

## TIC em agrometeorologia e mudanças climáticas

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro  
Aryeverton Fortes de Oliveira  
Alan Massaru Nakai

### 1 Introdução

A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições climáticas. Além de influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas, o clima afeta também a relação das plantas com insetos e microrganismos, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009). Muitas práticas agrícolas de campo, como o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação, as pulverizações, a colheita, dentre outras, dependem também de condições específicas de tempo e de umidade no solo, para que possam ser realizadas de forma adequada (PEREIRA et al., 2002).

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais, com as mudanças climáticas e com a sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, inclusive a partir do melhor entendimento das relações entre a agricultura e o clima. Por isso, instituições governamentais, ligadas à agricultura e ao meio ambiente, têm buscado desenvolver ferramentas de informações agrometeorológicas que auxiliem no planejamento e no processo de tomada de decisão na produção agrícola, buscando maior produtividade, maior resiliência dos sistemas produtivos e menor impacto ambiental (SIVAKUMAR; MOTHA, 2007).

Informações agrometeorológicas são aquelas que consideram os dados meteorológicos associados às necessidades dos cultivos e dos rebanhos, com o objetivo de estimar os respectivos impactos sobre estes, bem como sobre as práticas agrícolas. Por isso, os serviços de meteorologia e agrometeorologia têm muito a contribuir com a economia de seus respectivos países, por meio da divulgação e do uso eficiente de tais informações (RIJKS; BARADAS, 2000). De acordo com Sentelhas e Monteiro (2009), as informações agrometeorológicas podem ser classificadas em três graus ou níveis. As informações são de primeiro grau, quando são dados meteorológicos puros ou derivados de cálculos simples, como o balanço hídrico. De segundo grau, quando são produzidas a partir de dados meteorológicos e parâmetros específicos da cultura, indicando o estado ou a resposta da cultura à condição meteorológica observada. De terceiro grau quando indicam, além do estado ou resposta da cultura, a ação de manejo correspondente.

Nesse contexto, os recursos da área de tecnologia da informação (TI) vêm ampliando continuamente as possibilidades do monitoramento meteorológico, melhorando aplicações para transmis-

são, armazenamento e análise de dados, assim como para a produção e difusão de informações de forma didática e acessível.

## 2 Monitoramento agrometeorológico

O monitoramento agrometeorológico consiste na coleta sistemática e contínua de dados meteorológicos para a produção de informações de interesse ou uso agrícola. Sistemas que integram de forma coordenada e simultânea as funções de coleta, transmissão e processamento de dados podem fornecer informações agrometeorológicas atualizadas em tempo quase real.

Existem várias práticas agrícolas que podem se beneficiar de informações agrometeorológicas, destacando-se: o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação, o controle fitossanitário, a colheita etc. Estimativas de produtividade, de qualidade da produção e de favorabilidade à ocorrência de doenças também necessitam de dados meteorológicos. Por isso, informações atualizadas são essenciais para o processo de tomada de decisão, ou seja, para a conversão das informações disponíveis em uma determinada ação visando maximizar a produtividade ou melhorar o aproveitamento de insumos. Decisões corretas representam maior eficiência e eficácia do sistema produtivo (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

Atualmente, o Brasil conta com diversos sistemas de informações agrometeorológicas em operação, disponibilizando, basicamente, as informações de primeiro grau e algumas de segundo grau. Os mais conhecidos são o Agritempo<sup>1</sup>, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Sisdagro<sup>2</sup>, do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), ambos de abrangência nacional, o Ciiagro<sup>3</sup>, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no Estado de São Paulo, o Sistema de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar)<sup>4</sup>, no Estado do Paraná. Existem, ainda, outros exemplos, como o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram)<sup>5</sup> e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos<sup>6</sup>. Nestes sistemas, as informações contemplam diversos aspectos dos efeitos do tempo e clima na agricultura que auxiliam na previsão de safra, na definição das melhores épocas de plantio, na indicação das condições para manejo do solo, para irrigação e controle fitossanitário.

Uma das características em comum desses sistemas é que seu principal veículo de distribuição de informações são sítios na rede mundial de computadores. Desde o seu surgimento até o presente, a internet evoluiu rapidamente para se tornar um dos principais meios de comunicação do mundo contemporâneo. Várias vantagens comparativas levaram a isso como, por exemplo, os baixos custos, a interatividade, a possibilidade de integração de recursos audiovisuais, recursos gráficos, aplicativos e, em muitos países e regiões, ampla cobertura. No Brasil, no entanto, a internet ainda apresenta disponibilidade muito restrita para o grande público, tanto pela falta

de cobertura nos locais mais distantes dos grandes centros urbanos quanto pela dificuldade de acesso pelas classes mais baixas. É o que indica a pesquisa TIC Domicílios, realizada entre 2013 e 2014 pelo Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL, 2014). De acordo com a pesquisa, nas áreas urbanas, a proporção de lares com acesso à internet é de 48%, enquanto que nas áreas rurais é de 15%.

Outra característica em comum dos sistemas de informações agrometeorológicas citados é o uso da TI no gerenciamento de bancos de dados, no processamento de dados e na produção da informação, seja na forma de gráficos, mapas ou textos. Atualmente, não é mais possível dissociar os serviços de monitoramento agrometeorológico do uso intensivo de recursos de TI.

Dentre os sistemas citados, o Agritempo (EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 2014) não possui uma rede própria de estações meteorológicas de monitoramento. Na realidade, ele integra, em uma única base, os dados das redes de estações meteorológicas de diversas instituições diferentes, nacionais e estaduais (Inmet, CPTEC, ANA, Cemig, entre outras). Com isso, o sistema consegue compor uma base de dados com maior densidade de pontos de observação e com abrangência nacional. Operando desde 2003, o sistema foi atualizado em 2014 para uma versão mais interativa, com mais funcionalidades e de acordo com o conceito de Web 2.0 e com a opção de acesso por meio de dispositivos móveis. Algumas das tecnologias envolvidas no desenvolvimento da primeira versão do sistema Agritempo foram mantidas, como o Sistema Gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL<sup>7</sup> e a linguagem Java. Por outro lado, outras como Ajax<sup>8</sup> e o framework DojoToolkit<sup>9</sup> foram incorporadas à nova versão. O uso da tecnologia Ajax permitiu tornar as páginas na internet mais interativas, utilizando requisições assíncronas para recuperação de informações. Já o framework DojoToolkit foi utilizado para facilitar o desenvolvimento de interfaces para páginas de internet multiplataforma.

As principais funcionalidades do sistema Agritempo estão agrupadas em “Monitoramento” e “Previsão”. Na categoria de Monitoramento, diversas variáveis medidas e calculadas podem ser visualizadas de forma espacializada, como os mapas nacionais apresentados na Figura 1. As mesmas variáveis podem também ser visualizadas em mapas estaduais, com maior detalhamento. As variáveis espacializadas medidas e calculadas são: estiagem, estiagem agrícola, disponibilidade de água no solo, necessidade de reposição por chuva, precipitação, evapotranspiração, temperatura mínima, máxima e média.

Na categoria de “Previsão”, as variáveis e indicadores derivados são obtidos a partir de modelos meteorológicos de previsão do tempo, com condições previstas com até dois dias de antecedência (48h), como ilustrado na Figura 2. Dessa forma, a partir de uma consulta ao sistema, o usuário pode decidir e planejar a execução ou não de determinadas atividades agrícolas para os próximos dois dias. As principais variáveis e informações derivadas da Previsão do Tempo disponíveis para consulta no sistema Agritempo são: condições para tratamento fitossanitário, necessidade de irrigação, condições para manejo do solo, condições para colheita, precipitação e temperatura mínima, máxima e média.

<sup>7</sup> Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>.

<sup>8</sup> Disponível em: <<http://www.w3schools.com/ajax/>>.

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://dojotoolkit.org/>>.

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>.

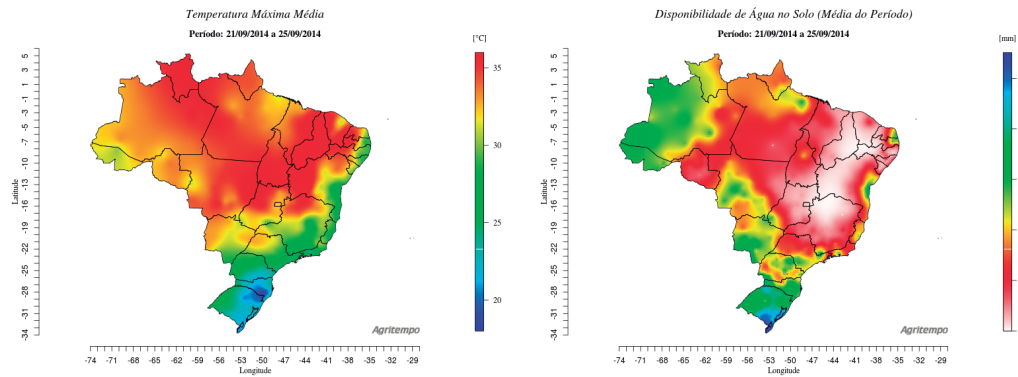
<sup>2</sup> Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br>>.

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>.

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://www.iapar.br>>.

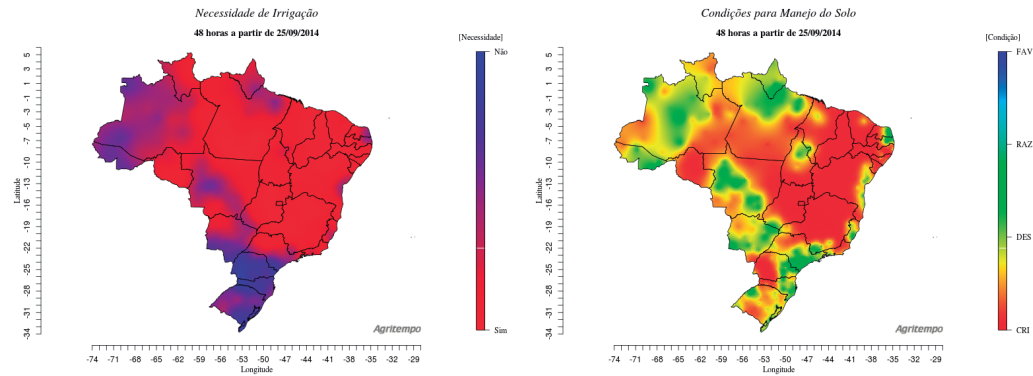
<sup>5</sup> Disponível em: <<http://ciram.epagri.sc.gov.br>>.

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.funceme.br>>.



**Figura 1.** Dados médios de temperatura máxima e disponibilidade de água no solo nos cinco dias anteriores à consulta em 26/09/2014.

Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2014).



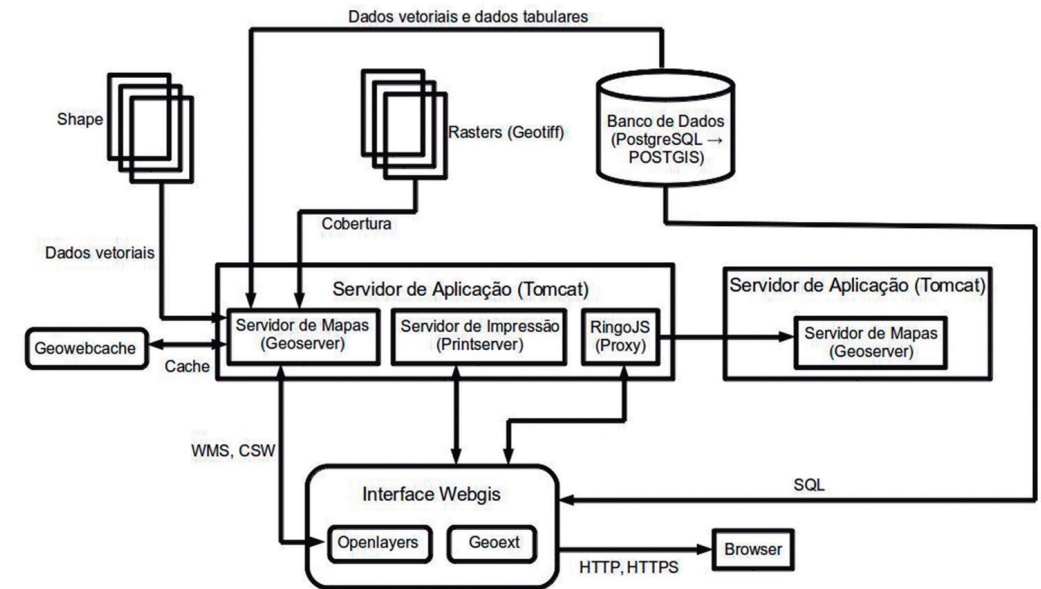
**Figura 2.** Estimativas de necessidade de irrigação e condições para manejo do solo estimados a partir de dados de previsão do tempo.

Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2014).

Além dessas funcionalidades, o sistema também conta com um módulo de visualização de informações geográficas (Webgis), que permite melhorar a produção de mapas temáticos, com variáveis selecionáveis. Essa interface foi desenvolvida utilizando as bibliotecas javascript OpenLayers<sup>10</sup> e Geoext<sup>11</sup>, que permitem aos usuários interagirem com os dados georreferenciados disponíveis na aplicação, possibilitando a solicitação de imagens de mapas para a aplicação servidora de Mapas (Geoserver), que implementa os serviços Web Map Service (WMS) e Catalogue Service for Web (CSW), conforme diagrama da Figura 3. Assim, cada usuário conta com a possibilidade de gerar mapas com a sua variável de interesse, dentre as seguintes opções: condições para colheita, estiagem agrícola, estiagem nos últimos cinco dias, evapotranspiração, condições para tratamento fitossanitário, previsão de geadas, necessidade de irrigação, condições para manejo do solo, disponibilidade de água no solo, precipitação acumulada semanal,

<sup>10</sup> Disponível em: <<http://openlayers.org/>>.

<sup>11</sup> Disponível em: <<http://geoext.org/>>.



**Figura 3.** Diagrama de arquitetura do módulo webgis do sistema Agritempo.

Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2014).

necessidade de reposição por chuvas, temperaturas máximas, mínimas e médias, localização das estações meteorológicas.

Ao clicar na variável, o servidor de mapas Geoserver é responsável por responder as requisições realizadas (WMS, CSW) e buscar nos repositórios os dados georreferenciados, sejam eles vetoriais ou matriciais. As aplicações componentes são executadas no servidor de aplicações Java, Apache Tomcat<sup>12</sup>.

Apesar da importância destes sistemas, ainda existe uma carência muito grande de ferramentas mais específicas que considerem as particularidades e necessidades de cada cultura e as condições locais, e que auxiliem os agricultores mais efetivamente em suas tomadas de decisão (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

Atualmente, uma das maiores limitações à produção de estimativas e inferências mais precisas sobre as culturas é a falta de dados precisos em alta resolução espacial. Uma das carências, nesse sentido, ocorre com os solos agrícolas. O território brasileiro é muito extenso e apresenta grande variabilidade nas propriedades físicas dos perfis de solos. Essas informações são fundamentais para a determinação do potencial de armazenamento de água desses solos e, conseqüentemente, da disponibilidade de água para cultivos, pastagens e florestas. É preciso, portanto, formar uma base de dados de solos com densidade amostral suficiente que permita refinar os métodos de espacialização e elaboração de mapas situacionais em escala mais detalhada ou, ainda, que permita consultas mais específicas e pontuais com menor incerteza.

Outra limitação relevante é a carência de meios adequados que permitam modelar as condições meteorológicas na meso-escala, ou seja, nas dimensões em que a topografia condiciona o tempo

<sup>12</sup> Disponível em: <<http://tomcat.apache.org/>>.



pelas características do relevo local (exposição solar, declividade e configuração do terreno). O efeito da topografia pode ser pouco ou muito intenso dependendo das características do relevo local, condicionando a radiação solar incidente, a temperatura, a umidade, o vento e até a chuva, em algumas situações, desviando essas variáveis da média predominante do seu entorno.

Novamente, o desenvolvimento de tecnologias e sistemas para superar esses problemas passa, necessariamente, pelo uso da tecnologia da informação. No primeiro caso, aplicada ao gerenciamento e integração de bancos de dados e, no segundo caso, aplicada à implementação de ferramentas que facilitem o desenvolvimento, avaliação e uso de modelos agroambientais que, muitas vezes, requerem grande capacidade de cálculo e, também, integração a bancos de dados.

### 3 Análise de riscos climáticos na agricultura

O risco climático pode ser definido como o possível impacto negativo que um evento ou uma condição meteorológica pode causar a um bem, sociedade ou ecossistema. Uma vez que a agricultura é a atividade humana mais dependente das condições climáticas, o agronegócio é o setor mais frequentemente afetado pelos riscos climáticos.

A variabilidade natural das condições meteorológicas, caracterizadas por precipitação, temperatura, radiação solar, umidade e vento, podem causar diferentes eventos como secas, tempestades, ondas de calor, ondas de frio e subida do nível do mar. Estes eventos, por sua vez, podem gerar diversos impactos em plantações e rebanhos, como a falta ou o excesso de água, surtos de pragas e doenças, inundações de terras produtivas, incêndios de florestas naturais ou plantadas, entre outros, todos resultando em redução da produtividade agrícola (MARENCO, 2011).

O risco climático pode ser analisado através do produto da probabilidade e severidade do impacto no local em estudo. No entanto, muitas vezes, é difícil estimar o impacto preciso de uma determinada condição climática na agricultura. Por isso, o risco agroclimático tem sido tratado no Brasil mais comumente na forma de frequência de ocorrência. Nesse caso, qualquer condição particular cuja ocorrência resulte em impactos deletérios e que possa ser objetivamente caracterizada, pode ser incluída em uma estratégia de análise do risco.

O cálculo da probabilidade de ocorrência dessas condições é normalmente baseado na análise de séries temporais das variáveis envolvidas. Assim, estes estudos dependem de séries de dados meteorológicos medidos por um período longo o suficiente para que seja representativo da variabilidade natural das condições locais analisadas. As recomendações técnicas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) definem Normais Climatológicas como valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1989). No entanto nem todas as localidades ou regiões agrícolas estudadas possuem séries longas o suficiente. Por isso, na prática, períodos mais curtos têm sido aproveitados em estudos de zoneamento. Ainda de acordo com a OMM, no caso de estações para as quais a mais recente Normal Climatológica não esteja disponível, seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos, seja por outra razão qualquer, Normais Provisórias podem ser calculadas (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1989). Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

As condições de risco dependem da cultura considerada e de sua fase de desenvolvimento, sendo influenciadas pelo solo e pelo manejo adotado. No Brasil, o suprimento hídrico para culturas agrícolas, inclusive pastagens, florestas e pomares, é proveniente quase que exclusivamente da chuva. Estima-se que cerca de 5% das áreas agrícolas nacionais sejam irrigadas (PAZ et al., 2000). Portanto, nas áreas não irrigadas, as culturas encontram-se sujeitas às grandes variações naturais da chuva, tanto em quantidade como em distribuição, com meses ou anos de maior ou menor oferta. Isto faz com que este seja um dos principais fatores de risco para a agricultura no Brasil. Outro fator de risco são as temperaturas extremas que, quando muito baixas ou muito altas, podem provocar estresse fisiológico ou danos diretos em plantas e animais resultando em redução de produtividade. Danos diretos provocados por vento muito intenso e granizo também são um fator de risco, mas de ocorrência muito mais localizada e esporádica.

Devido aos vários fatores envolvidos na definição de uma condição de risco agrícola e ao grande volume de dados requeridos, os procedimentos de cálculo para áreas extensas demandam considerável capacidade de processamento e armazenamento de dados, e requerem software ou sistemas computacionais apropriados.

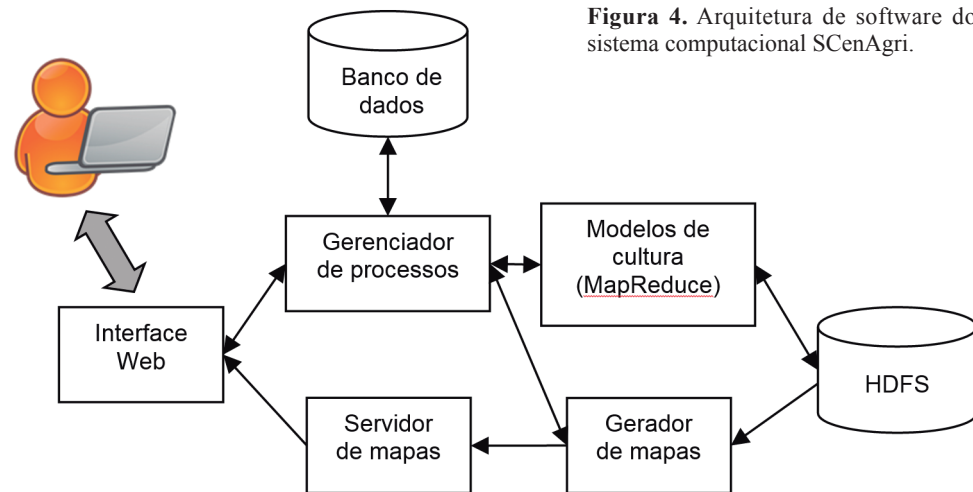
Nesse contexto, o Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri) é um sistema computacional que foi desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária para suprir essa necessidade. O SCenAgri provê computação de alto desempenho para simular o efeito das condições climáticas na agricultura brasileira, utilizando modelos de cultura, bancos de dados climáticos e de solos. Um dos modelos, atualmente em uso, calcula o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (Isna) da cultura a partir das séries históricas do banco de dados meteorológicos, produzindo resultados de frequência de ocorrência de anos versus datas de plantio acima e abaixo de valores de referência relacionados ao risco de perda. O Isna pode ser diretamente relacionado a produtividade da cultura através de funções de redução de produtividade (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Dessa forma, é possível mapear as áreas de acordo com o risco climático estimado para a cultura, em cada data de plantio. O Simulador permite que seus usuários simulem cenários agrícolas atuais, baseados nas séries de dados climáticos observados do passado até o presente, ou mesmo, cenários futuros, utilizando dados estimados de diversos modelos de projeções climáticas regionalizadas.

Este sistema opera em uma grade de computadores composta por dezenas de máquinas, e utiliza o software estatístico R<sup>13</sup> e a tecnologia Hadoop/MapReduce<sup>14</sup> para distribuir a execução das simulações entre os computadores da grade, em paralelo. Entre os vários recursos do Hadoop, dois são empregados no SCenAgri: a implementação MapReduce e o Sistema de Arquivos Distribuídos Hadoop (HDFS) (BORTHAKUR, 2007; DEAN; GHEMAWAT, 2008). MapReduce é um modelo de programação, originalmente proposto pelo Google, para processamento e geração de grandes quantidades de dados. Neste modelo, os usuários especificam o cálculo em termos de dois tipos de tarefas: mapeadores e redutores. Os mapeadores são responsáveis por executar a computação em frações de dados de entrada e geração de resultados intermediários. Os resultados intermediários são consolidados pelo redutor, que gera o resultado final. Uma camada de software subjacente que implementa o modelo de programação paraleliza

<sup>13</sup> Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>.

<sup>14</sup> Disponível em: <[http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred\\_tutorial.html](http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred_tutorial.html)>.

automaticamente o cálculo dos mapeadores através das máquinas do cluster, conforme ilustrado na Figura 4.



**Figura 4.** Arquitetura de software do sistema computacional SCenAgri.

O HDFS é um sistema de distribuição de arquivos implementado pelo Hadoop. O HDFS replica blocos de dados e os distribui em clusters de computadores. A redundância de dados resulta em um armazenamento de dados mais confiável e de alta taxa de transferência, necessário para as operações e volume de dados processados pelo simulador. Além disso, o HDFS é projetado para ser implementado em hardware de baixo custo, ou seja, computadores comuns.

O tratamento de dados, as análises estatísticas necessárias, bem como a geração dos mapas em formato matricial (formato Geotiff) e vetorial (formato Shapefile) são executados utilizando-se o software R. O R é um software livre e muito extensível, que proporciona uma grande variedade de técnicas estatísticas. Entre as suas extensões, R fornece bibliotecas de software para manipulação e produção de dados espacializados, o que é essencial para as análises de dados e a produção dos mapas espacializados gerados pelo SCenAgri.

Por fim, uma interface web flexibiliza o acesso ao sistema por parte do usuário, que pode realizar novas simulações e recuperar resultados obtidos anteriormente. Atualmente, este sistema é restrito para atividades de pesquisa ligadas à programação da Embrapa. Fazendo uso dos dados estimados de modelos de projeções climáticas futuras, este sistema vem atendendo às necessidades de diversos estudos e avaliações de impacto sobre mudanças climáticas na agricultura.

## 4 Zoneamento agroclimático

Dentre as informações agrometeorológicas empregadas na fase de planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático é a de uso mais difundido no Brasil.

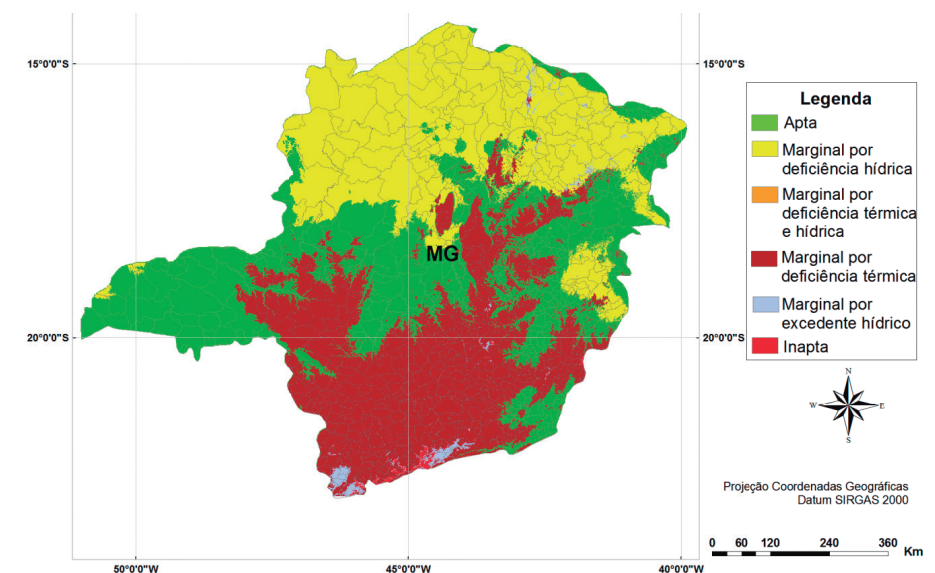
Para se alcançar uma produtividade econômica cada cultura necessita de condições favoráveis durante todo o seu ciclo vegetativo, isto é, exigem determinados limites de temperatura nas várias fases do ciclo, de uma quantidade mínima de água, e de um período seco nas fases de maturação e colheita. Um zoneamento agroclimático consiste na determinação da aptidão climática das

regiões de um país, estado ou município, considerando as exigências agroclimáticas dos cultivos e as informações climáticas do local de interesse. Como o solo é o outro componente do meio físico necessário na agricultura, pode-se considerar os aspectos edáficos de forma conjunta aos aspectos do clima, resultando em um zoneamento edafoclimático ou zoneamento ecológico das culturas. O denominado zoneamento agrícola envolve o zoneamento ecológico e o levantamento das condições socioeconômicas das regiões, para delimitar a vocação agrícola das terras. Uma vez que o clima não pode ser controlado pelo homem para se adequar às necessidades dos cultivos, essa deve ser a primeira informação a ser considerada no planejamento de um empreendimento agrícola (PEREIRA et al., 2002).

O zoneamento agroclimático pode ser empregado para a delimitação de áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas (Figura 5), mas também para o estabelecimento das melhores épocas de semeadura com base em informações probabilísticas (Figura 6), das zonas de maturação de frutos, do risco climático associado aos impactos do déficit hídrico nas culturas, de áreas de escape de doenças, do potencial produtivo e da qualidade dos produtos (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

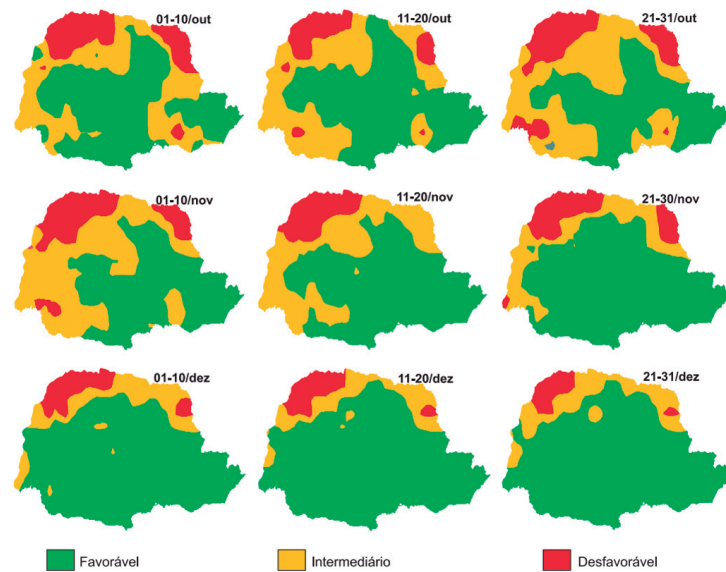
No Brasil, um dos métodos de zoneamento mais difundido é o baseado na quantificação de riscos climáticos. Esse zoneamento consiste na espacialização das informações de risco, baseado em análises de frequência que retornam a probabilidade de ocorrência de condições específicas. Essas análises de frequência consideram séries de dados meteorológicos medidos por um período longo o suficiente para que seja representativo da variabilidade natural das condições locais analisadas.

Atualmente, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa) do Brasil utiliza o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) como um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O estudo é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos



**Figura 5.** Zoneamento agroclimático para o cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) no Estado de Minas Gerais, considerando necessidades hídricas e térmicas da cultura.

Fonte: Yamada (2011).



**Figura 6.** Classificação de épocas de semeadura em relação ao risco hídrico à cultura da soja no estado do Paraná, em nove épocas de semeadura, para cultivar precoce (120 dias) e solo de média retenção de água (CAD= 50 mm).

Fonte: Farias et al. (2001).

relacionados a perdas agrícolas decorrentes de eventos climáticos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. Para fazer jus a programas de seguro agrícola e à subvenção federal do seguro rural, o produtor deve observar as recomendações desse pacote tecnológico. Além disso, alguns agentes financeiros condicionam a concessão do crédito rural ao uso do zoneamento.

No estudo do Zarc são analisados os parâmetros de clima, solo e de ciclos de cultivares para, no final, ser determinada a relação de municípios indicados ao plantio de determinadas culturas, com seus respectivos calendários ou épocas de plantio. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático foi usado pela primeira vez na safra de 1996 e é publicado na forma de portarias, no Diário Oficial da União e no site do ministério. Atualmente, os estudos de zoneamentos agrícolas de risco climático contemplam mais de 40 culturas, sendo 15 de ciclo anual e 24 de ciclo permanente, além do zoneamento para o consórcio de milho com braquiária, alcançando 24 estados brasileiros (BRASIL, 2014).

Os passos para a elaboração do zoneamento agroclimático de uma cultura envolvem a definição dos objetivos, a caracterização das exigências climáticas das culturas, a abrangência do estudo, o levantamento dos dados climáticos da região estudada e, finalmente, o processamento dos dados e produção dos resultados. A partir dos dois primeiros passos, determina-se os procedimentos de cálculo e os dados que serão necessários e, considerando a abrangência do estudo, já é possível estimar o volume aproximado de dados a serem processados.

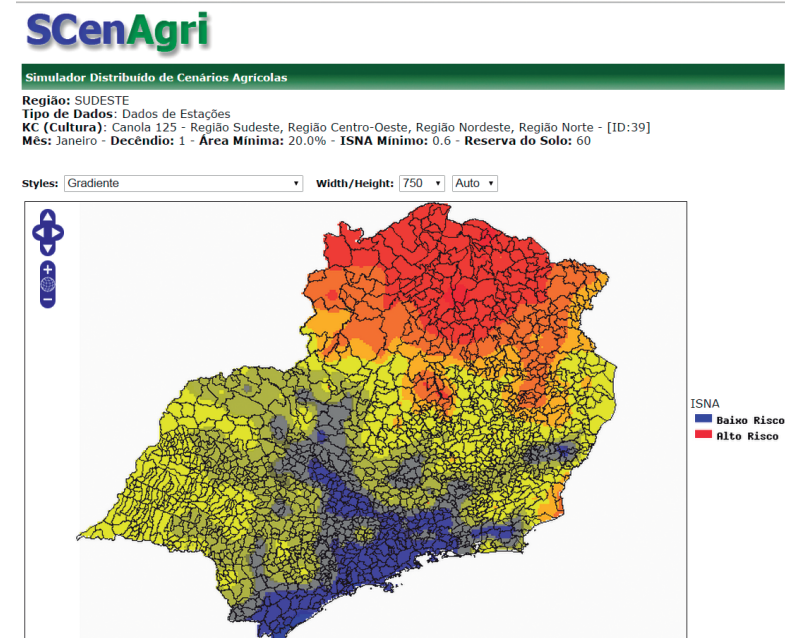
A evolução da qualidade dos estudos de zoneamento nas últimas duas décadas está relacionada não apenas aos aprimoramentos metodológicos em si mas, principalmente, com o aumento das capacidades computacionais e de processamento de dados - maior número de estações, regiões maiores, maior resolução espacial. Dessa forma, a evolução do zoneamento agrícola no Brasil

sempre esteve relacionada e se beneficiou diretamente da evolução dos recursos das tecnologias de informação e comunicação disponíveis.

Uma ferramenta de TI que merece destaque e se tornou comum nos últimos anos são os sistemas de informações geográficas (SIG), cada vez mais usados para a distribuição, processamento, análise, modelagem de dados espaciais, sendo aplicados em diversas áreas. Na elaboração de zoneamentos agroclimáticos, em particular, têm sido útil pois muitos softwares dessa classe de sistemas podem executar procedimentos diversos a partir de dados básicos e gerar informações georreferenciadas na definição de áreas propícias ao cultivo de determinadas culturas (YAMADA, 2011).

Entre as análises espaciais do SIG é possível calcular a regressão por meio da interpolação dos dados de probabilidades de ocorrência da variável climática em questão para todos os outros pontos onde não há estações meteorológicas usando-se as relações existentes entre a variável em questão, a latitude, a longitude, e a altitude (por ex. imagens SRTM como modelos digitais de elevação do terreno) para cada um dos pixels existentes no mapa, obtendo-se assim valores estimados para todas as localidades da região representada com informações a respeito do comportamento espacial da variável (ASTOLPHO, 2003; CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

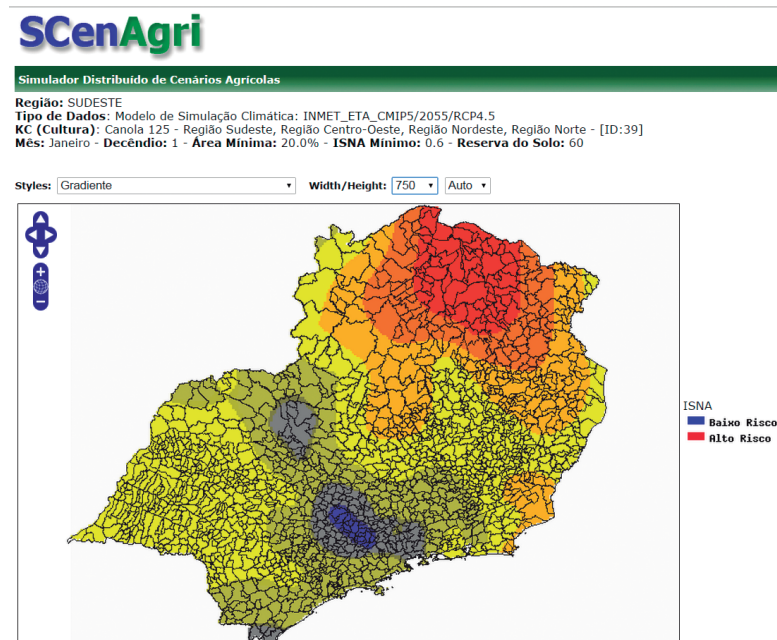
No âmbito dos assuntos relativos a zoneamento, um dos recursos disponibilizados pelo Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri), já descrito no tópico Análise de Risco, é a geração de mapas com dados espacializados a partir dos resultados da análise de risco para deficiência hídrica. Dessa forma, é possível identificar os municípios de alto e baixo risco quanto ao suprimento hídrico, para datas de plantio a intervalos decendiais, seguindo os mesmos critérios atualmente adotados na metodologia do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) (Figura 7).



**Figura 7.** Zoneamento de risco por deficiência hídrica para a cultura da canola para o período de dados 1961-1990, gerado pelo Sistema SCenaAgri/Embrapa, considerando ciclo médio de 125 dias, CAD de 60 mm, e plantio no primeiro decêndio de janeiro.



O SCenAgri foi criado para permitir a vinculação de conjuntos de dados históricos ou de projeções futuras - como as geradas pelos modelos de circulação geral da atmosfera - ao próprio modelo do Zarc e de outros modelos semi-empíricos ou determinísticos para a simulação de cenários agrícolas futuros. Isto tem permitido, por meio dos resultados tabulares e espaciais do SCenAgri, avaliar os possíveis impactos que as mudanças climáticas terão sobre o Zarc e sobre as culturas agrícolas em geral (Figura 8).



**Figura 8.** Zoneamento de risco por deficiência hídrica para a cultura da canola para projeções futuras 2041-2070 (modelo ETA, inicialização HadGen2ES RCP 4,5), gerado pelo Sistema SCenAgri/Embrapa, considerando ciclo médio de 125 dias, CAD de 60 mm, e plantio no primeiro decênio de janeiro.

## 5 Modelagem e simulação agroambiental

A modelagem é um método eficiente para representar a realidade e apoiar a tomada de decisão racional, sendo assim fundamental para a ação humana. Os sistemas Agritempo e SCenAgri, já mencionados, são exemplos de sistemas de produção de informações agroambientais que fazem uso intensivo da modelagem para a análise de dados e produção de informações.

A agropecuária se organiza em sistemas complexos, com realidades muito particulares e heterogêneas determinando seu formato. À medida que os principais interesses da agricultura passam a incluir, além dos aumentos de produtividade e de riqueza, os aspectos ambientais e sociais, um conjunto ampliado de atores requerem resultados analíticos aplicados a problemas específicos. Nesse contexto, os institutos de pesquisas são desafiados continuamente a fazer a ponte entre o conhecimento básico das ciências e a demanda prática de conhecimentos.

Atualmente, a tecnologia da informação permite que sistemas, instrumentos e dispositivos automatizados utilizem as estruturas de conhecimento criadas pela pesquisa científica em larga

escala, viabilizando o uso de dados, informações e sistemas nas cadeias produtivas agropecuárias e nas instituições que coordenam as ações produtivas. A agricultura torna-se, desta forma, uma atividade intensiva em conhecimentos, complementando os recursos de capital, trabalho e terras tradicionalmente utilizados.

Na pesquisa científica há um uso bastante ampliado de modelos (PIDD, 2010). Os modelos mais úteis capturam a essência do conhecimento disponível sobre o fenômeno, podendo ser manipulados e ajustados a um custo substancialmente menor que a experimentação. Essas estruturas analíticas podem incorporar conhecimentos gerais e específicos, partindo das definições de componentes e de seu relacionamento no sistema representado. A modelagem torna-se, desta forma, um método para analisar um fenômeno em bases qualitativas e quantitativas, em que exercícios mentais são utilizados. O esforço de modelagem torna-se também um esforço de aprendizado, o que facilita muito a difusão de conhecimentos. A utilidade da modelagem também está na especificação da informação de interesse final. Ao se perseguir a utilidade para a tomada de decisões e desenvolver métodos computacionais eficientes, todo o conjunto de informações e conhecimentos incorporados no modelo geram um produto de maior facilidade de comunicação. Dessa forma, as tecnologias de informação e comunicação proporcionam recursos importantíssimos para a viabilização do conhecimento científico da atualidade, tanto na agricultura como em outras áreas do conhecimento.

A modelagem é um fenômeno alavancado com a produção de grandes volumes de informações e capacidade de processamento, permitindo o teste de hipóteses e verificação da validade de teorias fundamentais (PIDD, 2010). O estudo do relacionamento entre as variáveis, o entendimento dos problemas de interesse e a exploração de dados tornam os modeladores potencialmente melhores, estabelecendo mais claramente relações de causa e efeito e lógicas. Este aspecto é crucial para a agricultura. A modelagem é também uma das melhores maneiras de especificar demandas adicionais de informações, em um processo custoso, que efetivamente ocorre quando há um uso justificado para atender a demanda de um usuário ou criar uma forma inovadora de encarar um problema.

A modelagem agroambiental, por exemplo, tem sido sensível à demanda de informações para gestão de políticas públicas. Informações sobre relevo, classes de cobertura vegetal e uso das terras, além do mapeamento dos solos, são utilizadas em zoneamentos de risco climático, agroecológicos e ecológico-econômicos, estabelecendo as bases para a gestão territorial. Os modelos agrometeorológicos têm concentrado esforços de especialistas na caracterização de elementos do clima, dos solos, do manejo agropecuário e da fisiologia das culturas, tornando-se uma ferramenta essencial para o conhecimento do clima, para o zoneamento agrícola – com a identificação das melhores regiões e épocas de cultivo; para o monitoramento agrometeorológico – com diversas aplicações, desde a favorabilidade à ocorrência de doenças, ao manejo de irrigação; e para projetar os impactos das mudanças climáticas na agricultura.

Em um sistema de produção real, outros elementos interferem diretamente nas possibilidades de produção, como máquinas, recursos naturais e elementos de integração da agricultura com cadeias produtivas, mercados e as instituições de um país. Uma fronteira essencial neste contexto é a integração de conhecimentos e modelos biofísicos e econômicos. As pesquisas básica e aplicada buscam relações lógicas essenciais para objetivos específicos, evitando-se a introdução de elementos desnecessários para a compreensão de um sistema e tomada de decisão.

## 6 Mudanças climáticas e agricultura

Segundo Nordhaus (2010), a ciência do aquecimento global chegou a um consenso sobre a alta probabilidade de haver um aquecimento substancial do planeta neste século. As ações tomadas para conter as emissões têm sido limitadas, desde o primeiro acordo de Kyoto, em 1997, e pouco progresso ocorreu na reunião de Copenhague, em dezembro de 2009. As projeções indicam aquecimento mesmo com redução de emissões, e ações devem ser planejadas e priorizadas o quanto antes. O autor indica que o preço para a tonelada de carbono, para manter o objetivo de conter o aumento da temperatura global média em 2 °C ou menos, firmado em Copenhague, deveria ser US\$ 59 por tonelada (a preços de 2005), um preço bastante elevado em comparação com o valor eficaz de US\$ 5 por tonelada. É bastante improvável portanto, que o objetivo de conter a elevação de temperatura estabelecido em Copenhague será atingido.

As mudanças no clima são observáveis e tendem a atingir especialmente os países em desenvolvimento, segundo Rosenzweig e Parry (1994), e esses autores utilizam e recomendam o uso de modelos de culturas como estratégias importantes para avaliar a adaptação de sistemas de produção. Os estudos sobre impactos de mudanças climáticas no mundo foram realizados extensivamente com o uso de modelos agrônômicos que representavam funções de produção, inicialmente, ou funções de respostas de culturas específicas, como Adams (1989).

A elevação da temperatura no Brasil é incontestável e eventos extremos, como secas, veranicos e tempestades apresentam sinais de agravamento. A região amazônica pode ser afetada por grandes queimadas e gerar graves problemas para toda a produção agropecuária no Brasil central, afetando o regime de chuvas e a circulação de massas de ar. O Semiárido enfrenta, em condições normais, um período de seca prolongada durante o ano, que prejudica o desempenho da maioria das culturas agrícolas, e pode ter essa situação agravada pela elevação da temperatura.

Novas condições climáticas foram observadas para as culturas agrícolas no Brasil. Novas áreas foram incorporadas na produção de soja e milho, a partir da década de 1980, e atualmente a região central do Brasil ilustra a capacidade adaptativa de sistemas de produção reais, bem como a capacidade de adoção de novas técnicas e tecnologias. Nesse contexto, o conhecimento sobre as mudanças no ambiente de produção é essencial para a definição de rotas tecnológicas promissoras em termos de aumento da produtividade e criação de alternativas efetivas para mitigar riscos e tornar a agricultura mais adaptada e capaz de produzir com elevada tecnologia.

Mesmo nas condições tecnológicas mais desenvolvidas, acredita-se que a agricultura brasileira, cuja produção em grande parte vem de áreas cultivadas tendo a chuva natural como única ou principal fonte de água, encontra-se exposta a alterações nas condições climáticas. A vulnerabilidade da agricultura foi avaliada por Pinto e Assad (2008) pela primeira vez, e agora encontra-se diante do desafio de incorporar tecnologias mitigadoras, adaptadas e ter estudos aprofundados e específicos apoiando a superação dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

A construção de políticas, programas, projetos e ações para a agricultura passa pelo uso intensivo de conhecimentos e informações derivados de distintas áreas das ciências, mas com grande esforço técnico para torná-los específicos e aplicáveis na tomada de decisão. O clima se transforma e as pesquisas com as questões de vulnerabilidade, mitigação e adaptação às mudanças climáticas evoluem na criação de modelos, sistemas de informações e ferramentas para orientar os tomadores de decisões. Além disso, o diagnóstico dos impactos potenciais e as alternativas de adaptação

devem ter sua robustez verificada em diferentes cenários de mudanças climáticas. Isto implica a busca por soluções de armazenamento, recuperação, processamento, transmissão e visualização de grandes volumes de dados, requerendo métodos sofisticados.

No Brasil há carência de análises que considerem custos e benefícios de ações de adaptação às mudanças climáticas mais específicas. É necessário continuar a trabalhar com o tema e a oferecer alternativas para produtores rurais e formuladores de políticas públicas. Em uma perspectiva de aliar estratégias de mitigação como externalidades positivas, Seo (2013) defende que adaptações inteligentes, que reduzem os danos do aquecimento global e as emissões de carbono ao mesmo tempo, devem ser enfatizadas nas opções políticas. Adaptações inteligentes envolvem ativamente o setor público, coordenando a sociedade na elaboração de estratégias.

É desejável, diante das demandas acima, que estudos como os realizados por Pinto e Assad (2008) sejam ampliados e utilizados na discussão sobre os fatores que determinam a vulnerabilidade dos sistemas produtivos. A construção da capacidade de resposta dos atores depende de informações consistentes, que convençam os envolvidos das soluções mais robustas de produção diante das incertezas do clima futuro. A gestão do risco, quantificado a partir de bons conteúdos e sistemas de informações, depende de um esforço crítico de modelagem econômica, caracterizando o manejo e alternativas de produção de alimentos. Linhas distintas de modelagem climática, biofísica, agroambiental e econômica estão desenvolvendo ferramentas para tratar dos impactos de mudanças climáticas, e esforços de produção técnica e intercomparação de modelos devem ser o caminho para a pesquisa na área. A melhoria dos modelos é promissora, enfrentando desafios como incorporar os efeitos de eventos climáticos extremos e integrar elementos econômicos e ambientais aos aspectos técnicos da produção.

Segundo Antle e Capalbo (2001), modelos de avaliação integrada, que utilizam modelos disciplinares interligados para avaliar sistemas complexos, naturais e humanos, estão se tornando uma metodologia padrão de análise em questões ambientais. A avaliação integrada utiliza simulações do comportamento de um sistema biofísico e as introduz em modelos econômicos. Segundo Kauffmann e Snell (1997), por exemplo, existe uma alternativa de modelagem que combina resultados de modelos estatísticos para a produtividade observada com informações de modelos de culturas. Esta opção de modelagem está sendo desenvolvida em um projeto de intercomparação de modelos na Embrapa, o AgMIP-BR. Também estão em desenvolvimento modelos derivados dos trabalhos de Mendelsohn e Dinar (2009), compreendendo as escolhas de insumos, produtos e os impactos derivados na renda e nos preços das terras.

Cada abordagem tem suas vantagens no entendimento do efeito de mudanças climáticas. Contudo, a maior incerteza nos estudos é o escopo da adaptação. A adaptação não é observada, mas existe efetivamente na realidade, e é contingenciada por uma série de escolhas. A adaptação toma um tempo longo para realização e, portanto, a evidência direta só surge após longos períodos de tempo em condições estáveis. No caso do Brasil, no entanto, as transformações recentes dos sistemas agroindustriais criam uma estrutura de produção sem comparação com o passado distante, que muda as possibilidades para o futuro.

O Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri), já descrito no tópico 3. Análise de Riscos Climáticos na Agricultura e 4. Zoneamento Agroclimático, é um sistema de TIC que foi criado para permitir a vinculação de conjuntos de dados históricos ou de projeções futuras - como as geradas pelos modelos de circulação geral da atmosfera - ao próprio modelo do Zarc e de outros



modelos semi-empíricos ou determinísticos para a simulação de cenários agrícolas futuros. Isto tem permitido, por meio dos resultados tabulares e espaciais do SCenAgri, avaliar os possíveis impactos que as mudanças climáticas terão sobre o Zarc e sobre as culturas agrícolas em geral.

## 7 Considerações finais

A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é um dos componentes mais importantes do ambiente da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) atual, e as organizações brasileiras têm utilizado ampla e intensamente essa tecnologia, tanto em nível estratégico como operacional.

No âmbito da PDI em agrometeorologia e mudanças climáticas, assim como em outros temas de relevância nacional, a Embrapa Informática Agropecuária ocupa uma posição muito favorável à produção de conhecimento e de inovação por estar capacitada a atuar no desenvolvimento de sistemas e aplicações específicas de TI que, apesar de necessárias, seriam inviáveis para outras organizações.

A Embrapa Informática Agropecuária compreende que um esforço significativo de análise dos sistemas produtivos, obtenção, armazenamento, recuperação e processamento dos dados obtidos deve ser a base para muitas atividades técnico científicas. Por isso, além dos esforços de construir uma equipe de desenvolvimento de software, alia competências multidisciplinares para executar as análises da realidade e escolher os melhores caminhos para a construção dos sistemas que a agricultura demanda.

## 8 Referências

- ADAMS, R. M. Global climate change and agriculture: an economic perspective. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 71, n. 5, p. 1272-1279, 1989.
- ANTLE, J. M.; CAPALBO, S. M. Econometric-process models for integrated assessment of agricultural production systems. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 83, n. 2, p. 389-401, 2001.
- ASTOLPHO, F. **Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
- BORTHAKUR, D. **The Hadoop Distributed File System: architecture and design**. [Los Angeles, CA: The Apache Software Foundation, 2007. 14 p. Disponível em: <[http://hadoop.apache.org/docs/r0.18.0/hdfs\\_design.pdf](http://hadoop.apache.org/docs/r0.18.0/hdfs_design.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Brasília, DF, [2014]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS J. S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. [Planaltina, DF]: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 1-11.
- COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC domicílios e empresas 2013**: pesquisa sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no Brasil. São Paulo, 2014. 662 p. Disponível em: <[http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC\\_DOM\\_EMP\\_2013\\_livro\\_eletronico.pdf](http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC_DOM_EMP_2013_livro_eletronico.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2014.

- DEAN, J.; GHEMAWAT, S. MapReduce: simplified data processing on large clusters. **Communications of the ACM**, New York, v. 51, n. 1, p. 107-113, Jan. 2008. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1327452.1327492>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines to predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 155 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas, 2014. Disponível em: <[www.agritempo.gov.br/](http://www.agritempo.gov.br/)>. Acesso em: 7 out. 2014.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001. Número especial.
- KAUFMANN, R. K.; SNELL, S. E. A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 79, n.1, p. 178-190, Feb. 1997.
- MARENGO, J. A. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE: MetOffice, 2011. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- MENDELSON, R.; DINAR, A. **Climate change and agriculture: an economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects**. Cheltenham; Northampton: Edward Elgar, 2009. 256 p. (New horizons in environmental economics).
- NORDHAUS, W. D. Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, D. C., v. 107, n. 26, p. 11721-11726, June, 2010.
- PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, set./dec. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v4n3/v4n3a25.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478 p.
- PIDD, M. Why modelling and model use matter. **Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 61, p. 14-24, Jan. 2010.
- PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. [Campinas]: Embrapa Informática Agropecuária: UNICAMP, 2008. 84 p.
- RIJKS, D.; BARADAS, M. W. The clients for agrometeorological information. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, n. 1-2, p. 27-42, June 2000.
- ROSENZWEIG, C.; PARRY, M. L. Potential impact of climate change on world food supply. **Nature**, London, v. 367, p. 133-138, Jan. 1994.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. de A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. v. 1, p. 5-15.
- SEO, S. N. Economics of global warming as a global public good: private incentives and smart adaptations. **Regional Science Policy & Practice**, Malden, MA, v. 5, n. 1, p. 83-95, Mar. 2013.
- SIVAKUMAR, M. V. K.; MOTHA, R. P. (Ed.). **Managing weather and climate risks in agriculture**. Berlin: Springer, 2007. 288 p. il.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals.** [Washington, D. C.], 1989. 14 p. (WCDP, n. 10; WMO-TD, n. 341).

YAMADA, E. S. M. **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel.** 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-23052011-164645/>>. Acesso em: 24 set. 2014.