses grandes volumes de dados exigem a utilização de equipamentos de alto poder computacional para serem analisados de forma integrada, visando obter o máximo de informação e conhecimento.

Para fazer frente a esse novo cenário, a Embrapa Informática Agropecuária aprovou o arranjo denominado “Armazenamento e Processamento de Dados Experimentais da Embrapa – DataExp”, que tem por objetivo estruturar e organizar uma infraestrutura computacional de hardware e software para suporte a projetos de pesquisa da Empresa, que estejam enfrentando a questão de armazenamento, processamento e análise integrada de grandes volumes de dados. Por meio deste arranjo será criado um centro de dados da pesquisa agropecuária brasileira. Para tanto está sendo construído um novo laboratório que irá abrigar a infraestrutura computacional a ser adquirida para a sua instalação.

A Embrapa Informática Agropecuária também vem participando de outra proposta de arranjo, denominado “Métodos Quantitativos Avançados e Computação Científica na Pesquisa Agropecuária - AgroMQCC”, envolvendo 23 centros de pesquisa da Embrapa. O foco deste arranjo está no desenvolvimento e aplicação de modelos e métodos quantitativos e de computação científica para análise de dados da agropecuária em estudos prospectivos e descritivos. O arranjo AgroMQCC poderá atuar junto ao arranjo DataExp para disponibilizar e validar métodos,

técnicas, modelos e recursos de software e, ainda, fazer uso dos dados que serão armazenados no DataExp.

3 Mapeamento de tendências de produção científica de TI aplicada à agricultura

Para auxiliar a prospecção das atuais contribuições e tendências futuras de vários grupos de interesse que se ocupam da aplicação da TI na pesquisa agropecuária, a Embrapa Informática Agropecuária vem realizando um estudo de avaliação das publicações científicas brasileiras e internacionais nessa área. Considerando as duas vertentes de atuação: computação e agricultura, tem-se considerado representativa a comparação entre as publicações dos congressos internacionais de agroinformática, tais como o European Federation for Information Technologies in Agriculture, Food and the Environment (Efita), os congressos da American Society of Agricultural and Biological Engineers (Asabe) e os congressos da Associação Brasileira de Agroinformática (SBIAgro). Soma-se a essa comparação a produção científica da Embrapa Informática Agropecuária, para que se tenha um retrato da sua atuação frente aos tópicos cobertos por esses congressos. Em Massruhá et al. (2011) foi apresentada uma análise dessa comparação entre 1997 a 2009. Como as publicações dos Congressos da Asabe não estão publicamente disponíveis em formato digital, para se ter uma comparação estatisticamente mais justa, tem-se considerado apenas as publicações dos demais congressos a partir de 2003, que é quando o congresso da SBIAgro passou a disponibilizar publicamente seus anais em formato digital. Acredita-se que este fato não prejudica uma análise global porque Efita, SBIAgro e Asabe participam da rede Internacional Network for Information Technology (Infita) e, desta forma, os avanços norte-americanos estão também contemplados nos anais do Efita.

Desta forma, nas últimas análises conduzidas, tem-se os resultados dos últimos dez anos (2003 a 2013), considerando os anais do Efita, do SBIAgro e da produção científica da Embrapa Informática Agropecuária. Nessas análises, tem-se utilizado dicionários de vocabulário controlado para solucionar o problema de diferenças entre tópicos e subtópicos entre os anais dos congressos, bem como a publicação técnico-científica da Embrapa. Para encontrar esses tópicos e subtópicos comuns a todos, utilizou-se os vocábulos do Thesagro, tesouro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e do Agrovoc da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), para cobrir os termos da área agrícola, consideradas como “áreas de aplicação”. Na área de modelos computacionais presentes nas publicações, optou-se por utilizar a taxonomia da Association for Computing Machinery (ACM) e uma tradução elaborada pela Embrapa Informática Agropecuária.

Para identificação de uma taxonomia de classes de modelos e aplicação foram utilizados métodos e técnicas de mineração de textos, de acordo com a metodologia TopTax (MOURA, 2009), na qual a informação automaticamente extraída das publicações e comparada aos vocábulos dos diversos tesouros é agrupada, descrita e, posteriormente, avaliada por um especialista do domínio de conhecimento, em um processo retroalimentativo. Desta forma, a categorização de assuntos, aqui apresentada, é resultado de um processo semiautomático, no qual o julgamento semântico subjetivo é realizado por especialistas em agroinformática.

Como resultado final desses dez últimos anos, foram observadas 147 áreas de aplicações e 49 diferentes modelos computacionais. Os principais resultados obtidos podem ser observados nas Figuras a seguir, considerando-se os grupos:

- Embrapa Informática como os dados da produção científica da Embrapa Informática Agropecuária.
- Efita como as publicações dos congressos da European Federation for Information Technologies in Agriculture, Food and the Environment.
- SBIAgro como as publicações dos congressos da Associação Brasileira de Agroinformática.

Na Figura 2 são apresentadas as áreas de aplicação em agricultura 10% mais citadas nas publicações em relação à média geral dos grupos. Na Figura 3 são apresentados os modelos computacionais aplicados à agricultura também 10% mais citados nas publicações em relação à média geral dos grupos.

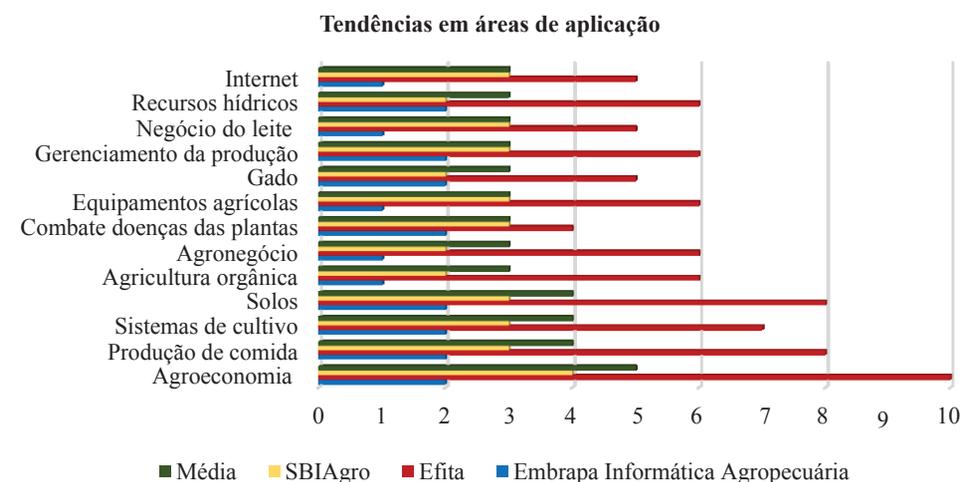


Figura 2. Principais áreas de aplicação das publicações entre 2003 e 2013.

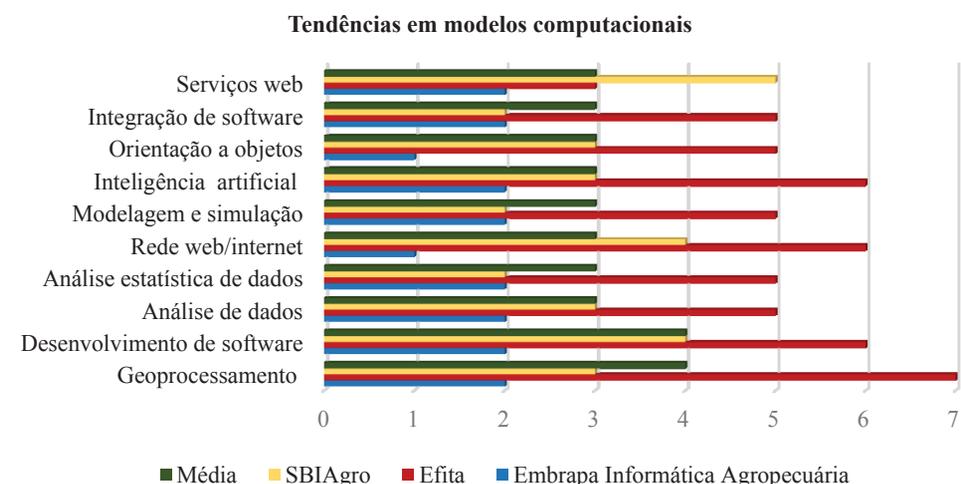


Figura 3. Principais modelos computacionais utilizados nas publicações entre 2003 e 2013.

Tanto na Figura 2 quanto na Figura 3, podem-se observar que as publicações da SBIAgro e da Embrapa apresentam tendências semelhantes, embora a SBIAgro seja mais representativa (engloba todas as instituições e universidades do Brasil que participam do congresso desta associação), se comparados aos resultados apresentados pelo Efit. Na Figura 3, observa-se que os modelos computacionais apresentam um comportamento semelhante à análise apresentada em Massruhá et al. (2011), pois a importância de geoprocessamento, análise de dados, modelos para internet e modelos de inteligência computacional continuam entre os primeiros mais frequentes. Aparecem, como novidade, entre os modelos mais frequentes a integração de software e *web services* nesses últimos dez anos. Na Figura 2, pode-se observar que as áreas de aplicação tiveram um maior foco em agroecologia, produção de alimentos, sistemas de cultivo, agricultura orgânica, combate às doenças e recursos naturais (aparecem em destaque solos e recursos hídricos). Na análise anteriormente publicada em Massruhá et al. (2011), análise de mercado, agrometeorologia, gestão de propriedades e recursos naturais eram os mais frequentes. Ou seja, parece que esta nova análise reflete a mudança de foco para a produção de alimentos integrada aos sistemas de cultivo em relação às questões de mercado.

Em relação aos modelos computacionais, pode-se observar um destaque na produção científica da Embrapa Informática Agropecuária em geoprocessamento, modelos de inteligência artificial, software para análise de dados, análise estatística de dados, nos modelos de simulação, integração de base de dados e serviços web. Deve-se observar que os trabalhos na área de geoprocessamento costumam ser publicados em congressos específicos da área; assim, por vezes, não foram apresentados nos congressos considerados. Esse tipo de tecnologia é amplamente utilizada em sistemas de suporte à decisão para zoneamento, monitoramento territorial e recuperação de áreas degradadas (integração lavoura, pecuária e floresta; energia). É importante ressaltar também que o domínio desses modelos computacionais é essencial para incorporação de tecnologias avançadas no agronegócio, tais como automação, nanotecnologia, biotecnologia, sistemas de suporte à decisão, que serão citados nos próximos capítulos.

4 Perspectivas das TIC na agricultura

A Embrapa, ciente dos novos desafios neste mundo dinâmico e moderno, tem procurado inovar nas suas áreas de pesquisa e desenvolvimento e transferência de tecnologia. No nível estratégico, a Empresa criou o Sistema de Inteligência Estratégica, denominado Agropensa. No documento de visão 2014-2034: O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira, gerado no âmbito do Agropensa, foi proposta a criação de “Observatórios de Estudos e Tendências”, que visam capturar as principais tendências sobre o setor agropecuário no Brasil e no exterior, envolvendo suas Unidades Centrais e Descentralizadas, bem como seus laboratórios virtuais no exterior (Labex) (EMBRAPA, 2014).

Este monitoramento de tendências e perspectivas ocorre em sintonia com as cadeias produtivas agropecuárias e, para isso, foram definidos oito macrotemas que emulam o fluxo de inovação nas cadeias, a saber: recursos naturais e mudanças climáticas; novas ciências (biotecnologia, nanotecnologia, geotecnologias); automação, agricultura de precisão e tecnologias de informação e comunicação (TIC); segurança zootossanitária na cadeia produtiva; sistemas de produção; tecnologia agroindustrial da biomassa e química verde; segurança dos alimentos, nutrição e saúde;

de; além dos temas transversais: mercado, políticas e desenvolvimento rural; agricultura familiar, produção orgânica e agroecológica; inovações gerenciais nas cadeias produtivas agropecuárias; comunicação e a busca de um novo olhar sobre a agricultura.

No contexto do Sistema Agropensa, a Embrapa Informática Agropecuária, que tem como missão viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação em tecnologia da informação para agricultura, está fazendo uma reflexão do que está sendo gerado nesta área e das principais tendências nos próximos 20 anos.

Nesta reflexão é importante pensar sobre o papel da Embrapa Informática Agropecuária não apenas no Brasil, mas também na América do Sul e no mundo. A Embrapa participa do Programa Cooperativo para o Desenvolvimento Tecnológico Agroalimentar e Agroindustrial do Cone Sul (Procisur)⁵ com o Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (Inta, Argentina), Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (Inia, Chile e Uruguay), Instituto Paraguai de Tecnología Agraria (IPTA, Paraguai) e Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura (IICA). A Embrapa Informática Agropecuária participa do grupo de tecnologia da informação aplicada à agricultura, no âmbito da Plataforma de Tecnologias Emergentes do Procisur, e vem discutindo com as instituições participantes sobre os desafios e oportunidades de desenvolvimento deste tema na área de pesquisa agropecuária dos países envolvidos na plataforma.

Nos últimos anos, na era da globalização e da comunicação, uma rápida transformação tem acontecido na área de TIC e uma terceira plataforma define uma nova TI. Enquanto a primeira plataforma era baseada no *mainframe* para atender milhões de usuários e a segunda plataforma era baseada na internet e em redes locais, numa arquitetura cliente/servidor para atender a centenas de milhões de usuários, a terceira plataforma é motivada por quatro importantes tendências para atender a bilhões de usuários: computação em nuvem, mobilidade, *big data*/análise preditiva e plataformas sociais.

A tecnologia de *big data* inclui o processamento de alto desempenho e armazenamento distribuído. Em função desta tecnologia é possível armazenar e processar imensos volumes de dados resultantes, por exemplo, das varreduras de satélites, produzindo mapas de alta resolução e alta frequência de imageamento, em que podem ser analisados dados de recursos naturais, uso da terra e mudanças climáticas no ambiente.

Uma vez que se tenham armazenadas as características dos solos, dos recursos hídricos, dos microclimas, dos ecossistemas, dos organismos, e seus genomas e proteomas, pode-se entender os processos globais que envolvem a natureza e a agricultura e suas influências na biosfera, incluindo os efeitos antrópicos. Através do uso de técnicas de inteligência artificial, modelagem e simulação e otimização de sistemas complexos, será possível agregar o conhecimento de todos os elos das cadeias produtivas para permitir entender o seu comportamento mediante a modelagem das variáveis biofísicas, econômicas, sociais e ambientais envolvidas em sua logística. Aplicações nesta área vão desde a simulação de crescimento de plantas, simulação de experimentos, predição da produção até o armazenamento e a distribuição otimizada dos produtos e a logística reversa envolvendo o monitoramento e o descarte controlado de resíduos.

Atualmente, fala-se em Internet das Coisas (Internet of Things) (LEE et al., 2013) considerando o aumento da oferta de dispositivos conectados à internet podendo ser tanto móveis como fixos,

⁵ Disponível em: <www.procisur.org.uy>.

como, por exemplo, refrigeradores, equipamentos de transporte, controladores de estoque de silos e armazéns. Aliando a conectividade dos equipamentos à internet com a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID, na sigla em inglês), em que cada produto vegetal ou animal pode ser etiquetado, vislumbra-se aplicações de controle de estoque e distribuição controlada de produtos. Além disso, será possível acompanhar os produtos nas diversas etapas da cadeia de distribuição e, no caso de algum tipo de contaminação, eles poderão ser rastreados para verificar sua origem, contribuindo desta forma para a segurança alimentar, nutrição e saúde.

Na área da gestão da informação e do conhecimento um tópico, importante é garantir a disponibilidade, o acesso aberto e a interoperabilidade dos dados relacionados com a agricultura, bem como sua geoespacialização.

Em um futuro próximo, espera-se poder incorporar na agricultura algumas aplicações de realidade aumentada, como os aplicativos para smartphones existentes na Austrália, que permitem ao cliente fotografar uma imagem na embalagem de um lanche e disparar uma aplicação de realidade aumentada. O aplicativo transforma dados do sistema de gestão da cadeia de suprimentos do lanche, como fazendas, fornecedores, ingredientes, horário, data, meteorologia, localização geográfica e outras variáveis, em uma animação que envolve rostos e vozes dos fazendeiros reais.

Plataformas sociais são outra tendência para tornar os softwares mais colaborativos. Assim, as pessoas trabalharão em softwares que vão suportar relacionamentos profissionais, interpessoais e transacionais em um mesmo lugar como se fosse uma rede social misturada, gerando novos modelos de produção e financiamento para as empresas, como, por exemplo, *crowdsourcing* e *crowdfunding*.

Além das áreas de *big data*, análise preditiva e plataformas sociais, a mobilidade e a computação em nuvem são alguns dos pilares para inovação nas empresas. O novo perfil econômico da sociedade brasileira e a sua relação com a tecnologia, com destaque para os dispositivos móveis, estimula um modelo de data center melhor preparado para atender à tendência de crescimento de fluxo de informações, buscando eficiência, dinamismo, alta disponibilidade e baixo custo. Com a popularização dos smartphones, tablets e, mais recentemente, com a chegada do conceito BYOD (Bring Your Own Device), a mobilidade se consolida como um dos pilares fundamentais sobre os quais esta reestruturação está baseada. Outra tendência é a computação em nuvem, caminhando para uma segunda geração de nuvem, mais avançada, em que é possível ter uma nuvem privada além da nuvem pública ou um modelo híbrido.

No nível molecular, a biotecnologia também possui linhas de pesquisa que muito se beneficiam dos avanços em TIC. A genômica, e também as demais ciências ômicas (proteômica, metabólômica e transcriptômica), penetram em diferentes dimensões nos organismos e populações gerando massas de informações inimagináveis. Com a ajuda da bioinformática e da biologia computacional, é possível a análise, o processamento e o desenvolvimento de aplicações relacionadas à prospecção de dados genômicos e da estrutura das proteínas e seus efeitos colaterais em drogas farmacêuticas. Hoje já se fala em biossimulação e biopredição, isto é, a simulação e a predição no mundo biológico, no mundo vivo, na medicina e na agricultura, similar ao que acontece na indústria automobilística e aeronáutica, em que os engenheiros desenvolvem grande parte de seus produtos por computador, simulando as partes mecânicas, evitando protótipos defeituosos e minimizando tempo e custo. Nos dias atuais, já se tem exemplos da integração de nanotecnologia, jogos, *crowdsourcing* e dispositivos conectados, emergindo como componentes

importantes na área de bioinformática. Por exemplo, o jogo chamado Dizeez visa solucionar questões relacionadas à prospecção de dados genômicos e da estrutura das proteínas, conforme publicado pela *Communications of ACM*, de maio de 2014.

No âmbito das cadeias produtivas do agronegócio, o conhecimento nas suas diversas etapas, aliado à nanotecnologia, à robótica e à agricultura e pecuária de precisão representadas por nanossensores, nanorobôs, veículos aéreos não tripulados (vant) e máquinas agrícolas, tornará possível o desenvolvimento de aplicações inteligentes capazes de capturar dados dos nanossensores e vant e criar aplicações de mapeamento sofisticadas para a tomada de decisão. Estas aplicações poderão ser adaptadas às máquinas agrícolas, vant e aos nanorobôs, para que atuem de acordo com a necessidade da cultura e em função do entendimento das suas necessidades, em ações de irrigação, aplicação de fertilizantes e pesticidas e realização de colheita de forma inteligente.

Dada a complexidade e heterogeneidade das tecnologias emergentes como as TIC, a nanotecnologia, a biotecnologia, a robótica e a agricultura de precisão, e suas aplicações na agroindústria, é natural que ainda não se tenha uma perspectiva sistemática, integrada e interdisciplinar entre elas, como apontado no relatório NBIC (ROCO; BAINBRIDGE, 2002).

Em um exemplo mais direto apontado pelo relatório NBIC (ROCO; BAINBRIDGE, 2002), a agricultura poderia aumentar grandemente sua produtividade e reduzir o desperdício com o uso de redes de sensores baratos que monitorariam constantemente as condições e necessidades das plantas, animais e insumos de uma fazenda. O relatório vai além, apontando que os desenvolvimentos recentes em abordagens sistêmicas, matemática e computação permitirão, pela primeira vez, entender o mundo natural, a sociedade humana e a pesquisa científica como sistemas complexos, hierárquicos e fortemente acoplados. Estão previstos impactos na eficiência do trabalho e aprendizado, melhoria da capacidade cognitiva e sensorial individual, mudanças drásticas na medicina, melhora na criatividade individual e coletiva, formas de comunicação altamente eficientes, incluindo comunicação cérebro-cérebro e interface homem-máquina, entre outros.

Em artigos apresentados em fevereiro de 2008 na edição Especial Robótica da Scientific American Brasil, especialistas afirmam que por volta de 2025 existirão computadores custando US\$ 1 mil com poder de processamento de 100 milhões de instruções por segundo (mip), o equivalente a um cérebro humano, capazes de imitar o raciocínio humano para diversas aplicações práticas. Os mais otimistas afirmam que, em 2055, o computador pessoal terá o poder de processamento de todos os cérebros humanos juntos.

Também na Europa e no Japão, há um crescente interesse na utilização da computação em modelagem e simulação. Dentro do Programa Quadro 7 (UNIÃO EUROPÉIA, 2006), financiado pela Comunidade Europeia, no âmbito do tema tecnologias da informação e comunicação, existem projetos destinados ao progresso conjunto das TIC e ciências biológicas e de estudo do funcionamento do cérebro. No projeto Sistemas Computacionais Auto-Construídos (Self-constructed Computing Systems - SECO Project), a partir de partes mais simples, cujo comportamento se pode determinar, busca-se explicar o surgimento de funções mais complexas; por exemplo, como a mente surge a partir de alguns poucos tipos de neurônios inibidores e excitadores interconectados existentes no neocórtex. A última fronteira - construção de um robô humanóide pensante - está ainda distante. Entretanto, importantes passos já foram dados: os robôs humanóides japoneses já apresentam um alto grau de avanço, mas ainda não apresentam consciência.

O Programa Quadro 7 (UNIÃO EUROPÉIA, 2006) estabeleceu também como desafio a construção de bibliotecas digitais e de sistemas gestores de conhecimento que incorporem algum grau de inteligência e tratamento semântico. A Web Semântica tem sido usada com sucesso nas áreas médica e farmacêutica: a indústria Eli Lilly a tem usado para organizar dados heterogêneos de diferentes fontes, tais como registros de pacientes, estruturas químicas, sequências de ácido desoxirribonucleico (DNA), imagens, processos biológicos e artigos científicos, com o objetivo de priorizar alvos biológicos para descoberta de novas drogas.

O documento *Visões para o Futuro da Nanotecnologia* (SCHMIDT, 2007), organizado pela National Science Foundation e National Institute of Health dos Estados Unidos, apontou o papel crucial da TI tanto na organização da informação de uma biblioteca sobre o mundo nanométrico (Nano Library), quanto no tratamento da informação gerada por nanosensores. A manipulação da matéria no nível de átomos e moléculas, realizada em escala nanométrica, está beneficiando a chamada biologia sintética: o projeto e construção de novas partes, dispositivos e sistemas que não existem no mundo natural, bem como o reprojeto dos sistemas biológicos existentes para executar tarefas específicas.

Em um artigo elaborado pelo ETC Group para o governo canadense (EXTREME GENETIC ENGINEERING, 2009), comenta-se que não existe barreira técnica à síntese de plantas e animais e que isto ocorrerá logo que alguém se disponha a financiar tais projetos. Neste mesmo artigo, um pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (MIT) prevê que os engenheiros biológicos do futuro começarão o trabalho em seus laptops, não nos laboratórios.

Para contemplar estes desafios em escalas antes inimagináveis, um conjunto de ferramentas e tecnologias se tornam necessárias. A síntese da tecnologia da informação e ciência para lidar com grandes volumes de dados de forma colaborativa e multidisciplinar é o que está se denominando *e-science* (BELL et al., 2009). Outra nova área de estudo é a *Data Science*, que se refere ao estudo sistemático, a partir de conhecimento extraído de grandes volumes de dados, para gerar explicações e previsões nas várias áreas do conhecimento, conforme artigo publicado na revista *Communications of the ACM* (Association of Computer Machinery) de dezembro de 2013.

As principais empresas de tecnologia como a Google e a Microsoft vêm concentrando seus esforços na área de *deep-learning*, um campo relativamente novo de pesquisa em inteligência artificial baseado no estudo de redes neurais voltado à criação de produtos que podem entender e aprender a partir de imagens, textos e vídeos. Atividades como o reconhecimento facial em vídeo ou palavras na fala humana, com tradução de voz em tempo real, são alguns dos resultados já alcançados nesta área, conforme descrito em artigo publicado em *Communications of the ACM* (Association of Computer Machinery), em outubro de 2013.

Mirando todos estes novos desafios e para manter sua competitividade no cenário internacional e conquistar novos mercados, os países-membros do Procisur deverão aumentar a eficiência de seus sistemas produtivos em termos de uso de insumos agrícolas, incluindo o provimento de alternativas orgânicas, biológicas ou naturais, além do uso otimizado de água e energia. A essas restrições somam-se questões como a necessidade de preservação dos biomas, os mecanismos de sequestro de carbono, certificação de qualidade dos produtos e rastreabilidade dos alimentos, garantia de bem-estar animal, equilíbrio social, as mudanças climáticas e a intensificação da agricultura na matriz energética mundial por meio dos biocombustíveis. Por ser uma área transversal,

a tecnologia da informação tem o potencial de aplicação em todas essas questões. Quando se fala em ciência, em qualquer que seja a área de conhecimento, depende-se da computação para processar gigantescas massas de dados ou simular novos e complexos fenômenos. Na agricultura brasileira, não seria possível antecipar as mudanças climáticas, realizar previsões meteorológicas, monitorar o desmatamento da floresta amazônica e realizar as pesquisas genéticas se não fossem os avanços alcançados na área de TI.

5 Considerações finais

No âmbito do Procisur, a Embrapa Informática Agropecuária representa a Embrapa no grupo de tecnologia da informação aplicada à agricultura, da Plataforma de Tecnologias Emergentes. Neste capítulo, tendo como perspectiva os novos cenários agrícolas e o desenvolvimento rural sustentável, foi apresentada uma visão geral de como as TIC têm contribuído para as diversas áreas de conhecimento, focando especialmente em suas aplicações na agropecuária.

Também foi mostrada uma análise das tendências de publicações dos principais congressos de TI na agricultura, considerando os congressos do Efitá, da Asabe e da SBIAgro, comparando com a produção científica da Embrapa Informática Agropecuária, para construir um retrato da atuação desta frente aos tópicos cobertos por esses congressos. Ainda no que se refere à Embrapa Informática Agropecuária, outro ponto de destaque foi o mapeamento da sua atuação na área de TIC, nos últimos cinco anos, tendo como base os projetos de pesquisa por ela liderados e executados em parceria com os demais 46 centros de pesquisa da Embrapa. Com relação à Embrapa, foi descrito seu sistema de gestão da pesquisa, por meio das figuras programáticas, e de iniciativas corporativas como os laboratórios multiusuários e unidades mistas de pesquisas, bem como seu Sistema de Inteligência Estratégica Agropensa.

No âmbito da Plataforma de Tecnologias Emergentes, as instituições participantes vêm discutindo sobre os desafios e oportunidades de desenvolvimento das TIC na área de pesquisa agropecuária. Tecnologias como *big data*, análise preditiva e plataformas sociais, a mobilidade e a computação em nuvem são alguns dos pilares para inovação nas empresas, além de modelos computacionais como técnicas de geoprocessamento, modelos de inteligência artificial, software para análise de dados, análise estatística de dados, modelos de simulação, integração de base de dados e serviços web que permitem aos cientistas construir e simular modelos de fenômenos complexos na agricultura.

Neste livro estão sendo abordadas as perspectivas de TIC para incorporação destas tecnologias avançadas no agronegócio, em áreas como biotecnologia, recursos naturais e mudanças climáticas, automação e agricultura de precisão, assim como uma visão de transferência destas tecnologias. Desta forma, nos capítulos que se seguem, espera-se provocar uma reflexão dos principais desafios e oportunidades do uso das TIC na pesquisa agropecuária, em todos os elos da cadeia produtiva e sua inserção no meio rural visando à geração de inovação na agricultura nos países do cone Sul.

6 Referências

- BELL, G.; HEY, T.; SZALAY, A. Beyond the data deluge. *Science*, Washington, D.C, v. 323. n. 5919, p. 1297-1298. Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/323/5919/1297>>. Acesso em: 2 out. 2014. DOI: 10.1126/science.1170411
- EMBRAPA. **Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira: síntese**. Brasília, DF, 2014. 53 p.
- ESTADOS UNIDOS. President's Information Technology Advisory Committee. **Computational Science: Ensuring America's Competitiveness**. Arlington: National Coordination Office for Information Technology Research Development, 2005. 104 p. Report to the President.
- EXTREME genetic engineering: an introduction to synthetic Biology. [S.I.]: ETC Group, 2007. 72 p.
- LEE, M.; HWANG, J.; YOE, H. Agricultural Production System Based on IoT. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING, 16., 2013, Sydney. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE, 2013, p. 833-837. DOI: 10.1109/CSE.2013.126. Conference Publishing Series.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S.; SOUZA, K. X. S. de; LEITE, M. A. de A.; MOURA, M. F.; SARAIVA, A. M. Tendências e perspectivas da tecnologia da informação aplicada à agricultura. In: MENDES, C. I. C.; OLIVEIRA, D. R. M. dos S.; SANTOS, A. R. dos. (Ed.). **Estudo do mercado brasileiro de software para o agronegócio**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. Cap. 6. p. 147-168.
- MOURA, M. F. **Contribuições para a construção de taxonomias de tópicos em domínios restritos utilizando aprendizado estatístico, 2009**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, USP, São Carlos, SP.
- ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S. (Ed). **Coverging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science**. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic, 2002. 482 p. il.
- RODRIGUES, L. A.; LACERDA, M. G. de; VAZ, G. J.; PIEROZZI JÚNIOR, I. Arquitetura da informação dos sites da Agropedia brasilis. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 9., 2013. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 51-54.
- SCHMIDT, K. **Nanofrontiers: visions for the future of nanotechnology**. Washington, D. C.: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2007. 51 p. il. Project on Emerging Technologies.
- TING, K.C.; ABDELZAHER, T.; ALLEYNE, A.; RODRIGUEZ L. Information technology and agriculture: global challenges and opportunities. **The Bridge**, Washington, D.C., v. 41, n. 3, p. 6-13, 2011.
- UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. **FP7: As respostas do amanhã começam hoje**. Bruxelas: Comunidades Europeias, 2006. 32 p. (Investigação comunitária). Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/fp7-factsheets_pt.pdf>. Acesso em: 22 out. 2014.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. **Laboratório de Automação Agrícola: apresentação**. São Paulo, [2014]. Disponível em: <http://www.pcs.usp.br/~laa/html/pagina.php?p=apresentacao>. Acesso em: 22 set. 2014.
- ZAMBALDE, A. L.; SCHNEIDER, H.; LOPES, M. A.; PAGLIS, C. M.; BAMBINI, M. D. **Tecnologia da informação no agronegócio**. In: MENDES, C. I. C.; OLIVEIRA, D. R. M. dos S.; SANTOS, A. R. dos. (Ed.). **Estudo do mercado brasileiro de software para o agronegócio**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. Cap. 2. p. 39-72.