

Minella, A. Martins¹

Regina, C. S. Alvalá²

Javier, Tomasella³

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 30/01/2014. Aprovado em 27/08/2014

¹Minella Alves Martins, Eng^a Agrícola, Doutoranda em Ciência do Sistema Terrestre. Centro de Ciência do Sistema Terrestre/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CCST/INPE. Cachoeira Paulista, SP. E-mail: minella.martins@inpe.br.

²Regina Célia dos Santos Alvalá, D.Sc em Meteorologia. Pesquisadora. São José dos Campos, SP. E-mail: regina.alvala@cemaden.gov.br

³Javier Tomasella, D.Sc em Engenharia Civil. Tecnologista Sênior. Cachoeira Paulista, SP. E-mail: javier.tomasella@cemaden.gov.br



Modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro: Limitações e vantagens para avaliação de colapso de safras

RESUMO

A busca por maiores produções é intensa e vem inovando a cadeia As recorrentes secas que assolam várias regiões do mundo colocam a agricultura de sequeiro em xeque. Diante da preocupação em produzir frente às intempéries e da dúvida sobre a capacidade da agricultura em alimentar uma população com rápido crescimento, esforços são direcionados para desenvolver ferramentas que auxiliem na prevenção de perdas, planejamento e monitoramento da atividade agrícola. Tendo em vista a importância dos modelos agrometeorológicos para subsidiar o planejamento e monitoramento de cultivos agrícolas, o objetivo deste trabalho foi revisar alguns dos principais modelos utilizados no mundo, suas principais aplicações, bem como as vantagens e limitações do uso destes no que tange, principalmente à agricultura de sequeiro vista como principal alvo das secas no contexto de desastres naturais.

Palavras-chave: seca, monitoramento agrícola, ferramentas para agricultura

Crop models applied to rainfed agriculture: Limitations and advantages for assessment of crop failure

ABSTRACT

The recurrent droughts that threaten many regions of the world put rainfed agriculture in check. Given the concern in producing against adverse weather and climate conditions and doubt about the ability of agriculture to feed a fast growing population, efforts are directed to develop tools to assist in yield loss prevention, planning and monitoring of agricultural activity. Given the importance of crop models as a tool to predict yield losses, the aim of this study was to review some of the main models used in the world, its main applications, as well as the advantages and limitations of their use in terms, mainly, rainfed agriculture seen as the main target of droughts in the context of natural disasters.

Key-words: drought, agricultural monitoring, tools for agriculture

INTRODUÇÃO

A importância de modelos de cultura, ou modelos de produtividade agrícola, vem desde meados de 1950 quando os primeiros trabalhos estabeleceram a relação entre gasto hídrico e rendimento de culturas agrícolas. Passado mais de meio século, o aperfeiçoamento desta ferramenta juntamente com o avanço de tecnologias computacionais permitiu considerar a influência combinada dos diversos fatores em várias interações. Como resultado, é possível quantificar combinações de solo, planta e sistemas climáticos para prever com maior eficiência o rendimento de culturas (JAME & CUTFORT, 1996), dentre outras variáveis.

Tais ferramentas vêm contribuir para reduzir as incertezas inerentes à produção agrícola e se destacam por auxiliar no entendimento da fenologia de culturas no decorrer de seu ciclo de crescimento e desenvolvimento e vem sendo testados para auxiliar na tomada de decisão frente às intempéries, colaborando com melhor planejamento e monitoramento da produção agrícola.

A agricultura é uma das atividades econômicas mais expostas a riscos. Dentre as ameaças que colocam em xeque o seu potencial, as variações de tempo e clima são as responsáveis pela maior parte do colapso de safra e, conseqüentemente, pela instabilidade econômica do setor e insegurança alimentar de muitas comunidades. A volubilidade do setor agrícola torna-se ainda mais evidente quando se trata de cultivos de sequeiro e uso de baixa tecnologia para o manejo. Destaca-se a importância da agricultura de sequeiro pois esta é responsável por aproximadamente 80% das áreas cultiváveis no mundo e 60% das áreas cultivadas com alimentos (FAO, 2011).

Considerando a atual conjectura mundial, com projeções de aumento abrupto da população e preocupação em alimentar esta população com rápido crescimento, a solução destes problemas deve estar focada não somente em produzir mais, mas, primeiramente, em melhorar o planejamento e monitoramento do que já é produzido para gradativamente aumentar a produção de forma eficiente, sem desperdícios, sem perdas, de forma sustentável.

Neste sentido, os modelos de cultura devem ser vistos como uma importante ferramenta para planejamento e redução de riscos na produção agrícola assegurando uma produção de alimentos necessárias para a sustentabilidade do planeta. No entanto, mesmo com inúmeras aplicações e vantagens no uso para planejamento e monitoramento agrícola ainda há muitas limitações no seu uso, tanto de ordem técnica quanto de ordem logística. Visando avaliar as limitações e vantagens dos modelos agrometeorológicos, apresenta-se, a seguir, uma revisão de conceitos necessários para compreender as relações existentes entre clima, agricultura, modelagem na agricultura e importância para a sociedade da eficiente avaliação do colapso de safras no Brasil e no mundo, no que tange, principalmente à agricultura de sequeiro vista como principal alvo das secas no contexto de desastres naturais.

MODELAGEM NA AGRICULTURA

A inter-relação entre planta e ambiente abrange uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. A fim de se obter melhor entendimento das respostas da cultura ao ambiente, a modelagem é utilizada como ferramenta de grande potencial na área de sistemas agrícolas.

A modelagem em sistemas agrícolas é uma ferramenta de pesquisa interdisciplinar que integra diversos conhecimentos, podendo sintetizar dados de um ou mais experimentos além de auxiliar na melhoria genética e aumento do rendimento potencial, simulando as características genéticas das plantas; verificando o efeito da taxa fotossintética nas folhas, prevendo rendimentos e eventuais quebras de safras; administrando a irrigação e a adubação; prevendo as respostas da cultura a diferentes espaçamentos e efeitos de mudanças climáticas; otimizando o planejamento de plantio e colheita; auxiliando pesquisadores e produtores no manejo da cultura, além de diminuir gastos com a experimentação (BOOTE et al., 1996; VAN ITTERSUM et al., 2003; SUGUITANI, 2006)

Um dos trabalhos pioneiros e de grande relevância foi desenvolvido por Wit (1958), em meados do século XX. Este autor foi quem primeiramente relacionou o rendimento de culturas à transpiração. Com o objetivo de aprimorar e melhor representar a realidade, outros autores modificaram as ideias de de Wit obtendo melhores resultados, os quais podem ser vistos nos trabalhos de Jensen (1968); Baier (1973); Doorenbos e Pruitt (1975), Jones e Kiriny (1986); Raes et al. (2009) entre outros. Segundo Corrêa (2011), para se formar uma massa crítica em modelagem e aproveitar todo o benefício didático e científico dos modelos, é necessário que os mesmos sejam desenvolvidos, ou se já existem modelos similares em outros países, que sejam adaptados, levando-se em consideração as condições locais. Exemplos de adaptações, para o Brasil, de modelos desenvolvidos no exterior podem ser consultados em Lima (1995); Soler (2007); Lorençoni (2010).

Corrêa (2011) ressaltou ainda que a construção de modelos simplificados é interessante para torná-los mais acessíveis ao público não especializado. Esses modelos podem ser elaborados extraíndo-se todos os detalhes excessivos do modelo complexo. Portanto, tornam o desenvolvimento e a aplicação da modelagem em agricultura numa valiosa ferramenta que pode e deve servir para a orientação de pesquisas, gestão de tecnologia e decisões políticas.

A simplificação de modelos é importante para a melhoria no entendimento dos processos e de suas respostas; além disso, o conhecimento 'interdisciplinar' possibilita a realização de simulações mais precisas da dinâmica do crescimento de culturas e de sistemas agrícolas (Jame & Cutfort, 1996).

Principais modelos utilizados no Brasil e no Mundo

Modelos agrometeorológicos podem ser desenvolvidos em vários níveis de complexidade (MURTHY, 2004). Na literatura encontram-se diversos modelos de simulação

desenvolvidos para área agrícola, dentre os quais se verifica uma sobreposição de focos, muita vezes necessário, em virtude das particularidades de cada cultura e região agrícola (VERHAGEN et al., 2001). Entre os principais modelos utilizados na área agrícola, citam-se os seguintes:

O modelo CERES - *Crop Environment Resource Synthesis*, muito utilizado no Brasil, é composto por um conjunto de modelos de simulação dos processos fisiológicos de culturas, desenvolvido pelo *Grassland Soil and Water Research Laboratory* (Jones; Kiniry, 1986). Os modelos da família CERES estão agrupados em um sistema de suporte à decisão para transferência de agrotecnologia (DSSAT) (JONES et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2012). Uma das características do CERES é a ênfase na duração do ciclo da cultura, esta é influenciada pelas diferenças genéticas, pela maturidade da cultura, pelo fotoperíodo e pela temperatura. Esses modelos requerem basicamente quatro tipos de variáveis de entrada: solo, clima, manejo de cultivos e genótipos. Um dos pontos forte desse modelo é a simulações de nitrogênio no solo. No entanto o é pouco utilizado em regiões com alta demanda atmosférica (CASTRIGNANO et al., 1998). Apesar de alguns autores relatarem a deficiência do modelo em simular em situações de alta demanda atmosférica, Hansen e Indeje (2004) obtiveram bons resultados simulando a produção do milho no semiárido do Quênia na África utilizando o CERES-MAIZE e saídas do modelo de circulação geral-ECHAM 4.5, onde verificaram que há possibilidades de associar as previsões de chuvas sazonais, derivadas de modelos de circulação geral, com simulação de culturas para a previsão de rendimento. No Brasil, cita-se o trabalho de Soler et al. (2007), que utilizou o modelo para determinar épocas de semeadura com menores riscos para o milho "safrinha" na região de Piracicaba, SP. Estes autores concluíram que o modelo foi capaz de simular a fenologia e produtividade de grãos para os quatro híbridos estudados, tanto em cultivo de sequeiro quanto irrigado, e puderam inferir datas de plantio que levassem a uma menor decréscimo da produtividade.

WOFOST- *World Food Studies* simula o crescimento de culturas com base em processos fundamentais, como fotossíntese e respiração e como esses processos são influenciados pelas condições do ambiente (VAN KEULEN & WOLF, 1986). Com o WOFOST é possível calcular a produção potencial, biomassa, uso da água, entre outros, para um determinado local (VAN KEULEN & WOLF, 1986). Uma das características principais está em considerar níveis hierárquicos de crescimento das culturas (potencial, limitado e reduzido), cada um deles associado a um nível de produção de culturas (BOOGAARD et al., 2011). Sua simulação de crescimento de culturas é direcionada pela assimilação de carbono e fração de radiação solar interceptada.

Sua principal aplicação é no chamado *Crop Growth Monitoring System* (CGMS), um componente importante do MARS (*Monitoring Agriculture with Remote Sensing*) que é um sistema de previsão de rendimento de culturas operado pelo *Joint Research Centre - JRC*. Este sistema utiliza o modelo de crescimento de Culturas WOFOST juntamente com outros modelos, por exemplo, o CropSys (VANEVERT & CAMPBELL, 1994), para verificar a

influência do solo, clima e manejo sobre a produtividade agrícola, com uma resolução espacial de 50 × 50 km em países da União Europeia e algumas regiões da África e Ásia. No Brasil, uma aplicação do modelo WOFOST juntamente com o modelo agrohidrológico SWAP (VAN DAM et al., 2008) foi feita para simular o crescimento da cana-de-açúcar (SCARPARE, 2011). Apesar, da alta precisão na simulação do comportamento vegetal e contabilização de nutrientes, o WOFOST requer um grande número de dados para parametrização e alimentação.

O AquaCrop é um modelo de simulação de produtividade de culturas da *Food and Agricultural Organization - FAO*. Stetuto et al. (2009) introduziram o AquaCrop para simular a produção potencial de herbáceas em função das várias condições hídricas. O mecanismo de desenvolvimento do AquaCrop é direcionado exclusivamente pela água. Como dados de entrada, o modelo utiliza dados de temperaturas mínima e máxima, evapotranspiração e precipitação. Inclui ainda um banco de dados de concentração média anual de CO₂ permitindo análises de cenários de mudanças climáticas. Dentre algumas limitações cita-se o fato do modelo não simular os ciclos de nutrientes.

O AquaCrop tem sido amplamente testado para diferentes culturas ao redor do mundo sob diversos ambientes, como pode ser consultado em trabalhos de Hsiao (2009) para o milho, García-Vila e Fereres (2012) para o algodão, Abrha et al. (2012) para a cevada, Wani et al. (2012) para o sorgo. Ele tem sido utilizado para diferentes estratégias de irrigação (GEERTS et al., 2009), para avaliar estratégias de semeadura em ambientes semiáridos (ABRHA et al., 2012) e para desenvolver um modelo econômico para sistemas de apoio à decisão em nível de propriedade (GARCÍA VILA & FERERES; 2012)

Semelhanças entre os modelos AquaCrop, WOFOST e CropSyst são encontradas nas simulações de biomassa e rendimento, embora o WOFOST e o CropSyst necessitem de um número de dados de entrada maior que o AquaCrop (TODOROVIC et al., 2009).

Outros modelos são também muito utilizados na agricultura, como o DAISY (HANSEN et al., 1990), GLAM (CHALLINOR et al., 2004), INFOCROP (AGGARWAL et al., 2006), EPIC (WILLIAMS et al., 1989) entre outros.

Tendo em vista as peculiaridades de cada modelo, a escolha por um deles parte do objetivo para o qual se destina, da disponibilidade de dados, dos resultados requeridos, da facilidade de calibração e da relação complexidade dos processos envolvidos *versus* erro admitido. Quanto mais precisa e previsível for a estimativa de produtividade por modelos, mais útil e estratégico será para a região (CARDOSO et al., 2010). No entanto, segundo Todorovic et al. (2009), para fins de gerenciamento e em condições de informações limitadas, a utilização de modelos mais simples deve ser sempre incentivada.

LIMITAÇÕES E VANTAGENS DOS MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE COLAPSO DE SAFRAS

O setor agrícola em todo o mundo enfrenta o desafio significativo de aumentar a produção e garantir a segurança alimentar para uma população que deverá aumentar para nove bilhões até 2050. Para suprir a necessidade nutricional da população projetada, a produção de grãos deverá aumentar em 30% até 2030 e dobrar até 2050. Esse crescimento na produção de grãos equivale a um aumento de 42% e 70%, respectivamente, considerando-se as datas mencionadas (OECD, 2011).

Para atingir tal objetivo, o setor agrícola deve tornar mais eficiente os processos pré-colheita e pós-colheita. No que se refere aos processos envolvidos desde o plantio até o momento da colheita os riscos inerentes à atividade são altos. Analisando as grandes perdas na agricultura ocorrida nos últimos anos, e ainda considerando os aumentos previstos na frequência, intensidade e duração das secas (IPCC, 2007), e aos impactos resultantes sobre muitos setores, em especial o de produção de alimentos, praticamente todas as nações se preocupam com a gestão dos impactos da seca (SIVUKAMAR et al., 2011).

Enquanto, por um lado, a seca é um fenômeno climático, ela também associa distintas dimensões sociais, econômicas, e políticas, visto que os efeitos da seca podem resultar em complicações notórias, e potencialmente devastadoras, para as comunidades situadas em regiões aflitas pela estiagem. Em geral, tais efeitos são sentidos de forma desproporcional pelos setores mais vulneráveis da população, sobretudo os pequenos produtores e agricultores familiares (MORRISON, 2010).

Dentre os vários casos de seca e seus impactos relatados em países de todo o mundo, cita-se o caso do semiárido brasileiro. Segundo Marengo (2008), estatisticamente para o semiárido brasileiro, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada cem anos. As secas mais graves aparecem em registros históricos desde o início da colonização, no século XVI, e são bastante comuns, bem como o século XX foi um dos mais áridos, registrando 27 anos de estiagem. Em 2012 a região semiárida brasileira apresentou pior seca dentre os últimos 40 anos, o que causou perdas de safras superiores a 80% da produção de milho e feijão (CONAB, 2012) e deixou a população ainda mais vulnerável a problemas sociais e econômicos que desestruturaram as comunidades.

Para Sivukamar et al. (2011), sem uma política coordenada que inclua acompanhamento eficaz e sistemas de alerta precoce para fornecer informações oportunas para os tomadores de decisão, avaliação do impacto efetivo, medidas pró-ativas de gestão de risco, planos de preparação destinadas a aumentar a capacidade de enfrentamento e eficazes programas de resposta de emergência destinada a reduzir os impactos da seca, as nações continuarão a responder à seca em uma modo reativo de gestão e crise.

Medeiros et al. (2013), enfatiza que quando da ocorrência de estiagem prolongada, no Semiárido Brasileiro, as consequências são as mais variadas, desde a desestruturação da já frágil economia da região, por se basear principalmente na exploração agropecuária;

desagregação das relações familiares e sociais, em parte pela migração forçada para outras áreas (dentro ou fora do Semiárido) na busca de oportunidades de trabalho remunerado; escassez de alimentos; até os impactos ambientais produzidos, que vão desde a perda da biodiversidade até o processo de desertificação

Considerando que os cultivos agrícolas sob regime de sequeiro são os mais susceptíveis aos colapsos de produção e, ainda, que 60% do suprimento de alimentos é proveniente da agricultura de sequeiro, a segurança alimentar da população pode enfrentar sérios riscos caso a produção de alimentos não seja eficientemente assegurada contra os efeitos das variabilidades climáticas.

Para quantificar a seca agrícola, diversos índices são utilizados, geralmente com base no balanço hídrico; no entanto, apesar de quantificarem os eventos de seca para a agricultura de forma confiável, não se adequam para quantificar os impactos sobre a produtividade das culturas (SENTELHAS, 2012). Nesse sentido, os modelos agrometeorológicos são ferramentas importantes no apoio à tomada de decisão, tanto para subsidiar as políticas governamentais, como para inovar na criação de políticas de gerenciamento dos riscos e alerta precoce, tornando a sociedade preparada para enfrentar os efeitos da seca e ainda fazendo as comunidades mais resilientes aos impactos.

Dentre as inúmeras aplicações dos modelos agrometeorológicos como subsídio para avaliação do colapso de produção agrícola pode-se citar a simulação do desenvolvimento, crescimento e rendimento de culturas, permitindo avaliar diversas opções de cultivo e estratégias de gerenciamento, utilizando dados climáticos e meteorológicos. Comprovando a utilidade desses modelos como ferramentas eficientes para apoio à gestão de risco, muitas pesquisas tem mostrado que informações climáticas juntamente com a simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas são importantes para auxiliar na tomada de decisão. Como exemplo, destaca-se o trabalho de Soler (2004), que conseguiu prever o rendimento final da produção de milho "safrinha" com antecedência de 45 dias, além de relacionar a produtividade com variabilidades climáticas como El Niño Oscilação Sul - ENOS e ainda estabelecer datas de plantio com menor risco para a cultura. Outros trabalhos abordando rendimento podem ser vistos em Assad et al. (2007); Silva et al. (2011) e Anjos (2011). Tais informações ajudam, significativamente, a melhorar a tomada de decisão, especialmente no desenvolvimento de estratégias de longo prazo que auxiliam na captura dos benefícios de uma boa estação e evitam danos ou decisões onerosas em uma estação ruim, como comumente vem ocorrendo com os cultivos de subsistência no semiárido brasileiro.

Um segunda aplicação seria avaliar o potencial produtivo de diferentes culturas para cada região. O ambiente interfere no crescimento e desenvolvimento de todos os vegetais. As componentes ambientais mais importantes são as temperaturas do solo e do ar, o fotoperíodo, radiação solar, a textura e outras propriedades do solo e o suprimento de água. Para cada cultura, essas componentes interferem de forma distinta, de acordo com as características genéticas e de adaptação de cada uma. E essa informação é imprescindível para cultivos com o

menor risco possível. Neste sentido, os modelos de produtividade podem simular os efeitos de diferentes estratégias, auxiliando na determinação da melhor decisão, como melhores épocas para plantio para cada cultivar, condições mais favoráveis ao rendimento potencial, além de possibilitar a avaliação de estratégias em um amplo intervalo de condições incertas, evitando gastos onerosos com experimentos de campo e obtendo respostas rápidas. Assim, caberá ao produtor adotar as práticas culturais visando aproveitar ao máximo as condições favoráveis ou minimizar aquelas consideradas desfavoráveis maximizando o rendimento econômico da cultura. Um bom exemplo pode ser visto em Monteiro (2012) que avaliou o potencial produtivo para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo penalizado pela temperatura.

De maneira geral, modelos de cultura são utilizados em grandes programas de monitoramento agrícola, que avaliam o potencial da produção de acordo com as condições meteorológicas e ainda com foco na situação de segurança alimentar. No Brasil, a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) utiliza um sistema de informações conhecido como GEOWEB, que tem por objetivo a melhoria do monitoramento de culturas e métodos de previsão e redução da subjetividade em estimativas de área e produção agrícola. Utiliza modelos estatísticos e mapeamento por sensoriamento remoto para estimar áreas produtivas e modelos agrometeorológicos, espectrais e mistos para estimar a produção.

Para fins de auxiliar no monitoramento do colapso de safras, ainda pode-se citar outra possível e importante aplicação de modelos de produtividade no Brasil e que precisa ser melhor estudada, a fim de contribuir efetivamente para subsidiar a implementação e fiscalização do Seguro da Agricultura Familiar - SEAF¹ e Garantia Safra - GF². Essa fiscalização se torna difícil, pois no Brasil, a previsão de safra é feita de forma subjetiva. Quando se trata de regiões constantemente ameaçadas com os efeitos da seca, como ocorre nas regiões Sul e Nordeste do Brasil, levando a colapsos da produção agrícola, as estimativas subjetivas não contribuem para tomadas de decisão rápidas. No decorrer de uma safra agrícola as condições de tempo variam, e isso torna uma situação que era favorável na época do plantio em uma situação adversa no decorrer do ciclo fenológico. Para isso, tanto o seguro da agricultura familiar quanto o Garantia Safra visam assegurar a renda do agricultor em situações de quebra de safra decorrentes de estiagem ou excesso hídrico. Neste âmbito, os modelos de cultura podem contribuir de maneira a antecipar e prevenir efeitos severos das quebras de safra, como também para aprimorar o processo de verificação de perdas que, no caso do Garantia Safra, atualmente é feito por amostragem, sendo que quando o município declara a perda de mais de 50% da produção, todos os agricultores

do município aderidos ao Programa são beneficiados. Segundo Freitas (2012), essa forma de avaliação do sinistro prejudica a sustentabilidade financeira do programa em função das adesões crescentes e pagamentos superiores à dotação financeira inicialmente planejada. Assim, os modelos de produtividade permitiriam às autoridades competentes melhor fiscalização do sinistro e quantificação das áreas em que houveram perdas, cobertas tanto pelo GF quanto pelo SEAF, e, ainda, serviria como meio para determinar perdas por excesso hídrico, já que há insuficiência de instrumentos para contabilizar este último dano.

Enfim, as aplicações são diversas com os modelos disponíveis e vêm ocorrendo de maneira gradativa com vistas a evitar o colapso de safras e garantir a segurança alimentar da população.

Frente a todas as vantagens e possibilidades de aplicação da modelagem na agricultura, algumas limitações são encontradas impedindo a plena eficiência da aplicação de modelos de simulação agrícola. Dentre as limitações encontradas, pode-se classificá-las em dois grupos: Limitações técnicas e Limitações logísticas.

No primeiro grupo inclui-se todos os problemas de representação e parametrização intrínsecos aos modelos, como aqueles já citados anteriormente ao descrever alguns dos principais modelos. Outro aspecto que se inclui neste grupo de limitações técnicas é a indisponibilidade de dados meteorológicos provenientes de uma rede com boa densidade de estações, com grande número de variáveis e confiabilidade dos dados o que para Sentelhas (2012) é um fator que torna as simulações pouco abrangentes e pouco confiáveis. A necessidade de uma boa estrutura observacional é imprescindível para a simulação e há regiões no Brasil em que a densidade de estações de observações é muito baixa, comprometendo os resultados, principalmente quando há necessidade de interpolar dados. Outra limitação encontrada quanto aos dados necessários à simulação é a incompletude das séries históricas existentes, tanto de dados climatológicos, quanto de dados de solos. E, talvez, a maior limitação técnica que a modelagem agrícola enfrenta, está associada com a utilização de dados de previsão climática para alimentar os modelos de produtividade. Nobre (2012) destacou a imprecisão dos modelos acoplados Oceano-Atmosfera para previsão de chuvas, por exemplo, na região Nordeste do Brasil, em função da baixa previsibilidade dos eventos que ocorrem no Oceano Atlântico Tropical. Devido a imprecisão das informações geradas por estes modelos, o uso destas torna-se inviável para alimentar os modelos de produtividade e influenciar as decisões locais sobre quando e onde plantar.

No segundo grupo, inclui-se, principalmente, as limitações inerentes à falta de uma eficiente interação tecnologia-sociedade. Este vem a ser um dos principais impasses na transferência de tecnologia: a falta de um intermediador que possa levar o uso destes modelos até o seu usuário final. Os modelos de cultura por mais simples que sejam, requerem um conhecimento científico e tecnológico muitas vezes não dominado pela maioria dos usuários finais. Assim, para disseminar o uso de tais modelos, é imprescindível que tenha um profissional que faça a intermediação entre as duas pontas (o criador do modelo e o usuário final). Neste sentido, o papel da

¹ Seguro de Agricultura Familiar - SEAF: Ação dirigida exclusivamente aos agricultores familiares que contratam financiamentos de custeio agrícola no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF. O seguro garante 65% da receita líquida esperada pelo empreendimento financiado. (<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/seaf>).

² Garantia Safra - GS: é uma ação do PRONAF voltada para os agricultores familiares localizados na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, majoritariamente Semiárida, que sofrem perda de safra por motivo de seca ou excesso de chuvas. (<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/garantiasafra>).

extensão rural seria importante para fazer essa "ponte" e tornar o conhecimento "utilizável" para sanar problemas, não somente do ponto de vista científico, físico ou biológico, mas principalmente, os problemas sociais. Assim, a extensão rural deveria participar desde a concepção até a aplicação das tecnologias, transformando os usuários em agentes no processo, valorizando seus conhecimentos e respeitando seus anseios. De forma complementar à primeira limitação logística, a interação entre a ciência e os tomadores de decisão é também um impasse para a disseminação dos modelos de produtividade. E aqui vale enfatizar um modelo proposto por Lemos & Morehouse (2005) que seria eficiente na solução de tal problema. É um modelo de interatividade de pesquisa para a coprodução da ciência e da política através da ciência integradora. Este modelo propõe que haja redes eficazes para sustentar o fluxo contínuo de informação e colaboração entre ciência e os tomadores de decisão e através destas redes possa haver, além da divulgação dos resultados, um *feedback* para identificação dos próximos passos da pesquisa.

Esta última limitação vem em concordância, por exemplo, com os desafios enfrentados na implementação e fiscalização do SEAF e GF, citados anteriormente, onde é justamente a falta de uma efetiva interação entre ciência e tomadores de decisão que impede maior sucesso dos programas governamentais contra o colapso de safras.

Frente à importância das aplicações de modelos agrometeorológicos e às inúmeras limitações, muitos estudos ainda serão necessários para garantir que tais venham a ser ferramentas precisas quanto às simulações. Pela acurácia hoje encontrada nos modelos, e pela disponibilidade e qualidade de dados, é possível contribuir para evitar muitas perdas na agricultura; no entanto, simplificar tais modelos e contornar as limitações são os primeiros passos para tornar esses modelos confiáveis e disponíveis aos tomadores de decisão e conseqüentemente aos usuários finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1- As atuais perdas na produção agrícola que vem ocorrendo nos últimos anos são preocupantes para todas as nações e requerem ações rápidas para evitar que os prejuízos econômicos e sociais sejam recorrentes.

2- Para sanar esse problema, os modelos agrometeorológicos devem ser vistos como ferramentas importantes e indispensáveis para compor um sistema de monitoramento agrícola visando reduzir as quebras de safras e evitar os colapsos da produção agrícola.

3- Além da tecnologia, a interação entre ciência, tomadores de decisão e usuário final é importante para um monitoramento eficiente. Assim, este monitoramento deve ser um esforço multidisciplinar envolvendo especialistas de diversas áreas, tomadores de decisão e a extensão rural para tornar o conhecimento "utilizável".

4- A escolha do modelo mais adequado deverá partir do objetivo e dos dados disponíveis em uma determinada localidade. No entanto, não há dúvidas que quanto mais informações e ferramentas forem utilizadas, mais próximos da realidade local, serão os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, P.K.; KALRA, N.; CHANDER, S.; PATHAK, H. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v.89, p.1-25, 2006.
- ABRHA, B.; DELBECQUE, N.; RAES, D.; TSEGAY, A.; TODOROVIC, M.; HENG, L.; VANUTRECHT, L.; GEERTS, S.; GARCIA-VILA, M.; DECKERS, S. Sowing strategies for barley (*hordeum vulgare* L.) Based on modelled yield response to water with AquaCrop. **Experimental Agriculture**, 252-271. 2012.
- ANJOS, F.A. **Simulação de produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas. 2011.
- ASSAD, E. D.; MARIN, F. R., EVANGELISTA, S.R.; PILAU, F. G.; FARIAS, J. R. B.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Sistema de previsão da safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.615-625, 2007.
- BAIER, W. Crop-Weather Analysis Model: Review and Model Development. **J. Appl. Meteor.**, v.12, p. 937-947. 1973.
- BOOGAARD, H.L.; DE WIT, A.J.W.; ROLLER, J.A.; VAN DIEPEN, C.A. **User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model**. Alterra, Wageningen University & Research Centre, Wageningen, 2011.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p. 704-716, 1996.
- CARDOSO, A. de O.; PINTO, H.S.; ÁVILA, A.M.H. de ; SILVA DIAS, P. L. da; MARIN, F.R.; PILAU, F. Extended time weather forecasts contributes to agricultural productivity estimates. **Theor Appl Climatol**, 343-350. 2010
- CASTRIGNANO, A., KATERJI, N., KARAM, F.; MASTRORILLI, M. HAMDY, A. A modified version of CERES-Maize model for predicting crop response to salinity stress. **Ecological Modelling** 111 -107-120. 1998.
- CHALLINOR, A.J. et al. Design and optimisation of a large-scale process-based model for annual crops. Amsterdam. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 124, p.99-192. 2004.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB): **Acompanhamento de Safra Brasileira: Gãos, décimo levantamento**. Julho/2012. Brasília : CONAB, 2012.
- CORRÊA, S.T. R.; DOURADO-NETO, D ; LORENCONI, R. ; SCARPARE, F.V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E.T. . Aplicações e limitações da modelagem em

- agricultura - Revisão. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v. 86, p. 1-13, 2011.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J.M.G.A.; SMITH, M.; UITTENBOGAARD, G.O.; VAN DER WAL, H. K. **Yield response to water**. (Irrigation and Drainage Paper, 33) Rome: FAO, 193p. 1979.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 24). Roma: FAO, 193 p. 1977.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Climate change, water and food security**. Rome, 2011.
- FREITAS, D.M. Garantia Safra: um seguro para o Nordeste e para o Semiárido Brasileiro. Apresentação da III Reunião Técnica do CEMADEN. Fortaleza. 2012. Disponível em <http://www.cemaden.gov.br/apresentacoes/IIIretdocemaden.php>. Acesso em 01/04/2013.
- GARCÍA-VILA, R. e FERERES, E. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. **European Journal of Agronomy**, 21– 31.2012.
- GEDANKEN, A.; MANTOVANI, E. C.; MANTOVANI, B. H. M.; COSTA, L. C.; SANS, L. M. A.; FREITAS, P. S. L. de. Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 439-447, 2003.
- GEERTS, S. et al. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. **Agronomy Journal**. Volume 101, Issue 3. 2009
- HANSEN, J.W.; INDEJE, M. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology** 125 (2004) 143–157 .2004.
- HANSEN, S., JENSEN, H.E., NIELSEN, N.E. AND SVENDSEN, H. DAISY. Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Report No. A 10. **The National Agency for Environmental Protection**, Copenhagen. 1990.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103. p 137-157. 2000.
- HOOGENBOOM, G., JONES, P.W. WILKENS, C.H.; PORTER, K.J.; BOOTE, L.A.; HUNT, U.; SINGH, J.L.; LIZASO, J.W.; WHITE, O.; URYASEV, F.S.; ROYCE, R.; OGOSHI, A.J. GIJSMAN, G.Y.; TSUJI, KOO, J. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 2012.
- HSIAO, T.S.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. **Agronomy Journal**, 448-459. 2009.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp. 2007.
- JAME, Y.W.; CUTFORTH, H.W. Crop Growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**. v.76.p.9-19,1996.
- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. **Academic Press INC**. New York. 1968.
- JONES, P.N.; KINIRY, J.R. **Ceres-Maize**: a simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A. M. University Press, 194p. 1986.
- LEMONS, M.C.; MOREHOUSE, B.J. The co-production of science and policy in integrated climate assessments. **Global Environmental Change** 15 - 57–68. 2005.
- LIMA, M. G. de. **Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil**. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.
- MARENGO, J. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**. 2008
- MKHABELA, M.S; BULLOCK, P.R. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. **Agricultural Water Management** 110.16– 24. 2012.
- MEDEIROS et al. Folheto Informativo nº 1-2013. **Estiagem e Seca no Semiárido Brasileiro**. 2013.
- MONTEIRO, L.A. Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2012.
- MORRISON, C. Seca, o semi-árido, e o pequeno agricultor em Canindé, Ceará. In: R. ADDEI, R.; GAMBOGGI, A. **Depois que a chuva não veio** – Respostas sociais às secas na Amazônia, no Nordeste, e no Sul do Brasil. 137-176. Rio de Janeiro: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Instituto Comitas para Estudos Antropológicos. 2010.
- MURTHY, V. R. K. Crop growth modeling and its applications in agricultural meteorology. In: SIVAKUMAR, M. V. K.; ROY, P. S.; HARMSEN, K.

- AND SAHA, S. K (Eds.). **Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology**. 2004.
- NOBRE, P. O Estado da Arte em Previsões Climáticas para o NE do Brasil. Apresentação da III Reunião Técnica do CEMADEN. Fortaleza. 2012. Disponível em <http://www.cemaden.gov.br/apresentacoes/IIIReuniaoDen.php>. Acesso em 01/04/2013.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Agricultural Policy Monitoring and Evaluation: OECD Countries and Emerging Economies, OECD Publishing. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_pol-2011-en> Acesso em 01/04/2013.
- RAES, D. et al. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. **Agronomy Journal**. V. 101, Issue 3. 2009.
- SCARPARE, F.V. **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agro-hidrológico SWAP/WOFOST**. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". 163p. 2011.
- SENTELHAS, P.C. **Uso de modelos de simulação de culturas como ferramentas para identificação dos agentes deflagradores de colapso na produção agrícola**. Apresentação da III Reunião Técnica do CEMADEN. Fortaleza. 2012. Disponível em <http://www.cemaden.gov.br/apresentacoes/IIIReuniaoDen.php>. Acesso em 01/04/2013.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B. Modelo agrometeorológico na estimativa da produtividade de duas variedades de café arábica Considerando a variabilidade Espacial. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011.
- SIVAKUMAR, MANNAVA V.K., RAYMOND P. MOTHA, DONALD A. WILHITE, AND JOHN J. QU (Eds.). Towards a Compendium on National Drought Policy. **Proceedings** of an Expert Meeting on the Preparation of a Compendium on National Drought Policy, July 14-15, 2011, Washington DC, USA: Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. AGM-12; WAOB-2011. 135 pp. 2011.
- SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosaic**. 2006. 60p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SOLER, C.M.T. **Uso do Modelo CERES-MAIZE para previsão de safra do milho "safrinha"**. Tese. Doutorado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- SOLLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C. ; HOOGENBOOM, G. . Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 27, n.4, p. 165-177, 2007.
- STETUTO, P. et al. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**. v. 101, Issue 3. 2009.
- TODOROVIC, M., ALBRIZIO, R., ZIVOTIC, L., SAAB, M.T.A., STOCKLE, C., STEDUTO, P. Assessment of Aqua Crop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. **Journal of Agronomy** 101 (3), 509–521. 2009.
- VAN DAM, J.C. **Field-scale water flow and solute transport SWAP model concepts, parameter estimation and case studies**. (Doctoral Thesis). 2000. 179p. Wageningen University, Wageningen, 2000.
- VAN ITTERSUM, M.K.; LEFFELAAR, P.A.; VAN KEULEN, H.; KROPFF, M.J.; BASTIAANS, L.; GOUDRIAAN, J. On approaches and applications of the Wageningen crop models. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.18. p.201-234. 2003.
- VAN KEULEN, H.; WOLF, J.; Modelling of agricultural production: weather, soil and crops. Wageningen: Pudoc, (**Simulation Monographs**). 1986.
- VANEVERT, F. K., CAMPBELL, G. S. Cropsyst: A collection of object-oriented simulation-models of agricultural systems. **Agronomy Journal**, 86, 325–331. 1994.
- WILLIAMS, J.R. JONES, C.A. . KINIRY, J.R. SPANIEL, D.A. **The EPIC crop growth model** Trans. ASAE, 32 (2) (1989), pp. 497–511. 1989.
- WIT, C.T. de. Transpiration and crop yields, Agr. Res. Rep. 64. 6, Pudoc, Wageningen, 1958.