



3 Modelagem agroambiental e a transformação digital da agricultura

Santiago Vianna Cuadra

Daniel de Castro Victoria

Giampaolo Queiroz Pellegrino

Édson Luis Bolfe

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

Eduardo Delgado Assad

Aryeverton Fortes de Oliveira

Maria do Carmo Ramos Fasiaben

Geraldo Bueno Martha Júnior

Mateus Batistella

Luís Gustavo Barioni

Alan Massaru Nakai

Fábio César da Silva

Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura

1 Introdução

A agricultura é uma atividade de retornos e riscos significativos, com processos produtivos e negócios cada vez mais beneficiados pela disponibilidade e pelo uso de informações. Dimensões técnicas, econômicas, sociais e ambientais interessam a todos os segmentos do agronegócio, que buscam indicadores confiáveis para operações e negócios. Financiamentos, insumos, contratos de comercialização e de seguros, certificações e processos regulatórios passam a depender do desenvolvimento de sistemas inteligentes e de informações a custos razoáveis, que se tornam essenciais para a competitividade e a sustentabilidade, em uma perspectiva de fortalecimento das cadeias de valor da agricultura.

É inegável, por exemplo, que os elementos decorrentes da instabilidade climática, de ocorrências sanitárias e de oscilações dos mercados e dos ambientes de negócios sobressaem nos resultados da agricultura, e que os dados e informações a eles referentes devem ser investigados de maneira interdisciplinar. Um estudo apoiado pelo Banco Mundial indica que o Brasil perde, anualmente, mais de R\$ 11 bilhões devido a riscos que poderiam ser minimizados (Arias et al., 2015). Em muitas regiões, mais de 60% da variabilidade e do risco de produção agrícola são causados por efeitos climáticos, já que os agricultores exercem pouco ou nenhum controle sobre fenômenos naturais como secas, geadas, ondas de calor, vendavais e granizo (Rossetti, 1998) e são dependentes de informações derivadas de processos analíticos mais complexos para serem capazes de contorná-los.

Para reduzir a exposição aos riscos e garantir maior resiliência¹ dos agroecossistemas, é imprescindível compreender e quantificar os riscos climáticos a que estão sujeitos nas diferentes ecorregiões² do Brasil. Essa tarefa é complexa, dada a dimensão continental do país, a diversidade de cultivos agrícolas, de sistemas produção e da oferta de recursos naturais – condições de solo, relevo e clima. Exige o conhecimento especializado sobre o funcionamento dos agroecossistemas e a correta alocação de competências e recursos, sobretudo da Embrapa, considerando sua missão, dimensão e capilaridade. A ciência avança no entendimento desses complexos sistemas biofísicos e econômicos com o uso intensivo de dados associados a robustos sistemas analíticos. Nesse sentido, a formulação de políticas, a criação de incentivos e a regulação das atividades econômicas progressivamente incorporaram avanços e, conseqüentemente, passaram a depender dos novos processos de informação. Medidas de riscos, retornos e impactos produtivos, econômicos, sociais e ambientais tornaram-se um essencial aspecto da inovação que a Embrapa, com suas estruturas, operações, equipes e produção de conhecimento, promove na agricultura digital, também chamada de agricultura 4.0.

Lidar com essa complexidade exige a capacidade de processamento de um grande conjunto de dados e informações para a geração de conhecimento e suporte à tomada de decisões mais embasadas e, conseqüentemente, mais acertadas. Para isso, é necessário um grande investimento em tecnologia da informação, garantindo a coleta de dados básicos e primários, usando

¹ Resiliência, para a agricultura, pode ser compreendida como a capacidade dos sistemas produtivos de conviver com as variabilidades e os riscos, seja através da melhor seleção de épocas de plantio, cultivares e uso de tecnologias para combate às adversidades (irrigação, uso de defensivos etc.) ou de mecanismos financeiros para absorver os choques causados por efeitos adversos.

² Ecorregiões são unidades geográficas com características físicas e biológicas semelhantes, cujos limites são definidos com base em características abióticas (altitude, relevo, solo, geologia, precipitação, ciclo de inundação, efeitos das marés) e bióticas (grupos de plantas e animais presentes).

sensores em campo e remotos; o armazenamento, a organização, o acesso e a interoperação de várias bases de dados; e o desenvolvimento e a adaptação de poderosas ferramentas de processamento e análise de grande volume de dados. Assim, são geradas e divulgadas informações e conhecimentos de forma adequada e compreensível a seus diversos públicos. O avanço das tecnologias de informação e comunicação (TIC) deve contribuir ainda mais para desenvolver conhecimento, políticas públicas e investimentos em uma agricultura altamente tecnicizada e lastreada por conhecimento científico, independentemente de sua escala.

Nesse sentido, a Embrapa Informática Agropecuária investe na geração de soluções baseadas no desenvolvimento e na aplicação de modelos agroambientais, estabelecendo o Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental, em que profissionais com competências interdisciplinares têm contribuído para o desenvolvimento de pesquisas, processos, produtos e serviços relacionados à compreensão e à quantificação das interações entre solo-planta-animal-atmosfera. Outra dimensão estratégica da atuação da Unidade consiste em fomentar a sinergia e o trabalho em rede com outras Unidades da Embrapa, universidades e instituições de pesquisa nacionais e internacionais. Ao gerar dados e informações espacialmente explícitas para apoiar a estabilidade e o aumento da produtividade agrícola e diminuir o uso de recursos naturais, a modelagem agroambiental também contribui para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030 (Nações Unidas, 2015) – especialmente no ODS 02 - *Fome Zero e Agricultura Sustentável*, no ODS 12 - *Consumo e Produção Responsáveis*, e no ODS 13 - *Ação Contra a Mudança do Clima*.

Este capítulo apresenta um breve histórico da modelagem agroambiental e de sua importância como elemento essencial da transformação digital da agricultura, sobretudo no que se refere ao planejamento rural e à tomada de decisão estratégica e gerencial nos setores público e privado. Alguns dos conhecimentos e dos produtos gerados são sumarizados ressaltando as contribuições diretas da Embrapa Informática Agropecuária. Destaca-se, ainda, o apoio que a Unidade oferece ao desenvolvimento de soluções perante os desafios e os riscos impostos pela variabilidade histórica e pelas mudanças do clima, bem como ao entendimento das sinergias entre a produção e os serviços ecossistêmicos.

2 Evolução da modelagem agroambiental

A modelagem de sistemas agropecuários começou a florescer a partir de meados do século XX, tendo como marcos importantes as contribuições em programação linear e em modelagem econômica de sistemas agropecuários.

Naquela época, os modelos ainda exploravam de modo mais limitado os componentes do sistema agropecuário e suas interações. A partir dos anos 1960 foram desenvolvidos muitos modelos com foco na previsão e na avaliação do desempenho de sistemas agropecuários em resposta às alterações em seus componentes e interações (Jones et al., 2017).

Nas décadas de 1980 e 1990, a modelagem de sistemas agropecuários passou a ser utilizada, progressivamente, para ampliar os conhecimentos sobre aspectos fundamentais do funcionamento do sistema solo-planta-animal-atmosfera, possibilitando simular as variações do estado do sistema, de seus componentes e suas interações, em diferentes escalas espaço-temporais. Tal evolução possibilitou a incorporação de processos físicos (como balanço de absorção de radiação pela vegetação e movimento de água no solo), biofísicos (como os processos de fotossíntese e crescimento das plantas), biogeoquímicos (como o ciclo de carbono no solo) dentro de um único modelo de simulação numérica. Concomitantemente, o desenvolvimento de modelos numéricos pela comunidade de agrometeorologia cresceu significativamente, com o surgimento de vários softwares que incluem modelos para simular o desenvolvimento e o crescimento das culturas agrícolas. A partir dessas análises, os modelos passaram a fornecer elementos importantes para apoiar a previsão sobre respostas potenciais do sistema agrícola frente a alterações nas condições do ambiente, do sistema de produção e do manejo empregado. Portanto, a modelagem agroambiental destaca-se como uma ferramenta para avaliar as respostas da produtividade agrícola às condições climáticas por meio do uso de modelos estatísticos empíricos e modelos baseados em processos biofísicos e socioeconômicos, que simulam a produtividade agrícola e suas interações com o ambiente e práticas de manejo (Jones et al., 2017). Os modelos empregados utilizam formulações matemáticas para representar o funcionamento dos sistemas naturais, seja simulando o crescimento de uma planta em condições meteorológicas específicas, a necessidade de suplementação alimentar para o gado ou outro processo que se queira avaliar.

A ampliação do conhecimento trazida pela modelagem sobre as múltiplas facetas dos sistemas agropecuários e seus componentes passou a apoiar mais extensivamente a tomada de decisão nas propriedades rurais e junto aos formuladores e tomadores de decisões na esfera política. Hoje esses modelos são amplamente empregados em agricultura de precisão, manejo de irrigação, manejo da fertilidade do solo, melhoramento genético das plantas, monitoramento e previsão de rendimento para o manejo de culturas, seguro agrícola, avaliação de impactos e adaptação à mudança climática, quantificação do sequestro de carbono no solo, impactos ambientais de mudanças na cobertura e uso da terra, previsão da produção das safras agrícolas e avaliações de risco de doenças.

3 Produtos de modelagem agroambiental para o suporte à tomada de decisão

Diversas tecnologias e produtos que fazem uso da modelagem agroambiental aplicada ao planejamento rural têm sido desenvolvidas, direta ou indiretamente, pelo Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental, com os principais eixos de atuação apresentados a seguir. Esses trabalhos podem ser agrupados em quatro vertentes centrais: i) obtenção, organização, armazenamento e distribuição de dados básicos para a modelagem agroambiental; ii) quantificação e análise dos riscos climáticos e resiliência dos sistemas agrícolas; iii) produtos para suporte ao planejamento territorial; e iv) integração de análises socioeconômicas na modelagem agroambiental. Embora essas vertentes sejam apresentadas de forma separada, para que sejam evidenciadas e especificadas, elas se complementam e em vários momentos se fundem no desenvolvimento das análises, na modelagem e na simulação para a geração do conhecimento e dos produtos aplicados ao planejamento rural de forma integrada.

3.1 Bases de dados para a pesquisa agrícola e ambiental

Um dos pré-requisitos para o uso de modelos é a obtenção, o armazenamento, o uso e a distribuição de dados agrometeorológicos. Estes devem ser adequados ao propósito que serão empregados, com as devidas coberturas espaciais e temporais, bem como de qualidade conhecida. Os dados climáticos são imprescindíveis para a modelagem agroambiental. Dessa forma, são desenvolvidas ferramentas voltadas para aquisição, armazenamento, processamento e disponibilização de dados agrometeorológicos para o Brasil.

Agritempo

O Agritempo³, disponível em portal e por meio dos aplicativos móveis Agritempo mobile e Agritempo GIS, vem oferecendo gratuitamente dados agrometeorológicos para apoiar as atividades agrícolas tanto no âmbito da propriedade rural, pela redução de riscos relacionados ao clima e ao tempo, quanto no suporte a políticas públicas, permitindo ações on-line de monitoramento agrometeorológico.

A principal inovação oferecida pelo sistema refere-se à automação de tarefas, permitida pelo uso das TIC, em que todo o processo de recebimento de dados, incorporação na base e construção de mapas ocorre automaticamente, realizado pelo sistema, sem intervenção humana. Isso proporciona maior rapidez e precisão, além de oferecer maior qualidade à própria base de

³ Disponível em: <http://www.agritempo.br>

dados, já que o sistema efetua automaticamente testes nas variáveis coletadas (Alencar et al., 2016).

O Agritempo mobiliza uma rede colaborativa com 40 instituições, envolvendo intercâmbio de dados meteorológicos, ações de pesquisa em agrometeorologia, geração de novas tecnologias como módulos e funcionalidades do sistema e disponibilização de informações como estudos e publicações científicas. O sistema organiza e administra um conjunto de mais de 1.600 estações meteorológicas, número esse em constante expansão. Também contém uma base de dados de pelo menos dez anos de imagens de satélites que podem ser usadas para auxiliar pesquisas em agrometeorologia.

Somente em 2019, o portal do Agritempo (Figura 1) teve 180.950 acessos, e os aplicativos móveis Agritempo mobile e o Agritempo GIS registraram, cada um, mais de 10 mil instalações, mostrando a demanda e a transferência das informações contidas nesses sistemas.

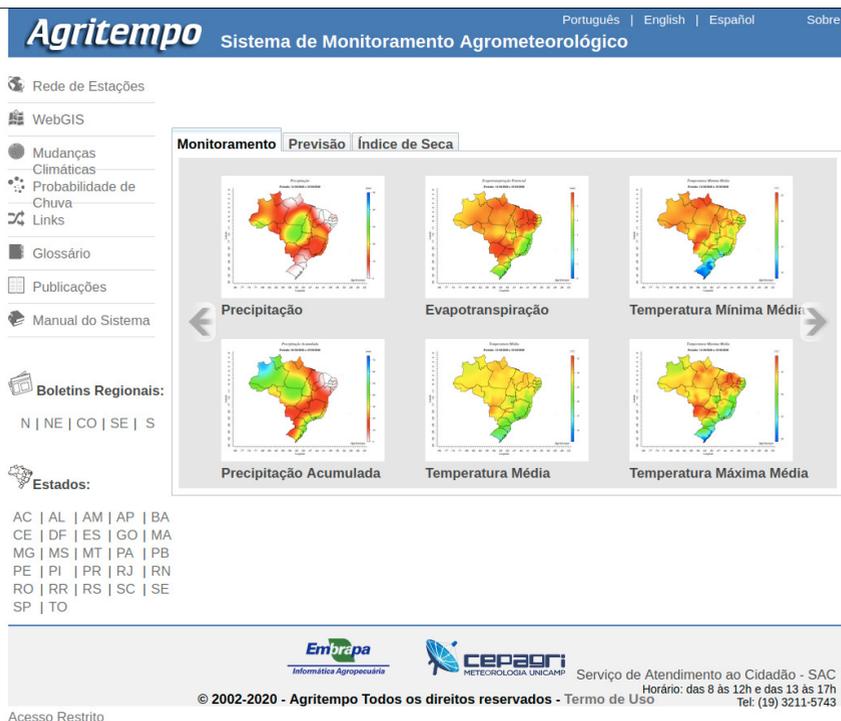


Figura 1. Interface do sistema Agritempo – versão 2.0.

Fonte: Agritempo (2020)

Conprees

Atualmente, a Embrapa Informática Agropecuária conta com sistemas de integração de dados meteorológicos e de sensoriamento remoto de diversas fontes. No entanto, a baixa densidade de estações meteorológicas em vastas

regiões do país, além de falhas inerentes à operação e à manutenção das estações existentes, acarreta ausência de dados confiáveis para muitas regiões produtoras. Mais recente, o CONPREES, acrônimo para dados meteorológicos Consistentes, Preenchidos e Especializados, entrará em fase de testes e operação em 2020. Esse sistema utiliza um número muito maior de fontes de dados provenientes de estações meteorológicas de instituições públicas e privadas, de modelos meteorológicos e de sensoriamento remoto. A partir disso, torna-se possível desenvolver uma base de dados com resolução e precisão suficientes para o monitoramento da ocorrência de eventos adversos e sinistros agrometeorológicos.

A integração de sistemas de monitoramento agrometeorológico e da cobertura vegetal por sensoriamento remoto, como o SATVeg – Sistema de Análise Temporal da Vegetação (detalhamento no capítulo 4), fornecerá informações sobre a biomassa vegetal que permitirão um acompanhamento mais efetivo das áreas monitoradas. Enquanto o acompanhamento agrometeorológico sistemático permite identificar condições desfavoráveis (baixas temperaturas, veranicos, deficiência hídrica etc.), os índices de vegetação obtidos de imagens de satélite podem indicar condições relacionadas ao manejo, como época de plantio, área plantada e vigor vegetativo. Além disso, os índices de vegetação sintetizam o vigor da vegetação durante o processo de desenvolvimento de uma cultura agrícola, ou seja, também representam as condições agrometeorológicas em uma área cultivada analisada ao longo da safra.

3.2 Avaliações de risco e resiliência climática

O clima é o principal fator ambiental associado à variabilidade da produtividade na agricultura. Os riscos climáticos, com potencial de causar perdas significativas ou totais à produção, podem ser divididos em dois grupos: i) relacionados a eventos extremos (baixas e altas temperaturas, chuvas muito intensas, ventos fortes, entre outros); e ii) relacionados a eventos cumulativos (secas prolongadas, temperaturas limitantes ao crescimento por longos períodos etc.).

A adoção de boas práticas de manejo agropecuário é considerada um dos meios mais viáveis de agregar resiliência ao sistema produtivo e diminuir a exposição aos riscos climáticos, possibilitando também reduzir as atuais lacunas de produtividade. Nesse contexto de servir ao planejamento rural e agrícola, a modelagem agroambiental focada em avaliação de risco e promoção da resiliência climática tem sido utilizada tanto em relação aos históricos dos fenômenos meteorológicos no desenvolvimento e na produtividade das culturas agrícolas quanto na simulação de cenários agrícolas futuros, em especial decorrentes das mudanças do clima. Dessa forma, o uso da modelagem pode orientar tanto os temas prioritários de pesquisa e desenvolvimento quanto às práticas a serem adotadas ou intensificadas nos

sistemas de produção, caso se constatem maior risco e vulnerabilidade ou redução da capacidade adaptativa.

3.2.1 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), regido pelo Programa Nacional do Decreto nº 9.841/2019 da Presidência da República, é um dos mais importantes exemplos de aplicação da modelagem agroambiental para a geração de valor e amplos benefícios sociais, econômicos e ambientais. Trata-se de um produto agrometeorológico que delimita regiões e épocas de plantio de acordo com suas probabilidades de perda de produção causada por eventos meteorológicos adversos. Esses estudos fundamentam-se em uma ampla base de conhecimento, dados agrônômicos e meteorológicos e técnicas de modelagem, combinados em sistemas de processamento em larga escala para geração e análise de diversos cenários por cultura, possibilitando uma avaliação dos impactos do clima associados com as características físico-hídricas do solo, os ciclos das culturas, as datas de plantio e a sensibilidade das culturas aos efeitos do clima nos diferentes estágios das plantas, dentre outros fatores (Santos; Martins, 2016). Os resultados traduzem-se em níveis de risco por decêndio de plantio para cada município.

O objetivo do ZARC é prover informações para a gestão de riscos climáticos na propriedade rural, bem como para os gestores públicos (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Banco Central do Brasil - BCB, Conselho Monetário Nacional - CMN), como suporte na tomada de decisão nos programas de seguro do Governo Federal, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Essas informações são utilizadas para evitar perdas excessivas com indenizações em áreas ou épocas de alto risco para a agricultura, bem como avaliar soluções para sistemas de produção menos suscetíveis às adversidades climáticas. Para fazer jus ao Proagro ou ao PSR, e assim ter acesso ao Crédito Rural, o produtor deve observar as recomendações do ZARC. Além disso, diversos agentes financeiros do setor privado condicionam a concessão do crédito rural aos indicativos do ZARC.

Na Embrapa Informática Agropecuária fica sediada a infraestrutura de nuvem de processamento, com servidores de grande porte dedicados ao ZARC. Neles é utilizado um sistema de gerenciamento de fluxo de trabalho para automatizar as etapas de pré-processamento (armazenamento e processamento dos dados utilizados pelos modelos agrometeorológicos), processamento (execução das simulações) e pós-processamento (cálculos de probabilidade, visualização dos resultados e processamento dos resultados finais), finalizando com a entrega à Secretaria de Política Agrícola (SPA-MAPA).

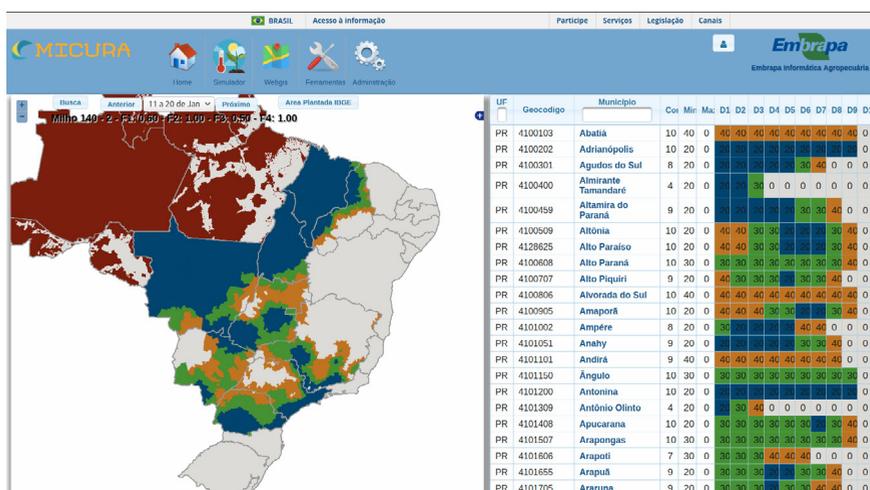
Os resultados gerados são armazenados em bancos de dados, disponíveis às diversas equipes no Brasil através do Micura (Figura 2), disponível

em www.micura.cnptia.embrapa.br. Esse sistema possibilita a visualização e a análise dos resultados do ZARC, permitindo que as equipes técnicas realizem validações e investiguem melhores formas de parametrização dos modelos. Após a verificação pelas equipes das culturas agrícolas analisadas, os resultados são apresentados ao público amplo em reuniões de validação em diversos estados do Brasil, por meio do Micura, com a participação de produtores rurais, técnicos, agrônomos, pesquisadores de diferentes instituições, gestores públicos, agentes de financiamento e de seguros e cooperativas. Caso os resultados não sejam aprovados, a equipe identifica e propõe os ajustes necessários e novos cenários são processados e apresentados, até que se obtenham resultados mais coerentes com a realidade do campo.

Figura 2.

Visualização de cenário do ZARC no sistema Micura.

Fonte: Micura (2020).



Os resultados são enviados ao MAPA para que este determine as janelas de plantio recomendadas para mais de 44 culturas agrícolas. Essas recomendações são a base dos programas de seguro relacionados ao Governo Federal, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO), o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária da Agricultura Familiar (PROAGRO MAIS) e a Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR).

Plantio Certo

Por se tratar de ferramentas voltadas ao uso acadêmico, os resultados dos modelos muitas vezes carecem de interpretação adequada. Dessa forma, para facilitar o acesso às indicações do ZARC, foi desenvolvido o aplicativo móvel Plantio Certo, disponível na loja de aplicativos da Embrapa em www.embrapa.br/aplicativos. Com ele, agricultores, agentes bancários e pessoas ligadas ao seguro rural conseguem consultar, de forma simplificada, os períodos de plantio recomendados pelo ZARC para diferentes culturas agrícolas em todos

os municípios brasileiros. O aplicativo também permite o monitoramento climático a partir da data de semeadura informada, retornando ao usuário informações de armazenamento de água no solo, precipitação acumulada, número de dias sem chuvas e temperaturas mínima e máxima.

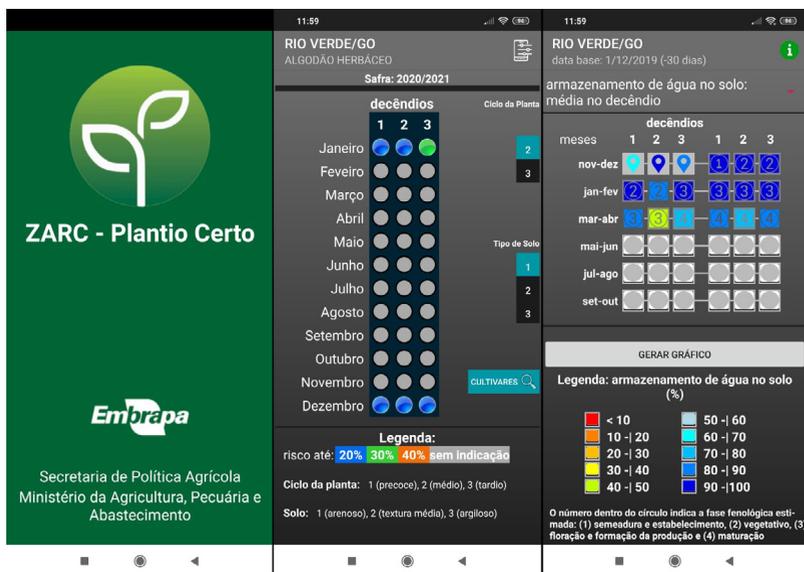


Figura 3. Telas do aplicativo Plantio Certo. No exemplo, recomendações de épocas de plantio para algodão herbáceo, no município de Rio Verde (GO), e acompanhamento das condições agrometeorológicas do local.

Fonte: Embrapa (2020)

3.2.2 Suporte ao planejamento e ao monitoramento da agropecuária

A disponibilidade de dados de sensores localizados no campo ou de plataformas remotas, com longa série temporal ou obtidos ao longo da safra e prontamente acessíveis à medida que são coletados, abre as oportunidades de monitorar a lavoura em tempo real e melhorar seu manejo. Isso pode ser realizado diretamente a partir dos dados brutos ou de índices derivados de medidas, como medidas de precipitação ou índices de vegetação (ex. SATVeg, descrito no capítulo 4), ou dos resultados de modelos mais complexos, que fazem uso desses dados. O emprego na modelagem pode ser feito de forma direta, em que os dados coletados são utilizados como parâmetros de entrada nos modelos (ex.: dados de temperatura e precipitação em um modelo de balanço hídrico), ou na forma de assimilação de dados, em que os resultados de um modelo são corrigidos ao longo de sua execução, à medida que novas observações de campo são incorporadas.

O auxílio no planejamento da atividade agropecuária e o monitoramento das condições do campo são de interesse tanto dos produtores quanto dos gestores dos mais variados setores, como seguro agrícola, revenda, indústria de processamento, entes governamentais, dentre outros. A Embrapa vem atuando nessa área com ferramentas como o Agritempo e o aplicativo móvel

Plantio Certo, o SATVeg, o Invernada, o WebAgritec, além de outras tecnologias em desenvolvimento.

Invernada

O Invernada, disponível em www.invernada.cnptia.embrapa.br, é um sistema de apoio ao planejamento da produção de bovinos de corte. Incorpora um banco de dados climáticos e de composição nutricional de pastagens e alimentos suplementares. Possui também modelos dinâmicos de crescimento de pastagens em função do clima e do conteúdo de água no solo, sendo capaz de estimar a distribuição sazonal da produção de forragem. Além disso, leva em consideração a seletividade dos animais em pastejo, o crescimento dos animais e o atendimento ou não das demandas nutricionais. O Invernada incorpora algoritmos para formulação de dietas com várias opções de otimização, sendo utilizado para diferentes aspectos da tomada de decisão na produção, desde o desempenho da pastagem até estratégias de manejo e nutrição dos animais, além de permitir a análise e a comparação de diferentes cenários.

WebAgritec

O WebAgritec disponibiliza, na forma de um website ou de um conjunto de APIs (*Application Programming Interface*), vários sistemas desenvolvidos na Embrapa Informática Agropecuária. As APIs fornecem um conjunto de funções e procedimentos que permitem a outras aplicações de software, internas ou de terceiros, acessar recursos, dados e funcionalidades dos sistemas desenvolvidos pela Embrapa Informática Agropecuária (detalhamento no capítulo 12). Os principais módulos disponíveis para o usuário são: zoneamento agrícola, previsão do tempo, seleção de cultivares, recomendação de adubação e calagem, identificação de doenças de plantas, estimativa da produtividade atingível para as culturas de soja, milho, arroz, feijão e trigo, além de um apoio assessorio com vídeos e recomendações. O módulo de produtividade utiliza dados meteorológicos da safra corrente como entrada em modelos calibrados para diferentes culturas. Dessa forma, o WebAgritec tem como objetivo principal apoiar os serviços de extensão rural no Brasil, sendo utilizado por instituições como as empresas de assistência técnica e extensão rural EMATER-GO e EMATER-MG. Além disso, considerando as funções de penalização de produtividade, o sistema vem sendo utilizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB-MAPA) para auxiliar na previsão de safra.

3.2.3 Avaliações de impactos das mudanças climáticas e ações de adaptação da agricultura baseadas em modelos agroambientais

Ao se incorporar as projeções climáticas futuras nos modelos agroambientais, obtidas de cenários projetados por modelos de clima, é possível avaliar o

impacto das mudanças climáticas nas culturas agrícolas. Por exemplo, podem-se aplicar essas projeções nos modelos do ZARC para avaliar se determinada cultura disporá de mais ou menos áreas de baixo risco.

Os impactos correntes e projetados para as próximas décadas são em geral derivados das tendências observadas no presente, que podem ser, por exemplo, derivadas das séries climáticas observadas. Essas projeções são de extrema importância para os produtores rurais e para o planejamento territorial da produção. Já as projeções dos impactos das mudanças climáticas no longo prazo são de extrema importância na definição de políticas públicas, antevendo as tendências e permitindo o planejamento de ações de adaptação e mitigação.

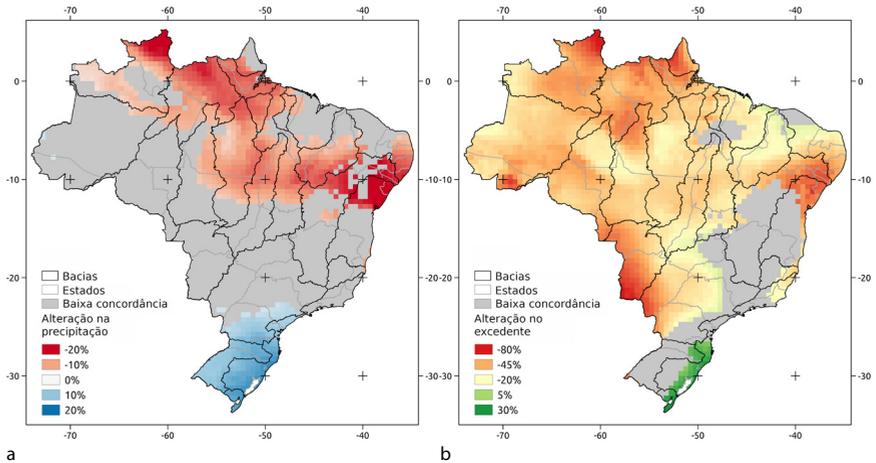
As ações de adaptação em geral buscam a redução da exposição aos riscos projetados ou o aumento da capacidade da resiliência dos sistemas de produção. Já as ações de mitigação têm como principal objetivo a adoção de práticas agrícolas e cultivos que reduzam as emissões ou que aumentem o sequestro de carbono nos sistemas agrícolas. Na agricultura, via de regra, as boas práticas agrícolas que promovem resiliência também apresentam o co-benefício da mitigação das mudanças climáticas, com a redução das emissões e/ou a melhoria do balanço de carbono no sistema agrícola. Nesse contexto, a Embrapa Informática Agropecuária tem dado grande contribuição, através de sua liderança no Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa, no preparo dos dados e na execução das simulações. Os resultados obtidos vêm servindo de base para importantes políticas públicas, como a definição das linhas estratégicas do Plano ABC e do Plano Nacional de Adaptação - Setor Agricultura.

Projeções climáticas

Para realizar as avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, o primeiro passo é o processamento e a análise das projeções climáticas, realizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês de Intergovernmental Panel on Climate Change) no âmbito global e pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) no contexto nacional. O processamento e tratamento das projeções climáticas é uma tarefa complexa e que demanda alta capacidade de processamento e armazenamento de dados. Atualmente, os cenários climáticos disponibilizados pelo IPCC encontram-se na sua sexta versão. A equipe da Embrapa Informática Agropecuária tem tradicionalmente disponibilizado esses dados para estudos de impactos das mudanças climáticas. Essa etapa envolve não apenas o processamento dos dados, mas sua análise e distribuição para utilização em modelos agroambientais. A Figura 4 apresenta, como exemplo, as alterações esperadas para o balanço hídrico, considerando o resultado das projeções climáticas de 76 realizações de diferentes modelos climáticos.

Figura 4.

Alteração na precipitação anual (A) e excedente hídrico (B), resultados da mediana de 76 projeções de modelos climáticos globais. Áreas em cinza indicam menos de 2/3 de concordância entre os modelos.



Impactos sobre a agricultura

Diversos estudos no Brasil deixam evidente que a concretização dos cenários de mudanças climáticas irá impactar severamente a agricultura brasileira (Assad et al., 2016). Ao contrário das regiões de altas latitudes, as regiões tropicais, exportadoras de commodities agrícolas, deverão experimentar impactos mais severos de mudanças climáticas sobre os rendimentos das culturas agrícolas (Stevanović et al., 2016). O aumento da temperatura média global poderá elevar a ocorrência de estresses térmicos e hídricos e, como consequência, diminuir a produtividade (Zhao et al., 2017). Estima-se que as mudanças climáticas já estejam reduzindo a produção agrícola global de 1 a 5% por década nos últimos 30 anos, e que continuem a representar desafios para as próximas décadas (Challinor et al., 2014).

A Embrapa Informática Agropecuária tem contribuído ativamente na compreensão, na quantificação e na proposição de medidas de adaptação às mudanças climáticas, como exemplo liderando o desenvolvimento do SCenAgri, que já foi utilizado como base de modelagem em alguns estudos no tema (Assad; Pinto, 2008).

Simulação de cenários agrícolas futuros

O SCenAgri (Simulador de Cenários Agrícolas) é um sistema criado com o objetivo de prover computação de alto desempenho para apoiar os pesquisadores na investigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. O sistema foi desenvolvido com base no modelo Bizon (Assad, 1986), e permite simular cenários agrícolas futuros utilizando dados de diversos modelos de projeções climáticas regionalizadas. Sua base inclui mais de 3.000 estações pluviométricas com dados diários de pelo menos 30 anos e está preparada para simular os riscos climáticos para 20 culturas anuais

e perenes. Estão também incorporados ao simulador diversos modelos de projeções futuras do clima, disponibilizados pelos projetos CMIP5 e CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phases 5 e 6*).

3.3 Planejamento territorial e uso da terra

Ao pensar em planejamento rural, é essencial compreendermos aspectos do território e suas inter-relações biofísicas e humanas. A integração e a articulação entre as diversas escalas de território e seus atores mostram-se complexas e sensíveis, sendo necessária uma série de considerações preliminares com implicações em âmbito local, municipal e regional. Deve-se levar em consideração que o planejamento rural avançou além do planejamento agrícola e precisa integrar elementos dos diferentes domínios disciplinares. Por exemplo, não considerar apenas a conservação do solo, a irrigação e a drenagem, mas a alocação dos recursos hídricos e o gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, envolvendo as populações urbanas e rurais. Deve-se ainda reconhecer a existência de interesses conflitantes e desenvolver processos para lidar com isso.

Nesse sentido, é fundamental a obtenção de dados e informações sociais, econômicas e ambientais para apoiar a tomada de decisão sobre o uso da terra nas diferentes escalas do território. Estudos e aplicação de modelos em bases territoriais permitem a melhor compreensão dos processos de expansão, retração, transição, conversão e intensificação agrícola e podem apoiar as políticas públicas associadas às mudanças climáticas e ao desenvolvimento rural sustentável brasileiro (Bolfé et al., 2016).

Ao aliar à modelagem agroambiental em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o uso de dados geográficos e de sensoriamento remoto, é possível apoiar o ordenamento territorial a partir de análises espaciais mais complexas, integrando informações de solo, clima, vegetação, agricultura, recursos hídricos e socioeconômicas. Como exemplo, pode-se destacar a geração de modelos e simulações associadas ao potencial de uso das terras, análises e projeções em dinâmica agrícola, zoneamentos agroecológicos e ecológico-econômicos e a avaliações de risco e resiliência climática.

Como na maioria dos produtos e das ferramentas apresentados neste capítulo, essas informações espaciais e temporais apoiam a tomada de decisão gerencial em políticas públicas e ações privadas no planejamento rural de propriedades, microbacias, municípios, estados ou biomas. Dessa forma, favorecem a maior diversificação produtiva e o uso mais sustentável de recursos naturais no meio rural.

Agroideal

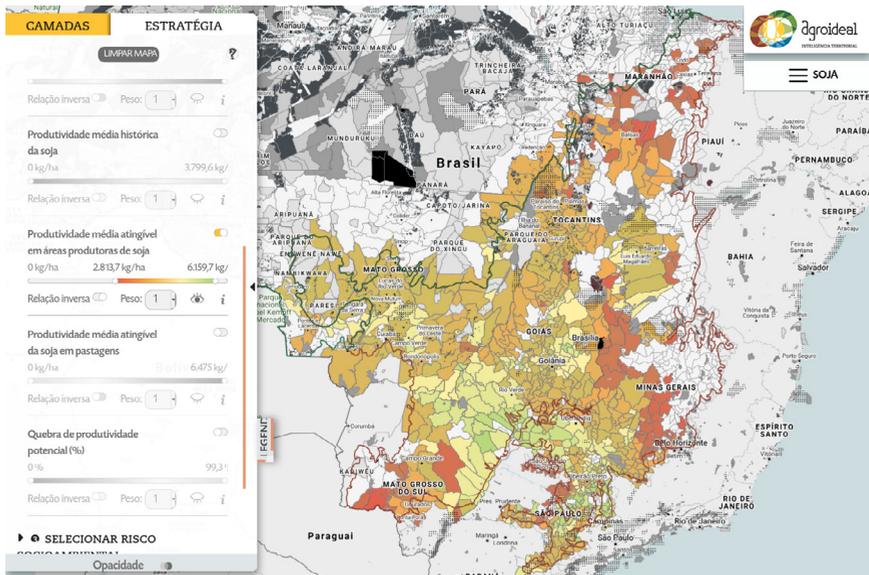
O sistema Agroideal, disponível em agroideal.org, desenvolvido pela *The Nature Conservancy* (TNC), em parceria com a Embrapa Informática

Agropecuária e empresas comerciais do setor agrícola, representa um exemplo da aplicação de modelos agroambientais na tomada de decisão de ocupação territorial. O Agroideal congrega informações logística (localização de silos de armazenagem), socioeconômica (ocorrência de conflitos de terra) e de legislação ambiental (localização de unidades de conservação) com informações de modelos de crescimento de culturas (produtividade atingível da soja). Dessa forma, o tomador de decisão pode avaliar sua estratégia de atuação, identificando os riscos e as oportunidades das diferentes regiões do Brasil. A estimativa da produtividade atingível de soja (Figura 5) só foi possível graças à organização de uma grande base de dados climáticos englobando todo o território, aliada a um banco de características físico-hídricas dos solos brasileiros, os quais foram utilizados em um modelo de crescimento de culturas agrícolas.

Figura 5.

Produtividade média atingível em áreas de produção de soja nos municípios do bioma Cerrado com produtividade atingível acima de 3.000 kg ha⁻¹.

Fonte: Agroideal (2020).



Dinacer

Outro exemplo de base de dados e informação gerada para o apoio à tomada de decisão pública e privada, que objetiva favorecer o desenvolvimento agrícola em bases geoespaciais de uso da terra, é o Dinacer - Dinâmica Agrícola no Cerrado (Bolfé et al., 2020). Esse bioma possui importância estratégica para os interesses do país no campo da segurança alimentar, da agricultura ambientalmente sustentável e da preservação da biodiversidade. O Dinacer, executado com a colaboração do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), analisou aspectos edafoclimáticos e vegetacionais, políticas públicas, pesquisas, inovações, assistência técnica, dinâmicas agrícolas, produtividade, mudança do clima, projeções e potencialidades para expansão e diversificação agrícola do bioma. As análises consideraram, sempre que possível, o período correspondente às quatro décadas passadas até projeções 20 anos à frente. Uma das análises avaliou o potencial de expansão da agricultura em áreas ocupadas por pastagens cultivadas (Figura 6). Foi identificado que 44,5 milhões de hectares de pastagens apresentam características climáticas e de relevo semelhantes às áreas atualmente ocupadas com agricultura anual de sequeiro (Victoria et al., 2020).

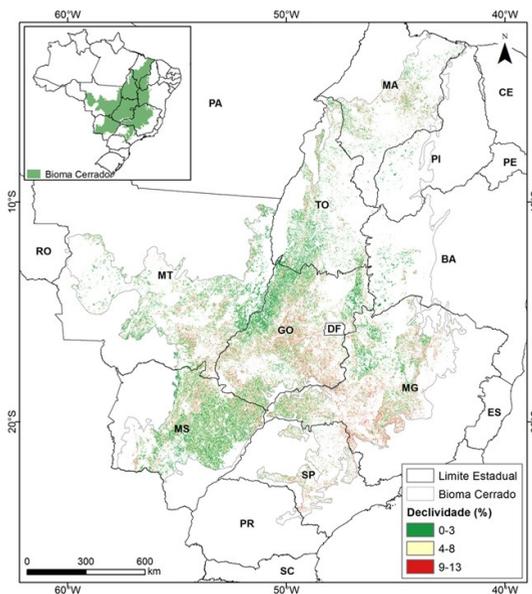


Figura 6. Áreas de pastagens cultivadas no bioma Cerrado com potencial para agricultura anual, de acordo com o balanço hídrico, discriminadas em faixas de declividade.

Fonte: Victoria et al. (2020)

3.4 Aplicações dos modelos agroambientais para conservação dos serviços ecossistêmicos

Os modelos agroambientais são uma potente ferramenta no planejamento de uma agricultura digital, tecnificada e sedimentada em robusto conhecimento sobre o funcionamento dos agroecossistemas, considerando outras vertentes do relacionamento da agricultura com seu meio de produção, que vão além da geração de alimentos, fibras e energia. Esses aspectos analisam outros benefícios como os impactos dos sistemas agrícolas na manutenção da regulação hídrica (através da avaliação da pegada hídrica), na regulação climática, dentre outros serviços ecossistêmicos usufruídos pela sociedade.

Serviços ecossistêmicos são os benefícios direta e indiretamente apropriados pelo homem a partir do funcionamento de ecossistemas saudáveis.

Sua importância para o sistema econômico e para o bem-estar das gerações futuras é cada vez mais reconhecida, já que fornecem bens (como alimentos) e serviços (como a assimilação de resíduos) indispensáveis.

Segundo Costanza et al. (1997), são exemplos de serviços ecossistêmicos, entre muitos outros: o ciclo de carbono e de nutrientes, o ciclo da água, a formação dos solos, o controle da erosão, a regulação do clima, a conservação e a evolução da biodiversidade, a concentração de minerais, a dispersão ou a assimilação de contaminadores e as diversas formas utilizáveis de energia. Os autores estimaram o valor anual dos fluxos globais de 17 serviços em 16 tipos de ecossistemas. Os resultados mostram que o capital natural do planeta Terra renderia, anualmente, um fluxo médio estimado de US\$ 33 trilhões por ano, cerca de 1,8 vezes superior ao produto bruto mundial à época (US\$ 18 trilhões), a preços de 1994.

A Avaliação Ecológica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), conduzida entre 2001 e 2005, teve como objetivo fornecer bases científicas para a gestão sustentável dos ecossistemas, permitindo a provisão contínua dos serviços por eles gerados. Esse trabalho demonstra o reconhecimento, pela comunidade internacional, da necessidade e da urgência de medidas inovadoras para proteger os ecossistemas, dosando a sua preservação com os objetivos de desenvolvimento econômico (Andrade; Fasiaben, 2009).

Apesar da importância dos serviços ecossistêmicos, estes não são atualmente considerados nas transações econômicas, pois são tidos como “gratuitos” ou “presentes” da natureza. O fato de não serem precificados como outros bens ou serviços faz com que não haja incentivos para sua preservação, levando à superexploração e, muitas vezes, à sua perda total (Andrade; Fasiaben, 2009). No entanto, tais serviços e os estoques de capital natural que os produzem são críticos para o suporte da vida na Terra. Eles contribuem para o bem-estar humano, e, portanto, representam parte do valor econômico total do planeta.

À medida que o capital natural e os serviços ecossistêmicos se tornem mais superexplorados e escassos, pode-se esperar que seu valor aumente. Assim, justificam-se plenamente estudos relacionados à sua conservação, buscando garantir a provisão dos serviços ecossistêmicos e o subsídio à formulação de políticas que caminhem nessa direção. Nesse sentido, a modelagem agroambiental prevê instrumentos de suporte à tomada de decisão de agentes públicos e privados.

WebAmbiente

O WebAmbiente⁴, é um sistema interativo que tem como objetivo facilitar o armazenamento e a busca de informações sobre soluções tecnológicas para uso, recuperação e restauração de ambientes em áreas de reserva legal

⁴ Disponível em: www.webambiente.gov.br

e de preservação permanente nos seis biomas. O sistema foi desenvolvido pela Embrapa e pela Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em cooperação com especialistas de instituições parceiras. Nele é disponibilizado aos agentes multiplicadores da Assistência técnica e extensão rural (Ater) um conjunto de informações voltadas à recuperação ambiental, em especial um detalhado banco de dados sobre espécies nativas, além de artigos, vídeos e glossário que abordam diversos temas e técnicas, como coleta de sementes, produção de mudas, estratégias de plantio e de restauração ecológica. O sistema fornece ao usuário uma ferramenta amigável que auxilia a geração de um relatório contendo sugestões de espécies nativas (Figura 7), estratégias de recomposição e boas práticas a serem adotadas a partir da caracterização da propriedade rural em termos do bioma, da vegetação anterior, do solo e das condições de risco. O WebAmbiente, alinhado ao Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar), amplia a integração com o Serviço Florestal Brasileiro (SFB),

WebAmbiente

Home | Simulador | Estratégias | Espécies | Biblioteca Digital | Glossário | Perguntas Frequentes | Entrar | Fale conosco

[< Voltar](#)

Acrocomia aculeata (Jacq) Lodd. ex Mart.

Identificação

Espécie: *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart.

Nome Popular: Bocaiuva, Macaúba, Coco-babão, Coco-babosa, Coco-macaúba, Coqueiro-de-espinho, Macajuba, Macaibeira, Palmeira-macaúva, Coquinho

Sinonímia: *Cocos aculeata* Jacq.

Família: Arecaceae

Bioma: Amazônia, Cerrado, Pantanal

Formação Vegetal: Campestre, Florestal, Savânica

Fitofisionomias: Campo não Inundável, Cerrado Típico, Cerradão, Chaco, Mata Ciliar, Mata Ripária, Mata Seca, Mata Seca (decidua), Mata Semidecídua, Mata de Galeria, Palmeiral, Savana, Terra Firme

Presença nos estados: BA, CE, DF, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, SP, TO

Área de Ocorrência

Google Maps

Indivíduo
Autor: Iria Ishii

Produção de Mudas

Período de coleta de sementes: Cerrado - ago-fev ; Pantanal - ago-dez; Amazônia - set-jan

Figura 7. Catálogo de plantas nativas do WebAmbiente.

Fonte: WebAmbiente (2020).

sendo uma das suas principais funções apoiar a implementação do novo Código Florestal, ao estimular o uso do Cadastro Ambiental Rural (CAR).

Recursos hídricos

Apesar de o Brasil ser considerado um país com grande disponibilidade de recursos hídricos, existem diferenças regionais e variações ao longo do ano que fazem com que seja importante estudar seus regimes hidrológicos. Ações humanas, como alterações do uso e cobertura da terra, e oscilações nos padrões climáticos podem afetar a disponibilidade dos recursos hídricos, alterando a vazão natural nos cursos d'água. Essas alterações podem afetar a vazão tanto em pequenas bacias (Bosch; Hewlett, 1982) quanto em grandes áreas (Costa et al., 2003). O mesmo se aplica aos diferentes sistemas de cultivo e culturas agrícolas, com características distintas quanto à interceptação da chuva e de água no solo. Tais alterações podem modificar o total e a taxa de transformação da chuva em vazão, em geral incrementando a porção escoada para os corpos hídricos quando da alteração antrópica (Lima et al., 2014).

Nesse sentido, modelos biofísicos acoplados a modelos hidrológicos permitem avaliar os impactos de ações humanas ou mudanças climáticas nos recursos hídricos. Tais modelos variam em seu grau de complexidade, podendo ser aplicados nas mais diferentes escalas e situações. Como exemplo, pode-se citar a integração dos resultados do balanço hídrico com modelos econômicos de equilíbrio geral, permitindo avaliar os efeitos da expansão da irrigação na demanda hídrica frente à oferta de água (Ferrarini et al., 2020)

Integração de análises socioeconômicas na modelagem agroambiental

Projetos executados em parceria com outras unidades da empresa⁵ e com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) trabalharam no sentido de melhorar o retrato da produção agropecuária brasileira. Dados do Censo Agropecuário do IBGE serviram de base para diferenciar os tipos de sistemas de produção de bovinos de corte e de cana-de-açúcar em uso pelos produtores ao longo do território nacional. A partir desses trabalhos foram escolhidos os tipos de sistemas de produção mais representativos para serem estudados de forma mais aprofundada. A equipe do projeto realizou reuniões com produtores, técnicos e outros agentes ligados à agropecuária regional, nas quais aprofundaram a descrição do comportamento técnico e econômico desses produtos nas propriedades rurais. As informações levantadas permitiram, ademais, associar as diferentes formas de produção com os impactos ambientais, como o cálculo das emissões de gases de efeito estufa.

⁵ Projeto Siscana, Plano de Ação de Socioeconomia: Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Tabuleiros Costeiros; Projeto Componente de Economia da Rede PECUS: Embrapa Gado de Corte, Embrapa Gado de Leite, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Pantanal, Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Pecuária Sul, Embrapa Florestas e Embrapa Suínos e Aves.

Os resultados obtidos foram incorporados a modelos matemáticos de uso da terra – que explicam como se dá a expansão da atividade –, e foram a base para a construção de Inventários de Ciclo de Vida (ICV), que resultaram em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de cana-de-açúcar e derivados da produção pecuária. Tais trabalhos contribuem para a melhoria do desempenho ambiental de produtos, possibilitando a redução de impactos ambientais e socioeconômicos. Os coeficientes técnicos gerados contribuíram com os resultados de diversos projetos da Embrapa junto a diferentes parceiros⁶, além de colaborar com a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

Como resultado têm-se informações mais fidedignas do desempenho ambiental de produtos agrícolas brasileiros. Essas informações foram inseridas pela Embrapa no mais importante banco internacional de ICV, o ecoinvent, disponível em www.ecoinvent.org, por meio do ICVAgroBR, que disponibilizou mais de 400 ICV de produtos agrícolas brasileiros. Tais ações concorrem para o aumento da competitividade dos produtos agrícolas no mercado internacional e para a promoção da sustentabilidade da agricultura brasileira.

A caracterização dos sistemas de produção de cana-de-açúcar foi adotada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no âmbito do financiamento de Usinas Flex e pelo RenovaBio. A ferramenta para a contabilidade da pegada de carbono de biocombustíveis, RenovaCalc, um dos pilares do RenovaBio, foi desenvolvida pela Embrapa e parceiros. Essa política contribui fortemente para a adoção de um modelo mais sustentável de produção de bioenergia e biocombustíveis e para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transportes, colaborando para o atingimento das metas nacionais assumidas no Acordo do Clima de Paris de 2015, bem como para a segurança energética nacional.

Uma outra vertente dos trabalhos da equipe vale-se de modelos que integram as dimensões biológica e econômica, com diferentes graus de complexidade e recortes regionais, para avaliar os efeitos de estratégias de intensificação sobre a sustentabilidade. Mais recentemente, modelos econômicos mais complexos têm sido desenvolvidos, com o objetivo de investigar os impactos potenciais de choques de oferta, como ganhos de produtividade, e de demanda, como aumento da população e da renda *per capita*, sobre mudanças na agricultura brasileira e global, como preços de equilíbrio e dinâmica de uso da terra. Desse modo, amplia-se a capacidade para se

⁶ Entre tais projetos, podem-se destacar: “Avaliação do Ciclo de Vida da cana-de-açúcar e seus derivados produzidos no Centro-Sul brasileiro, baseada em dados, fatores e modelos adaptados às condições nacionais” (ACV-cana, Embrapa); “A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política” (BNDES) - <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2496>; “Inventários de Ciclo de Vida de produtos agrícolas brasileiros: uma contribuição ao banco de dados ecoinvent” (ICVAgroBR, SECO, Suíça).

investigar cenários futuros de expansão, competitividade e sustentabilidade para a agropecuária brasileira, bem como os impactos potenciais de algumas das políticas públicas de interesse setorial.

Aplicações para quantificação e estratégias de mitigação das emissões de GEE

Apesar de afetada pelas mudanças climáticas, a agropecuária poderá contribuir para a redução das emissões de GEE e a atenuação dos impactos da mudança do clima. Isso porque as ações de mitigação propostas para o setor também servem como formas de adaptação, ou seja, ao fomentar maior sequestro de carbono, elas também trazem como resultado menores perdas de nutrientes nos agroecossistemas e melhoria da estrutura física e da disponibilidade de água no solo, por exemplo. Portanto, tais ações também promovem melhores índices de produtividade e melhor uso dos recursos naturais. A mitigação das emissões resulta em balanços de GEE mais favoráveis, ajudando na transição para uma produção agropecuária de baixa emissão.

Na definição das tecnologias constantes do Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) aplicaram-se estimativas do balanço do carbono apoiadas na diferença entre emissões e sequestro nos sistemas de produção a partir de dados derivados de experimentos realizados pela Embrapa e uso de modelos simplificados para o cômputo de quanto se poderia tornar esse balanço mais favorável, com a adoção de boas práticas ou tecnologias estimuladas pelo Plano, em relação ao que se faz tradicionalmente no manejo dos sistemas agrícolas, pecuários e florestais. No jargão técnico, essa melhoria do balanço em relação ao que se costuma fazer, i.e., do *business as usual*, é chamada de adicionalidade. Focando na garantia da sustentabilidade na agricultura em todas as suas vertentes, foram consideradas apenas tecnologias e práticas adaptadoras, que além de apresentarem adicionalidade trazem maior eficiência, diversificação ou rentabilidade para o agricultor, aliadas a esse cobenefício da redução das emissões.

Estudos mais complexos sobre o balanço de carbono em sistemas agrícolas, pecuários e florestais, incluindo os sistemas integrados, foram realizados pelos projetos Fluxus, Pecu e Saltus, respectivamente. Estes permitiram aprimorar os modelos de balanço de carbono nos sistemas de produção brasileiros, o conhecimento sobre a emissão de GEE desses sistemas e sua aplicação no inventário nacional de gases para o setor agrícola, que faz parte da comunicação nacional à ONU e que contém um balanço nacional de quanto se emite no setor.

Como forma de monitoramento da efetividade do Plano ABC e suas ações, criou-se a Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária. A Plataforma ABC utiliza modelos baseados em dados georreferenciados e parâmetros sobre

as emissões de GEE dos diferentes sistemas de produção para estimar as reduções de emissões durante os dez primeiros anos de vigência do Plano ABC, possibilitando avaliar o cumprimento das metas estabelecidas para suas diferentes tecnologias. Outra ferramenta que contribui nesse sentido são os protocolos para estimativas de balanço de GEE (do inglês, *GHG Protocol*), internacionalmente aceitos como as melhores práticas para a quantificação das emissões de GEE corporativas, de projetos ou de produtos. Esses protocolos procuram oferecer diretrizes técnicas específicas para o setor agrícola nacional, constituindo-se em ferramentas para mensurar e gerir as emissões agrícolas, sobretudo no setor privado, a exemplo do programa implementado pela WRI Brazil⁷.

O **GHG Protocol** vem sendo utilizado no projeto Carbono Araguaia, abrigado pela Liga do Araguaia⁸. A ferramenta foi adaptada ao contexto nacional a partir de parâmetros da agricultura e da pecuária tropicais, desenvolvidos pela Embrapa e pela Unicamp, e permite o monitoramento da redução de emissões de GEE resultantes da adoção de práticas de intensificação em 24 fazendas de pecuária da região, totalizando 89.000 hectares de pastagens.

Para a cadeia dos biocombustíveis, a modelagem contribui significativamente por meio do desenvolvimento da *RenovaCalc*⁹, em parceria com a Embrapa Meio Ambiente. A *RenovaCalc* é uma calculadora da pegada de carbono dos biocombustíveis, ou seja, da intensidade de emissões de GEE no ciclo de vida de biocombustíveis, e permite gerar as estimativas necessárias para o mercado de carbono relacionado ao etanol, ao biodiesel, ao biometano e à bioquerosene de aviação.

Outro bom exemplo prático dessa derivação da modelagem agroambiental é o esforço no sentido de estimar, monitorar, melhor comunicar e destacar boas práticas no setor da carne que estejam de acordo com as recomendações do IPCC e com a legislação socioambiental brasileira e internacional. Trata-se do desenvolvimento de padrões para uma certificação voluntária de produtos pecuários, a Plataforma Pecuária de Baixo Carbono Certificada, liderada pela Embrapa Gado de Corte e com significativa participação de pesquisadores da Embrapa Informática Agropecuária. Está alinhada ao Plano ABC, pois estimula e valoriza o uso de sistemas pecuários com um balanço de carbono mais favorável, como sistemas de ILP, ILPF, silvipastoris e pastagens intensificadas, possuindo os seguintes protocolos: Carne Carbono Neutro (CCN) ou *Carbon Neutral Brazilian Beef* (CNBB), Carne Baixo Carbono (CBC) ou

⁷ Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/o-que-fazemos/projetos/ghg-protocolo-agropecuario>

⁸ Disponível em: <http://www.ligadoaraguaia.com.br/projetos-da-liga/>

⁹ Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio/renovacalc>

Low Carbon Brazilian Beef (LCBB), Carbono Nativo (CN), Bezerra Baixo Carbono (Bezerra-CN) e Couro Carbono Neutro (Couro-CN). O protocolo desenvolvido pela Embrapa permite a parceiros o uso das respectivas marcas-conceito – de maneira simplificada, “selos ambientais” – em suas atividades. Essa certificação permitirá que os consumidores compreendam e reconheçam os esforços de produção dos agricultores para promover sistemas agrícolas sustentáveis, com baixa emissão de GEE e que reforçam a estratégia de uma abordagem integrada da paisagem. Outro ponto importante é a dissociação do desmatamento e a diferenciação da carne produzida pelo Brasil com sustentabilidade, melhorando a visão e a aceitação internacional da carne brasileira num mercado internacional, em que o país é altamente competitivo.

Outra importante iniciativa para apoio à formulação de políticas públicas brasileiras para mitigação das emissões de GEE foi o desenvolvimento do modelo EAGGLE (*Economic Analysis of Greenhouse Gases for Livestock Emissions*). Trata-se de um modelo de otimização detalhado que avalia economicamente estratégias de recuperação de pastagens e mitigação de GEE em sistemas de produção de gado de corte (De Oliveira Silva et al., 2017). Desenvolvido em parceria entre Embrapa, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Universidade de Edimburgo, o modelo explora cenários mais complexos focados no melhor aproveitamento sustentável da área de produção por meio do aumento da produtividade e da diversidade de técnicas e produtos, ou, no jargão mais técnico, intensificação sustentável da produção animal. Ademais, permite analisar a otimização da taxa de adoção das principais práticas relacionadas à eficiência do desempenho animal (suplementação de pastagem, confinamento) e da pastagem (restauração direta e indireta, irrigação), para mitigação de emissões e economia de terras. Foi usado pelo governo brasileiro para desenvolver políticas nacionais voltadas às ações de mitigação de emissões, particularmente na submissão da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês) (De Oliveira Silva et al., 2018), documento que registra os principais compromissos e contribuições do Brasil para o acordo climático de Paris, e também para a análise consequencial da intensificação da produção de carne no Brasil (De Oliveira Silva et al., 2016).

Todas essas iniciativas têm sido realizadas com a forte colaboração do Grupo de Pesquisa em Modelagem Agroambiental e, também, da presidência do Portfólio de Mudanças Climáticas da Embrapa, sob responsabilidade da Embrapa Informática Agropecuária. Elas representam a contribuição da Embrapa no atendimento de diversas demandas da sociedade no que se refere à interface mudanças climáticas e agricultura, com o uso de ferramentas de simulação para vislumbrar e influenciar, positivamente, as tendências para a agricultura no clima futuro.

4 Considerações finais

Modelos e simuladores capazes de retratar com acurácia e precisão as respostas dos agroecossistemas demandam dados em quantidade e qualidade para sua calibração, validação e para a fusão entre modelos e dados. Nessa “era big data”, os dados derivados de estações experimentais, fundamentais para direcionar o desenvolvimento de modelos e simuladores, devem ser complementados pela massiva coleta de dados no campo. Obviamente essa maior capacidade de coleta de dados deve vir acompanhada de capacidade compatível de transferência (*IoT*, computação nas nuvens) e armazenamento (*big data*). E uma vez que se tenha dados em quantidade e qualidade adequadas, os algoritmos e as ferramentas de análise podem ser aperfeiçoados e/ou desenvolvidos, testados, validados e disponibilizados como parte da melhoria no processo de tomada de decisão no âmbito dos estabelecimentos agropecuários, das cadeias produtivas e também na formulação de políticas públicas.

Um dos grandes desafios da era digital é a integração eficiente de dados, informações e conhecimento em modelos e algoritmos. Essa contínua incorporação de novos conhecimentos a modelos matemáticos e algoritmos para assimilação de dados, análises de decisão e otimização, e o uso integrado de dados espaciais multifontes e multitemporais por meio da modelagem agroambiental são essenciais para promover a competitividade e o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. É necessário intensificar as parcerias público-privadas de modo a possibilitar massiva coleta de dados, no espaço e no tempo, e avanços mais rápidos na pesquisa para assimilação dessas medidas, gerando assim análises, produtos e serviços que possam ser utilizados pelos produtores rurais e pelos tomadores de decisão nas esferas pública e privada.

A eficiência e a sustentabilidade serão demandadas aos produtores de forma crescente, em face do aumento do custo de produção e das demandas não apenas de produtos agropecuários, mas também de serviços ambientais e ecossistêmicos a eles associados. Empresas e prestadores de serviços deverão estar mais interligados nos ecossistemas de inovação via institutos de pesquisa, universidades e extensão rural. Os mercados consumidores, nacionais e internacionais, tendem a demandar cada vez mais alimentos, fibras e energia com certificações que garantam, além da qualidade, a produção sustentável. Portanto, soluções tecnológicas digitais que integrem um amplo espectro de conhecimento serão fundamentais para orientar os diversos atores do agronegócio brasileiro.

Como se exemplificou ao longo de todo este capítulo, a Embrapa Informática Agropecuária tem se empenhado no desenvolvimento direto e no apoio ao desenvolvimento de novas tecnologias, e também em tornar essa tecnologia acessível e capaz de levar inovação a toda a sociedade, potencial usuária da agricultura digital num futuro muito próximo.

5 Referências

AGRITEMPO. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Acesso em: 25 maio 2020.

AGROIDEAL. Disponível em: <https://www.agroideal.org/>. Acesso em: 25 maio 2020.

ALENCAR, J. R.; ROMANI, L. A. S.; MERLO, T. P.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F. Avaliação dos impactos do uso do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo). **Revista de Política Agrícola**, ano 25, n. 1, p. 5-19, jan./fev./mar. 2016.

ANDRADE, C. A.; FASIABEN, M. do C. R. A utilização dos instrumentos de política ambiental para a preservação do meio ambiente: o caso dos Pagamentos por Serviços Ecosistêmicos (PSE). **Economia Ensaios**, v. 24, n. 1, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23981/1/2223-29258-1-PB-1.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2020.

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão rápida e integrada da gestão de riscos agropecuários no Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2015. 76 p.

ASSAD, E. D. **Simulation de l'irrigation et du drainage pour les cultures pluviales de riz et de mas en sols de bas-fonds à Brasília**. Montpellier: IRAT, 1986. 10 p. (IRAT. Memories et travaux, 13).

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F. de; NAKAI, A. M.; PAVÃO, E.; PELLEGRINO, G. Q.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In: **MODELAGEM climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. p. 127-188.

ASSAD, E.; PINTO, H. S. (coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa: Unicamp, 2008.

BOLFE, E. L.; LOPES, D. B.; CONTINI, E. Territórios & políticas públicas rurais. **Clima com Cultura Científica**, v. 3, p. 1-15, 2016.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, 308 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212381/1/LV-DINAMICA-AGRICOLA-CERRADO-2020.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2020.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, n. 1-4, p. 3-23, Feb. 1982. DOI: [10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2).

CHALLINOR, A. J.; WATSON, J.; LOBELL, D. B.; HOWDEN, S. M.; SMITH, D. R.; CHHETRI, N. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 4, p. 287-291, Apr 2014. DOI: [10.1038/nclimate2153](https://doi.org/10.1038/nclimate2153).

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, n. 1-4, p. 206-217, Dec 2003. DOI: [10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1).

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, May 1997. DOI: [10.1038/387253a0](https://doi.org/10.1038/387253a0).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MATSUURA, M. F.; ALBERTINI, T. Z.; FERNANDES, F. A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 493-497, 2016. DOI: [10.1038/nclimate2916](https://doi.org/10.1038/nclimate2916).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MORETTI, A. C.; VELOSO, R. F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M.; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201-211 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001).

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; PELLEGRINO, Q. G.; MORAN, D. The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. **Agricultural Systems**, v. 161, p. 102-112, Mar 2018. DOI: [10.1016/j.agsy.2018.01.003](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.003).

EMBRAPA. **Aplicativo Zarc – plantio certo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6516/aplicativo-zarc---plantio-certo>. Acesso em: 25 maio 2020.

FERRARINI, A. dos S. F.; FERREIRA FILHO, J. B. de S.; CUADRA, S. V.; VICTORIA, D. de C. Water demand prospects for irrigation in the São Francisco river: Brazilian public policy. **Water Policy**, v. 22, n. 3, p. 449-467, Apr 2020. DOI: [10.2166/wp.2020.215](https://doi.org/10.2166/wp.2020.215).

JONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T.; FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSENS, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 240-254, July 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2016.05.014](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014).

LIMA, L. S.; COE, M. T.; SOARES FILHO, B. S.; CUADRA, S. V.; DIAS, L. C. P.; COSTA, M. H.; LIMA, L. S.; RODRIGUES, H. O. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: implications for the provision of ecosystem services. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 261-274, 2014. DOI: [10.1007/s10980-013-9962-1](https://doi.org/10.1007/s10980-013-9962-1).

MICURA. Disponível em: <https://www.micura.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 25 maio 2020.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and human well-being**: synthesis. Washington, D.C.: Island Press, 2005.

NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

ROSSETTI, L. A. Seguro rural e zoneamento agrícola no Brasil: novos rumos. **Revista de Política Agrícola**, ano 4, p. 33-43, out./dez. 1998.

SANTOS, W. G. dos; MARTINS, J. I. F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 73-94, dez. 2016.

STEVANOVIĆ, M.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H.; DIETRICH, J. P.; MÜLLER, C.; BONDSCH, M.; SCHMITZ, C.; BODIRSKY, B. L.; HUMPENÖDER, F.; WEINDL, I. The Impact of High-End Climate Change on Agricultural Welfare. **Science Advances**, v. 2, n. 8, p. e1501452, Ago 2016. DOI: [10.1126/sciadv.1501452](https://doi.org/10.1126/sciadv.1501452).

VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C. Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado**: análises e projeções. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, p. 229-258. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212396/1/PL-Dinamica-agricola-cap8-2020.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2020.

WEBAMBIENTE. Disponível em: <https://www.webambiente.gov.br/>. Acesso em: 25 maio 2020.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MÜLLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 29 ago. 2017. DOI: [10.1073/pnas.1701762114](https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114).