

# Capítulo 6

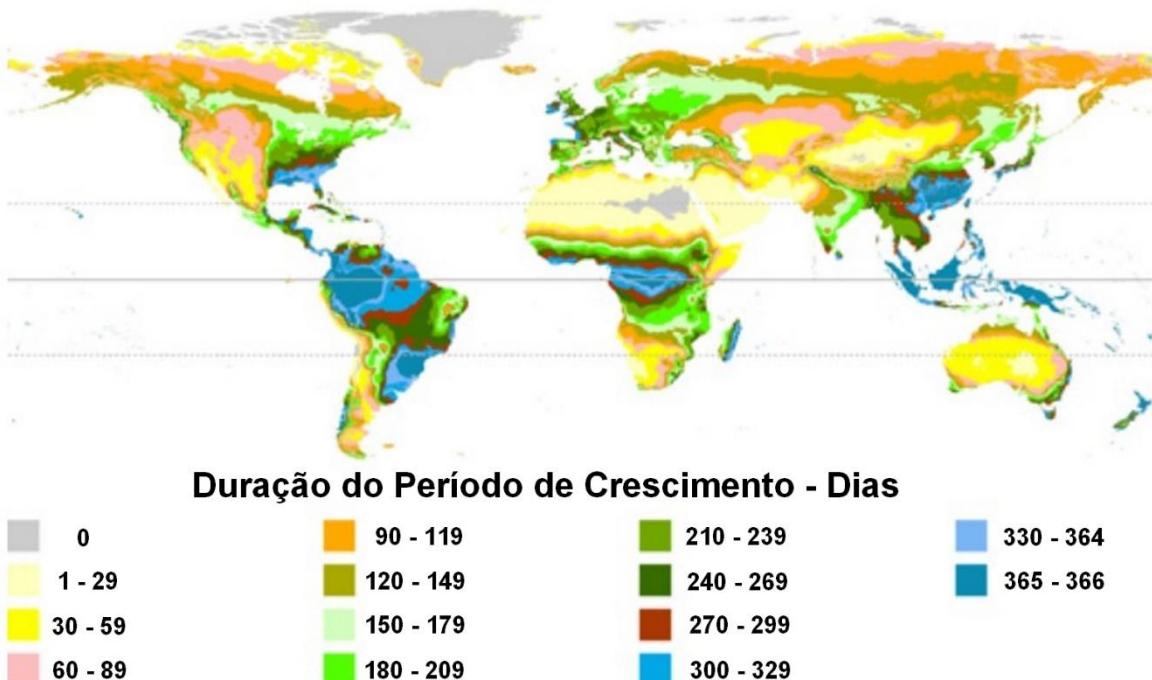
## Clima e Agricultura

Daniel Pereira Guimarães

A agricultura brasileira passou por profundas modificações a partir da década de 1970, especialmente com a expansão da fronteira agrícola para a região dos Cerrados. O domínio da produção de alimentos nos trópicos dependeu da superação de vários desafios, como a correção dos solos ácidos e inférteis, a adaptação de cultivares e sistemas de produção, além dos avanços no conhecimento sobre as condições climáticas. A Revolução Verde, iniciada na década de 1960, teve como base o uso de sementes geneticamente melhoradas visando aumento da produtividade, adaptabilidade às condições locais, sistemas de produção altamente mecanizados, resistência a pragas e doenças, alta aplicação de agrotóxicos e fertilizantes minerais. Atualmente, a busca de sistemas de produção mais estáveis objetiva a sustentabilidade da agricultura e da pecuária no Brasil. A conservação do solo é dependente do uso de técnicas que evitem sua degradação, como controle da erosão, manutenção da fertilidade e da estrutura física e biológica, e a não contaminação de elementos poluidores e patógenos (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018). O uso de técnicas, como o plantio direto na palha, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), adubação verde e a rotação de culturas, tem contribuído para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas no perfil dos solos, aumento da capacidade de retenção da água, controle de pragas e doenças e aumento da matéria orgânica e da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos. Uma maior integração entre as plantas e o ambiente vem sendo conseguida com o uso de cultivares geneticamente modificadas para uma maior resistência às pragas, doenças e adversidades climáticas, controle biológico e vazios sanitários. Miranda (2014) reporta a alta competitividade do mercado agrícola global e as transformações que estão em curso no Brasil, no setor fundiário, financeiro e exportador das commodities geradas pelo agronegócio. Segundo o autor, apenas o complexo soja contribui para quase 10% das exportações brasileiras, e as políticas permissivas de uso da terra, aliadas ao baixo preço, permitiram a rápida expansão do setor agropecuário brasileiro e sua transformação de potência mundial na oferta de alimentos e maior exportador mundial de soja, carne bovina e frango. Barros (2016) chama a atenção sobre o grande benefício do crescimento do agronegócio para a sociedade brasileira: aumento da oferta e redução do preço dos alimentos, condições essenciais para a geração de

divisas externas, segurança alimentar e redução da pobreza. De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2017), o agronegócio brasileiro contribui com cerca de 23% do produto interno bruto nacional (PIB).

A oferta hídrica constitui o grande diferencial do agronegócio brasileiro em comparação com outras regiões agrícolas. A Figura 6.1 ilustra o número de dias/ano em que disponibilidade de água nos solos permite o crescimento das plantas. Percebe-se que praticamente em todo o território brasileiro, exceto no polígono das secas, a disponibilidade hídrica é suficiente para o crescimento das culturas agrícolas tendo como base as recomendações da FAO, onde o período de crescimento é definido como o número de dias do ano em que a precipitação excede em mais de 50% a perda de água dos solos pela evapotranspiração (FAO, 2014).



**Figura 6.1.** Período apto para o crescimento das culturas agrícolas.

Fonte: adaptado de FAO (2014).

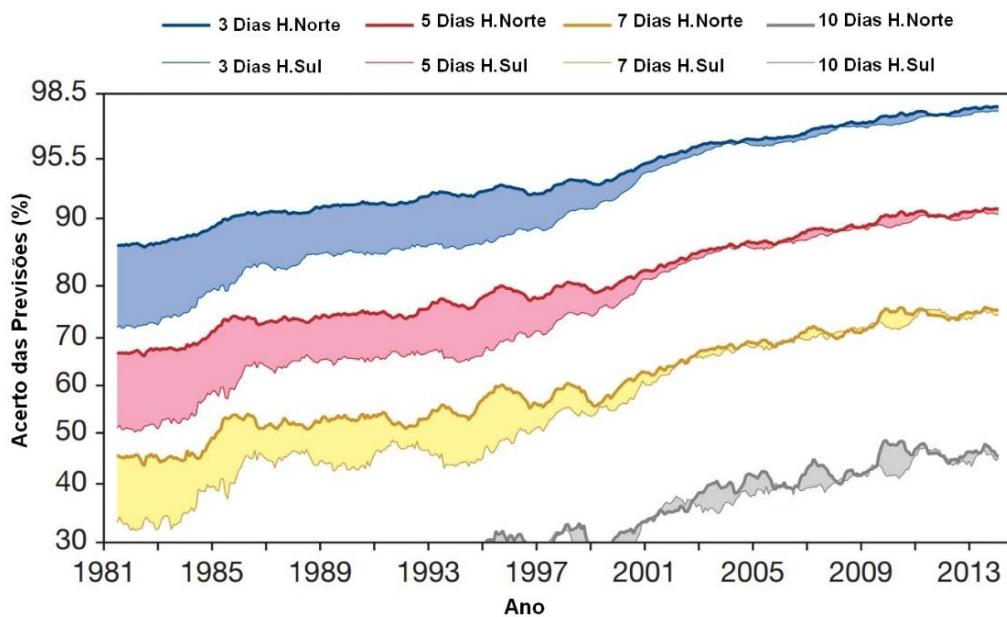
As condições climáticas no Brasil permitem cultivos de sequeiro e, em algumas regiões, a produção de uma segunda safra (safrinha) anualmente, o que contribui para que 95% da produção agrícola do país seja obtida sem o uso de irrigação (Estudo ..., 2016). Kundhavi e Puspa Raj (2018) citam que a produção de alimentos no Paquistão depende, em 80%, do uso de irrigação, 70% na China e acima de 50% na Índia e na Indonésia. Nos Estados Unidos, somente o Aquífero Ogallala contribui para cerca de 20% da produção agrícola do país e vários estudos indicam que ele se encontra em fase de depleção (Little, 2009). Por outro lado, a agricultura de sequeiro é muito vulnerável às

anomalias climáticas que podem causar severos danos na produtividade. As condições tropicais são também favoráveis à proliferação e incidência de pragas e doenças. Fica evidente a importância do conhecimento sobre as condições climatológicas para minimizar os riscos no sistema de produção agropecuário brasileiro.

### **Bases de dados nacionais**

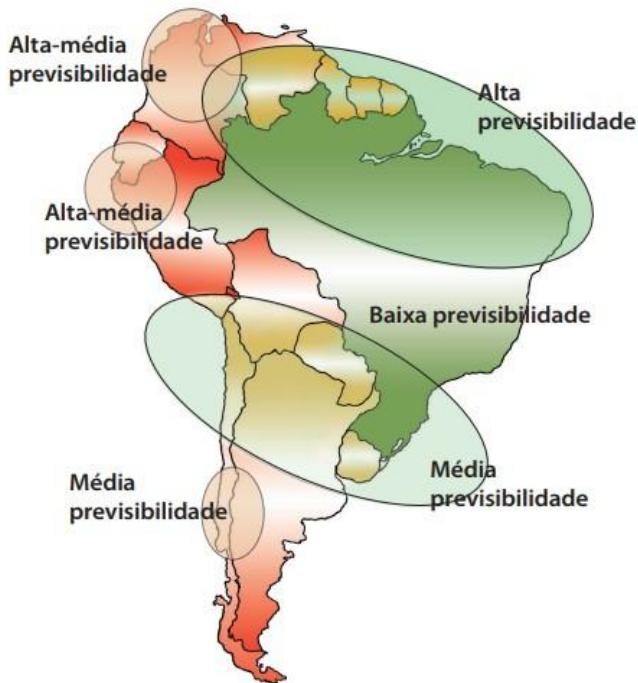
A colonização do Brasil, visando a exploração dos recursos naturais e o domínio do território, exigiu um aprimoramento das informações climatológicas, tanto para o suprimento de alimentos como para exercer as atividades minerárias. O impacto das condições meteorológicas severas sobre a população causou enorme comoção com o naufrágio de um navio de guerra francês e 38 embarcações em um porto na Criméia em 1854 e o afundamento do navio *Rio-Apa* no litoral gaúcho em 1887, levando 160 passageiros a bordo. Nessa época, as condições da pressão atmosférica e dos ventos já eram monitoradas pelos meteorologistas do Império (Barboza, 2006). A invenção do telégrafo e do código Morse pelo americano Samuel Morse permitiram que Benjamin Franklin fizesse as primeiras cartas meteorológicas da costa leste dos Estados Unidos, dando início às primeiras tentativas de previsão do tempo.

A sistematização dos dados meteorológicos no Brasil teve seu início com a criação do Instituto Nacional de Meteorologia em 1909, embora várias séries históricas já existissem anteriormente. Reis et al. (2013) analisaram as tendências da variabilidade temporal das chuvas registradas na estação pluviométrica 01943000 – Mineração Morro Velho, no município de Nova Lima, MG, desde o ano de 1885, período do Império. O emprego das informações meteorológicas em processos de modelagem das condições atmosféricas e previsão de tempo e clima teve início em 1994, com a criação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/Inpe). Os avanços da informática, dos modelos numéricos e da tecnologia espacial estão impulsionando a geração de enormes bases de dados com assimilação instantânea das condições atmosféricas e da superfície terrestre (*Big Data*) que permitem efetuar previsões cada vez mais precisas e detalhadas de tempo e clima. A Figura 6.2 mostra a tendência de aumento da previsão dos processos de modelagem e previsão das condições atmosféricas (Bauer et al., 2015). Verifica-se que a partir do ano 2000 as previsões efetuadas para o Hemisfério Sul do planeta passaram a ter eficiências compatíveis com aquelas efetuadas para o Hemisfério Norte.



**Figura 6.2.** Tendências de melhoria no acerto das previsões das condições atmosféricas  
Fonte: adaptado de Bauer et al. (2015).

Tendo em vista as dimensões continentais do Brasil, os diferentes biomas, as condições de relevo, as influências oceânicas e da Antártida, o nível de acerto das previsões climáticas tem sido variável em função da variabilidade espacial. A Figura 6.3 mostra a variação regional da eficiência preditiva dos processos de modelagem climática na América do Sul conforme apresentado por Sampaio e Dias (2014).



**Figura 6.3.** Capacidade preditiva dos modelos climáticos para a América do Sul.

Fonte: Sampaio e Dias (2014).

As bases de dados atuais são suficientes para proceder análises sobre a variabilidade espacial, tendências e o estabelecimento de normais climatológicas, e podem ser classificadas a partir da fonte de origem dos dados, como bases de estações terrestres com observações locais e bases de estações com sensores remotos como os radares terrestres e os sensores orbitais (satélites).

O Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) é o órgão responsável pelo monitoramento meteorológico brasileiro e atualmente conta com ampla rede de estações meteorológicas automáticas com monitoramento horário da temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade dos ventos, radiação solar e precipitação. Essas estações estão gradativamente substituindo e ampliando a rede de estações convencionais, onde o monitoramento climatológico é dependente de leituras para a coleta de informações em horários fixos. A Figura 6.4 mostra a rede atual de 570 estações de observação de superfície automáticas do Inmet sobre o território nacional e o Uruguai. O instituto mantém ainda uma estação na Antártida, o Projeto Criosfera. Os dados meteorológicos podem ser acessados no endereço:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>



**Figura 6.4.** Rede de estações meteorológicas automáticas de observação de superfície do Inmet.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2018b).

As 323 estações convencionais permitiram a geração de séries temporais que são fundamentais para a caracterização climatológica e análises de tendências de alterações climáticas no Brasil. Séries históricas a partir de 1960 são disponibilizadas no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (Instituto Nacional de Meteorologia, 2018a).

Além das informações meteorológicas, o Inmet disponibiliza ainda produtos de imagens de satélite, previsão do tempo, normais climatológicas, riscos de incêndio, índice de conforto térmico para animais e o Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. (Sisdagro).

Outra importante rede de estações meteorológicas automáticas é gerenciada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e os dados podem ser acessados em: <http://sinda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php>

Tendo em vista os enormes danos causados pelos desastres ambientais (enchentes, desabamentos, alagamentos, queimadas, secas prolongadas) foi criado em 2011 o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) que monitora as condições climáticas no Brasil com o uso de pluviômetros automáticos, estações hidrológicas, radares meteorológicos e imagens de satélite que podem ser acessados em <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>

A Agência Nacional de Águas (ANA) tem como uma de suas atribuições o monitoramento dos recursos hídricos no Brasil através da Rede Hidrometeorológica Nacional, que coleta informações sobre chuvas, nível, vazão e sedimentos nos rios. O Projeto HidroSat monitora a qualidade das águas superficiais a partir de imagens de satélite do sensor Modis, envolvendo índices de turbidez, teores de clorofila e concentração de sedimentos em suspensão. Os reservatórios de água são monitorados pelo Sistema de Acompanhamento dos Reservatórios (SAR). As informações estão disponíveis em <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/monitoramento>

O Sistema Agritempo, desenvolvido pela Embrapa, monitora as condições meteorológicas e climáticas gerando informações direcionadas ao setor rural, tais como disponibilidade hídrica dos solos, necessidade de irrigação, condições de aplicação de tratamentos fitossanitários, condições de mecanização agrícola, condições de colheita e riscos de incêndios. O sistema disponibiliza também o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (Zarc) e informações meteorológicas de uma rede de estações terrestres e de satélites (Embrapa Informática Agropecuária, 2018).

Xavier et al. (2016) efetuaram análises de consistência em bases de dados de estações meteorológicas e postos pluviométricos, notadamente as bases do Inmet e ANA, e processos interpolativos para a geração de uma base de dados diários do território brasileiro a partir de 1980 com resolução espacial (*grid*) de 0,25° x 0,25° das variáveis precipitação, temperaturas máxima e mínima, evapotranspiração, umidade relativa e radiação solar (King, 2018).

Bases de dados meteorológicos são também geradas pelas redes de estações estaduais. Dentre estas destacamos:

**Bahia:** Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (Seia)

<http://monitoramento.seia.ba.gov.br/>

**Goiás:** Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (Simehgo).

[http://www.simego.sectec.go.gov.br/cgi-bin/rede\\_obs/consulta\\_dados3.pl](http://www.simego.sectec.go.gov.br/cgi-bin/rede_obs/consulta_dados3.pl)

**Santa Catarina:** Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, ligado à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

<http://ciram.epagri.sc.gov.br/>

**São Paulo:** Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro).

<http://www.ciiagro.sp.gov.br/>

**Minas Gerais:** A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) opera uma rede de estações meteorológicas automáticas para gestão dos recursos hídricos. As informações coletadas são também disponibilizadas no Sistema Agritempo.

**Ceará:** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme).

**Paraná:** Redes de estações automáticas do Instituto Agronômico do Paraná (Iapar) e Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar).

Além das observações obtidas de estações terrestres de monitoramento meteorológico, o Estado brasileiro conta também com a rede de radares meteorológicos que prestam importantes serviços para o monitoramento das chuvas e do espaço aéreo para apoio da aviação civil e militar. As imagens podem ser acessadas em:

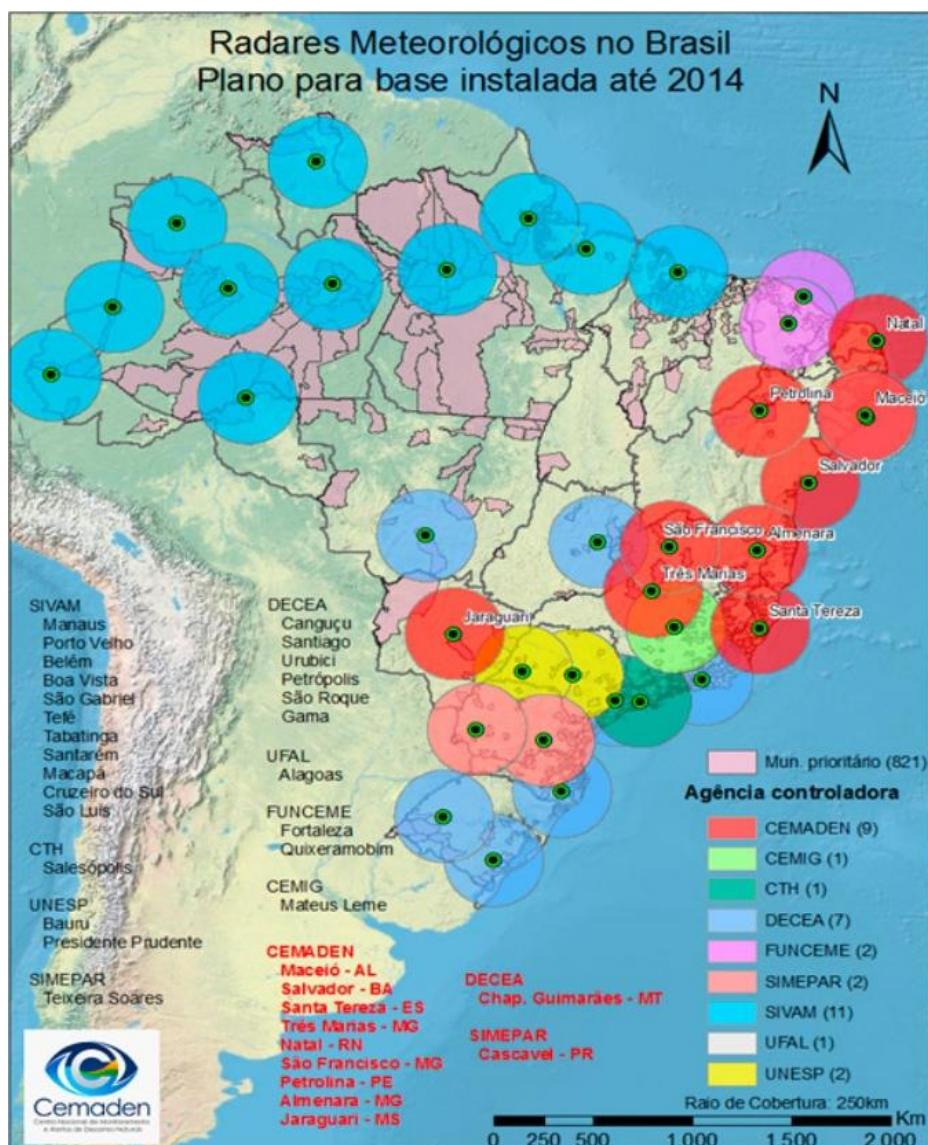
**Inpe:** <http://sigma.cptec.inpe.br/radar/>

**Cemaden:** <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>

**Decea/Aeronáutica:** <https://www.redemet.aer.mil.br/>

A distribuição espacial dos radares meteorológicos instalados no Brasil é apresentada na Figura 6.5 e evidencia o grande número de instituições responsáveis pela operação desses radares, o que representa um fator de dificuldade no acesso às informações geradas. Outra condição limitante ao uso de radares terrestres refere-se à ocorrência de panes que afetam seus funcionamentos. Em setembro de 2018, os seguintes radares encontravam-se inoperantes:

- Radar Meteorológico Santa Teresa-ES
- Radar Meteorológico Natal-RN
- Radar Meteorológico Belém-PA
- Radar Meteorológico Cruzeiro do Sul-AC
- Radar Meteorológico Pico do Couto-RJ



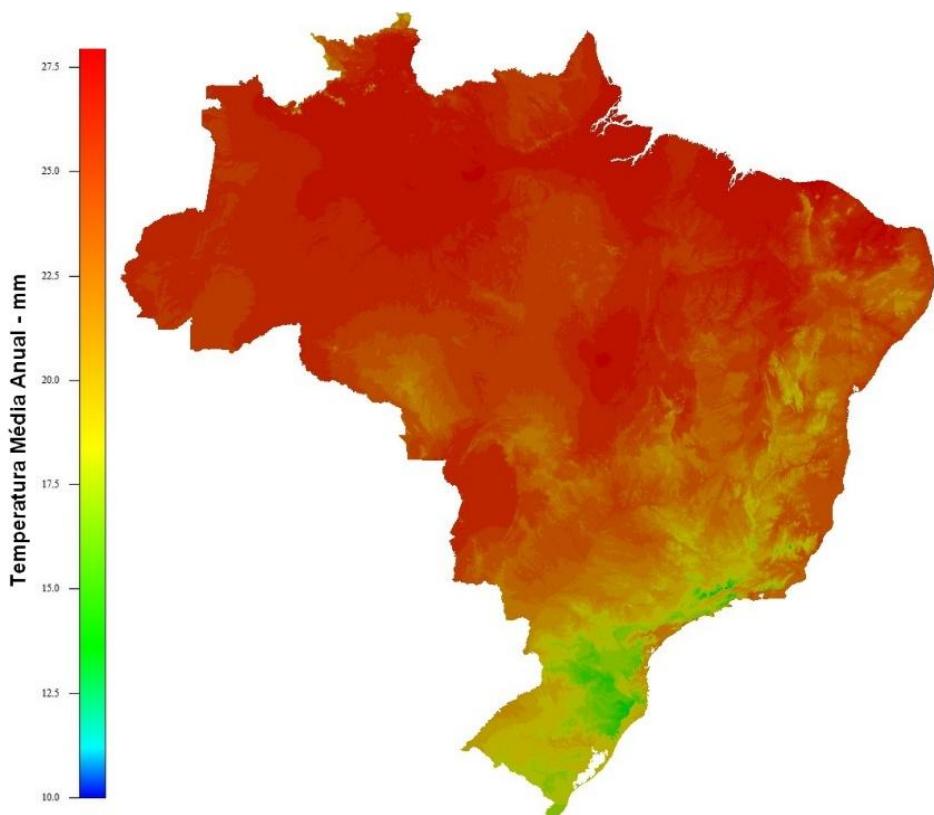
**Figura 6.5.** Distribuição dos radares meteorológicos no território brasileiro.

Fonte: Cemaden (2018).

## Bases de dados globais

Além das fontes de informações climatológicas nacionais, existem as bases de dados globais que são de extrema importância para o monitoramento climatológico brasileiro. O banco de dados *Global Data Assimilation System* (GDAS), administrado pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), é empregado para os processos de modelagem climática visando a previsão do tempo e inclui informações climatológicas, em tempo quase real, obtidas de estações terrestres, boias oceânicas, aeronaves, radares meteorológicos e satélites.

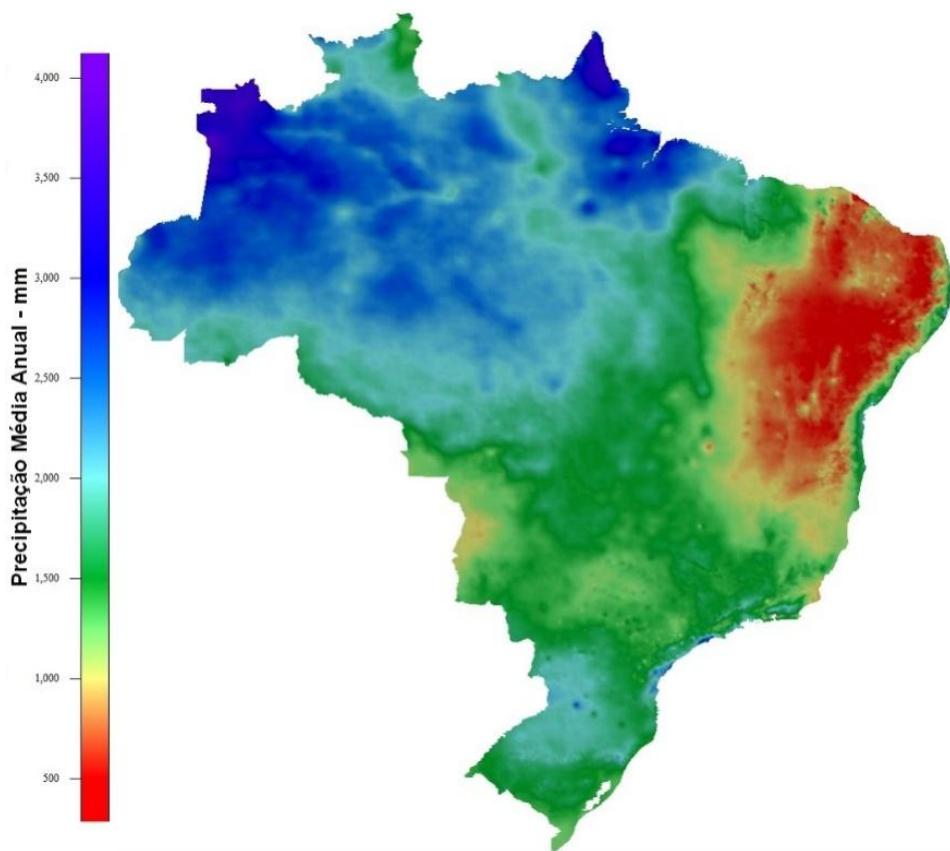
O *WorldClim* disponibiliza as normais climatológicas mensais com resolução espacial de até 1 km das variáveis temperatura mínima, média e máxima, chuva, radiação solar, ventos e pressão de vapor da água, além de 19 variáveis bioclimáticas derivadas dessa base de dados (Fick; Hijmans, 2017). A partir das bases do *WorldClim*, o *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR) gerou bases relativas aos índices de aridez, evapotranspiração e balanço de água no solo (Hijmans et al., 2005), que podem ser acessadas no formato *raster* em: <https://cgiarcsi.community/>. A Figura 6.6 mostra a variabilidade espacial da temperatura no Brasil determinada a partir das bases do *WorldClim*, versão 2.



**Figura 6.6.** Variação espacial da temperatura média anual no Brasil.

Elaboração cartográfica: Daniel P. Guimarães. Fonte dos dados: Fick; Hijmans (2017).

A base de dados pluviométricos CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*) resulta da junção de informações coletadas por satélite e estações terrestres cobrindo o globo terrestre entre as latitudes 50ºN e 50ºS e todas as longitudes, ou seja, praticamente toda a área habitável do planeta com uma resolução espacial de 0,05º, o que equivale a pixel de aproximadamente 5 km (Funk et al., 2015). Essa base de dados gera uma série temporal diária desde 1981 até o presente e é distribuída no formato de imagem diária, pentadal, decadal, mensal e anual. A Figura 6.7 apresenta a precipitação média anual no Brasil com base nas imagens entre 1981 e 2018 das bases CHIRPS.

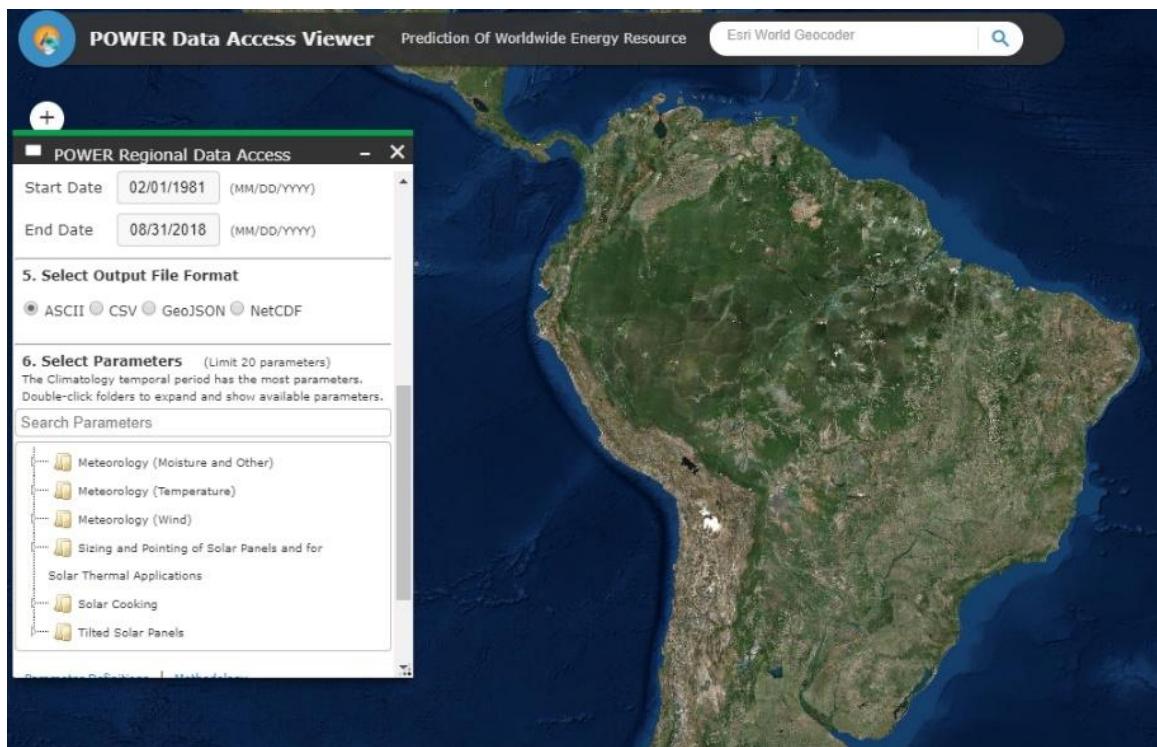


**Figura 6.7.** Precipitação média anual no Brasil.

Elaboração cartográfica: Daniel P. Guimarães. Fonte dos dados: Climate Hazards Group (2018).

A escassez de séries temporais de dados climatológicos em algumas regiões, especialmente nos países de grandes extensões territoriais, levou a Agência Espacial Americana (NASA) a organizar bases globais para atender às crescentes demandas para melhorar a produção de alimentos e a geração de energia solar, eólica e de biomassa, denominado POWER-8. As bases de dados meteorológicas são originárias do modelo GMAO (*Global Modeling and Assimilation Office*) e a reanálise efetuada pelo GMAO *Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications* - MERRA-2 conforme

Bosilovich et al. (2016) e Stackhouse Júnior et al. (2018). As variáveis meteorológicas de maior interesse para a área agrícola, precipitação, temperatura máxima, mínima e média, pressão atmosférica, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, insolação e radiação solar, são disponibilizadas em bases diárias desde 1981 até os dias atuais com resolução espacial de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ , ou seja, aproximadamente 50 km entre si. A Figura 6.8 mostra a seleção de variáveis para download no site da *Nasa Power*.

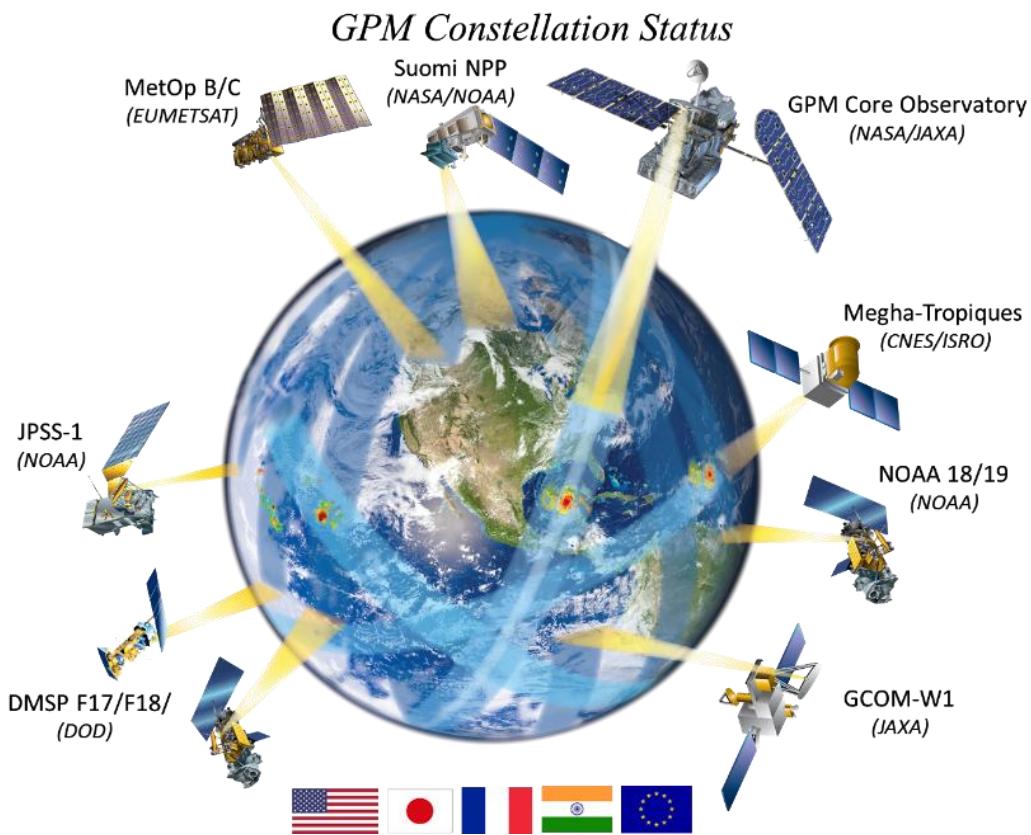


**Figura 6.8.** Acesso à base de dados climatológicos do projeto Power-8 da Nasa.

Fonte: Nasa (2018a).

A missão conjunta entre as agências espaciais americana e japonesa (NASA e JAXA) denominada de TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) teve seu início em 1997 com o monitoramento das chuvas por meio de satélite e o uso de sensor ativo (radar de chuva capaz de mapear a atmosfera em 3D), sensor passivo (Scanner visível e infravermelho - VIRS) e um imageador de micro-ondas capaz de mapear vapor de água na atmosfera, água no interior da nuvem e intensidade de precipitação. O satélite incluía ainda o sensor de raios. Com o fim da Missão TRMM, em junho de 2015, o monitoramento da precipitação passou a ser feito pela Missão GPM (*Global Precipitation Measurement*) com instrumentos mais avançados de monitoramento das chuvas: radar de precipitação de frequência com dupla polaridade (bandas Ku e Ka) e um sensor de micro-ondas. Além do satélite GPM, a missão é formada por uma constelação de satélites dos Estados Unidos, do Japão, da França, Índia e dos países da União

Europeia, e a Figura 6.9 mostra os satélites em operação. Dados podem ser acessados no site da NASA (2018b).



**Figura 6.9.** Satélites em operação na missão *Global Precipitation Measurement*.

Fonte: Nasa (2018c).

O lançamento do satélite meteorológico GOES-16, em novembro de 2016, e do GOES-17, em março de 2017, marca uma nova era no monitoramento climatológico a partir de bases orbitais. Em relação aos satélites anteriores da série GOES, o sensor ABI (Advanced Baseline Imager) permitiu triplicar as informações sobre as informações espectrais, quadruplicar a resolução espacial das imagens e quintuplicar a velocidade de cobertura do hemisfério ocidental. Além das informações sobre as diversas formas da água na atmosfera, os satélites contam ainda com o sensor de detecção de raios GLM (Geostationary Lightning Mapper) e sensores de radiações solares. O satélite Himawari desenvolvido pela Agência Espacial Japonesa (JAXA) e operado pela Agência Meteorológica Japonesa (JMA) em conjunto com os satélites GOES permite o monitoramento climatológico do planeta em tempo quase real. A localização geográfica do Brasil em relação à linha do Equador permite que tenhamos acesso a informações mais detalhadas do imageamento efetuado pelo satélite GOES-16 do que o imageamento da costa leste dos Estados Unidos. A Figura 6.10 ilustra a localização do satélite geoestacionário Goes-16 em relação ao território nacional.



**Figura 6.10.** Localização geográfica do satélite geoestacionário GOES-16.

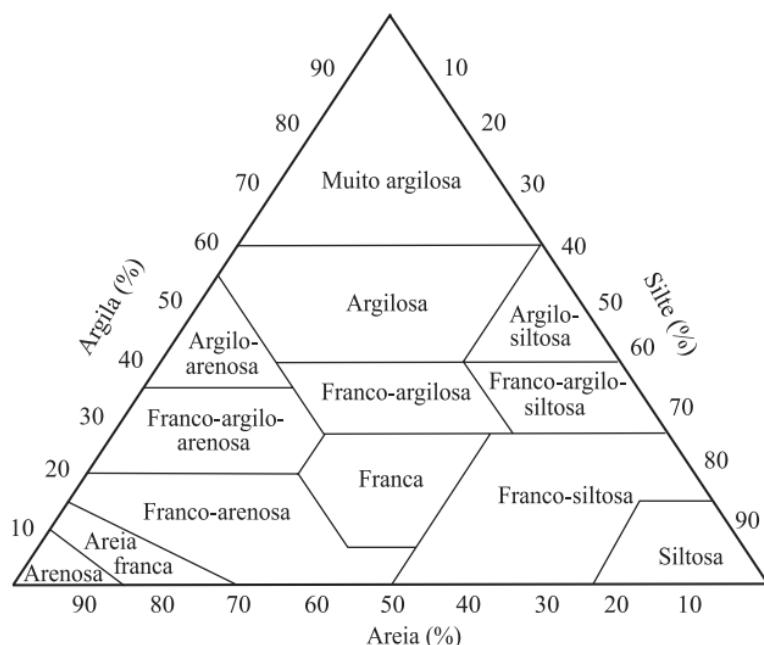
Fonte: NASA (2018a).

### Influência do clima na agricultura

O sucesso dos cultivos de sequeiro, em que a produção agrícola é baseada apenas no suprimento hídrico fornecido pela água das chuvas, depende fortemente do conhecimento sobre as interações planta x solo x clima. De acordo com Lacerda (2007), a água é o elemento básico para que as plantas desempenhem suas funções vitais, tais como:

- Atuação como solvente para nutrientes, minerais e compostos orgânicos.
- Absorção e transporte de nutrientes do solo para as folhas e suas translocações internas.
- Permissão de ambiente adequado para a geração de reações bioquímicas e fonte de elétrons para a fotossíntese.
- Influência na estrutura das plantas atuando no desempenho das funções exercidas pelas macromoléculas e das funções osmóticas.
- Manutenção da turgescência e forma dos ramos tenros.
- Controle da temperatura dos organismos vegetais.

A oferta hídrica está relacionada com as precipitações atmosféricas e sua disponibilidade para as plantas, o que depende das características físicas, estruturais e orgânicas dos solos. A Figura 6.11 apresenta o triângulo de classificação textural dos solos de acordo com as dimensões das partículas componentes: areia, silte e argila (Lemos; Santos, 1984). A capacidade de retenção de água nos solos também é afetada pela estrutura dos solos e pelos teores de matéria orgânica.



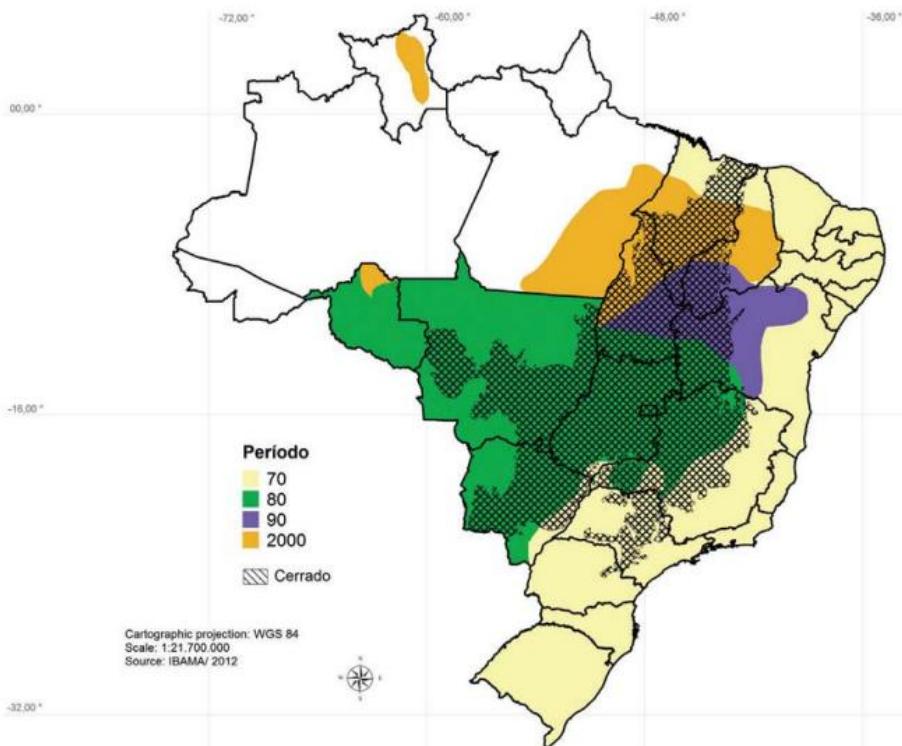
**Figura 6.11.** Formação do triângulo de classificação textural dos solos.

Fonte: Lemos e Santos (1984).

A disponibilidade hídrica dos solos depende da capacidade de retenção de água dos solos que, além da textura, é influenciada pela profundidade do solo, estrutura determinada pelo arranjo das partículas e os compostos orgânicos. A porosidade do solo interfere na retenção e fluxo de água e sua aeração.

A dinâmica da água no sistema solo-planta depende ainda de características do vegetal e das variáveis atmosféricas como temperatura, umidade relativa e ventos.

A adaptação das plantas a diferentes condições climáticas e edáficas sofre alterações em função dos avanços relacionados ao melhoramento genético e biotecnologia. Tomando como exemplo o cultivo da soja no Brasil, que até a década de 1970 só era plantada nos estados da Região Sul e posteriormente ocorreu a expansão para o Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Oeste Baiano, Maranhão, Piauí e mais recentemente para o Pará, conforme mostrado na Figura 6.12., essas mudanças somente foram possíveis com a tropicalização da soja, que consiste na adaptação de cultivares para plantio em climas mais quentes e mais tolerantes às variações do fotoperíodo (duração da luminosidade). De acordo com Farias et al. (2007), dentre as variáveis climatológicas, as que apresentam maiores impactos no desenvolvimento e na produtividade da soja são temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica.



**Figura 6.12.** Expansão da fronteira agrícola no Brasil.

Fonte: Vieira Filho (2015).

De acordo com os autores, a soja tem melhor adaptação em áreas onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C, não sendo recomendados cultivos quando a temperatura do solo for menor que 20°C ou em que as temperaturas do ar sejam inferiores a 10°C ou superiores a 40°C. A adaptação de cultivares de soja depende também de suas sensibilidades às variações do fotoperíodo. O suprimento hídrico durante o ciclo reprodutivo das culturas agrícolas (ligado ao coeficiente de cultivo  $K_c$ ) constitui o principal fator relacionado com a expressão da produtividade, e a demanda por água varia ao longo do ciclo de crescimento e produção. A falta do suprimento hídrico durante as fases de florescimento e enchimento de grãos impacta fortemente a produtividade. O excesso de chuvas e as altas nebulosidades também impactam negativamente o rendimento das lavouras pela diminuição da aeração do solo, lixiviação de nutrientes, redução da atividade fotossintética, redução do crescimento radicular e perda de eficiência da fixação biológica do nitrogênio.

Tendo em vista a diversidade climática, edáfica e dos cultivos agrícolas praticados no Brasil sob o sistema de sequeiro, fica evidente a necessidade de levar em consideração as interações planta-ambiente para o sucesso do agronegócio brasileiro.

### **Clima e zoneamento agrícola**

A determinação das áreas com maiores possibilidades de êxito das culturas agrícolas deve levar em conta as características das culturas associadas às condições do meio ambiente. Os avanços nos programas de melhoramento genético e biotecnologia e dos sistemas de produção promovem alterações constantes na capacidade de adaptação das plantas ao meio ambiente. Dentre esses, podemos citar as variações nas durações dos ciclos reprodutivos, sistemas radiculares mais profundos, tolerância às condições adversas, como ventos, temperatura e seca, adaptação ao fotoperíodo, alterações na arquitetura das plantas e interação com microrganismos. Desse modo, plantas originalmente de clima temperado e que se adaptavam apenas nas regiões sul do Brasil ou em áreas de altitude elevada, atualmente, são cultivadas em condições de clima tropical. Como exemplo, temos a soja, o trigo e a cevada. Na área da fruticultura, essas alterações são mais evidentes com os cultivos de uva, morangos, caqui e maçã.

O zoneamento agrícola busca otimizar as relações planta-ambiente de modo a minimizar os riscos de perdas na produtividade e qualidade da produção agrícola. Esses trabalhos são norteadores da sustentabilidade das atividades agrícolas. Camargo (1977) ofereceu enorme contribuição ao desenvolvimento da cafeicultura brasileira ao publicar o

zoneamento de aptidão climática dessa cultura no país. A implantação dos reflorestamentos visando suprir a demanda pelas siderurgias, fábricas de papel e celulose e madeiras em geral teve grande impulso com a publicação do zoneamento ecológico para reflorestamento no Brasil, efetuado por Golfari et al. (1978). Os avanços do conhecimento sobre os requisitos climáticos das culturas agrícolas, na geração de bases de informações georreferenciadas de clima e solo e nos processos de modelagem estatística para a simulação das tendências do crescimento e produtividade das culturas, permitiram que zoneamentos agrícolas atuais apresentem ganhos significativos na precisão e no detalhamento de suas recomendações técnicas. Steinmetz e Silva (2017) apontam o Zoneamento Agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás, elaborado em 1995, como marco definitivo para a introdução dos riscos climáticos durante o ciclo de cultivo para fins de zoneamentos agrícolas. A Tabela 1 (Brasil, 2008) mostra as diferenças entre os principais tipos de zoneamento agrícola e reflete as tendências de sofisticação nos procedimentos para a discriminação de zonas homogêneas de níveis de aptidão das culturas em relação ao ambiente.

**Tabela 6.1.** Caracterização dos principais tipos de zoneamento agrícola.

Tipos de zoneamento	Aptidão agrícola	Agroclimático	Agrícola	Agrícola de risco climático
<b>Tipo de indicativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área apta</li> <li>- Área marginal</li> <li>- Área inapta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Define a melhor época de plantio</li> <li>- Identifica áreas com maior potencial de produtividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Define melhor época de plantio</li> <li>- Indica cultivares habilitadas para o local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por município, tipo de solo e ciclo da cultivar.</li> </ul>
<b>Análise de risco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial do: <ul style="list-style-type: none"> <li>*clima</li> <li>*solo</li> </ul> </li> <li>*Fatores sócio-econômicos (locais e regionais)</li> <li>-Potencial edafoclimático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identifica áreas de maiores e menores riscos climáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseado no tipo de solo, clima local e ciclo fenológico da planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considera o balanço hídrico, (relação clima, solo e planta)</li> <li>- O risco é quantificado através de análises probabilísticas e frequenciais.</li> </ul>
<b>Problemas encontrados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapas para as culturas em grande escala:indicativos aproximados</li> <li>- Estudos não consideram a ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> <li>- Potencial climático para o estabelecimento das culturas agrícolas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudos não consideram informações referentes a microclimas</li> <li>- Interpolação</li> </ul>

A Figura 6.13 mostra a espacialização de zonas homogêneas de precipitação no Brasil e exemplifica a melhoria nas bases de dados de séries históricas na caracterização climatológica.



**Figura 6.13.** Regiões agroclimaticamente homogêneas no Brasil.

Fonte: Monteiro et al. (2017).

O processo de modelagem visando determinar as zonas de adaptabilidade das espécies passa necessariamente pelo conhecimento do ciclo da água no solo, sendo que a evapotranspiração, ou seja, a passagem da água do solo para a atmosfera pela evaporação direta dos solos ou pela transpiração das plantas em seus processos metabólicos, é condição preponderante. A falta de informações detalhadas das variáveis meteorológicas levou ao emprego de métodos simplificados de estimativa da evapotranspiração. O tradicional método proposto por Thornthwaite em 1948 estima a evapotranspiração empregando apenas a temperatura média mensal, horas de brilho solar e latitude do local. O modelo proposto por Hargreaves-Samani incorpora valores diários da temperatura média, máxima e mínima e parâmetros relativos à latitude local e

à época do ano. A evapotranspiração calculada pelo método de Priestley-Taylor é obtida pela fórmula:

$$ETo = 1,26 \times [\Delta / (Y + \Delta)]^* (Rn - G)$$

Onde:

$ETo$  = evapotranspiração de referência (mm/dia)

$Y$  = constante psicrométrica (kPa/°C)

$\Delta$  = derivada da função de saturação de vapor de água

$Rn$  = radiação útil recebida pela cultura de referência (mm/dia)

$G$  = fluxo de calor recebido pelo solo (mm/dia)

O método para determinação da evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) proposto por Penman-Monteith e parametrizado pela FAO é:

$$ETo = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 275} U_2 \cdot (e_a - e_d)$$

Onde:

$ETo$  - Evapotranspiração de referência da cultura hipotética (mm.dia<sup>-1</sup>),

$R_n$  - Saldo de radiação (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>).

$G$  - Fluxo de calor no solo (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>).

$T$  - Temperatura do ar a 2 metros de altura (°C).

$U_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>).

$e_a$  - pressão de vapor do ar atual (kPa),

$e_d$  - pressão de vapor de saturação do ar (kPa).

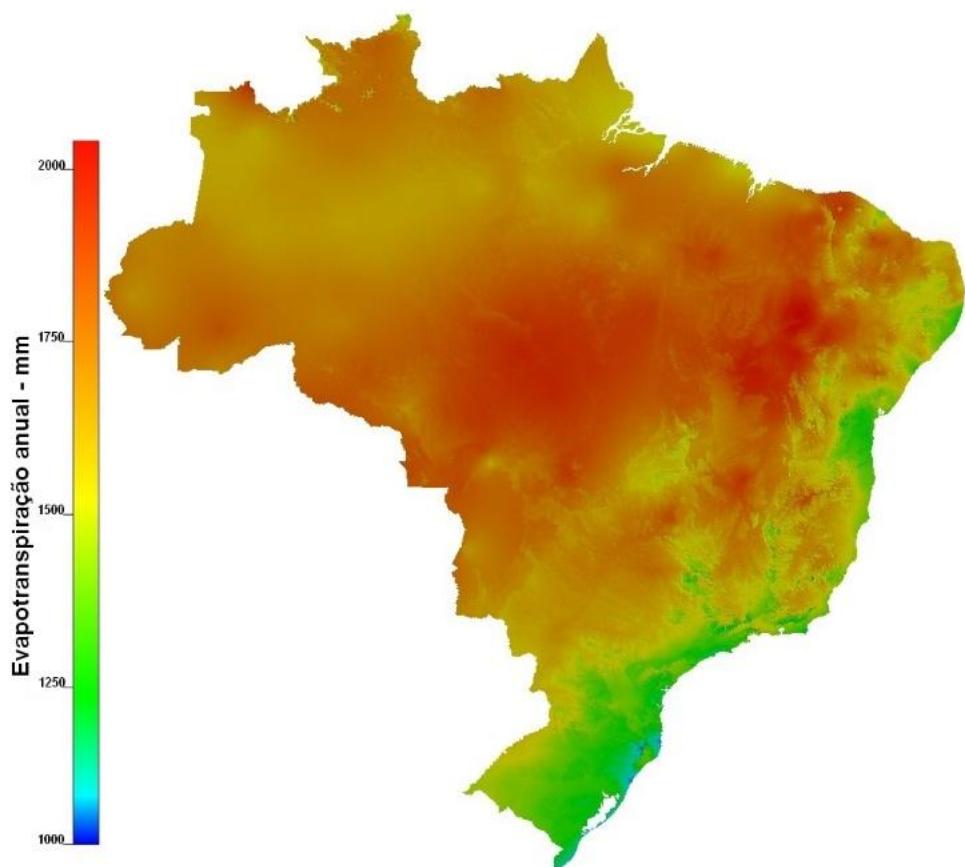
$\delta$  - declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>).

$I$  - calor latente de evaporação da água (MJ.kg<sup>-1</sup>).

$g$  - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

$g^*$  - constante psicrométrica modificada (kPa °C<sup>-1</sup>).

A Figura 6.14 mostra a variabilidade da evapotranspiração anual no Brasil a partir da metodologia proposta por Hargreaves & Samani e as bases de dados do FaoClim-2 (FAO, 2018).

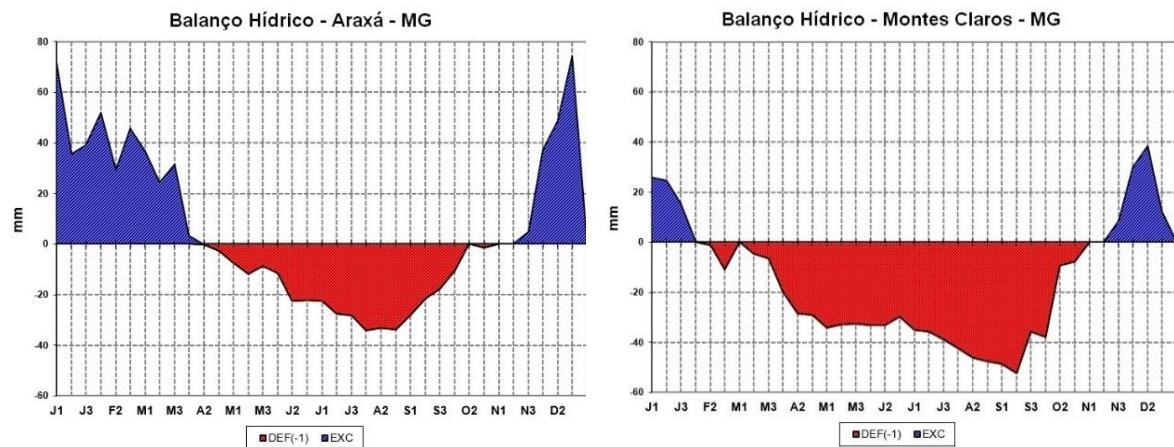


**Figura 6.14.** Evapotranspiração média anual no Brasil.

Fonte: FAO (2018).

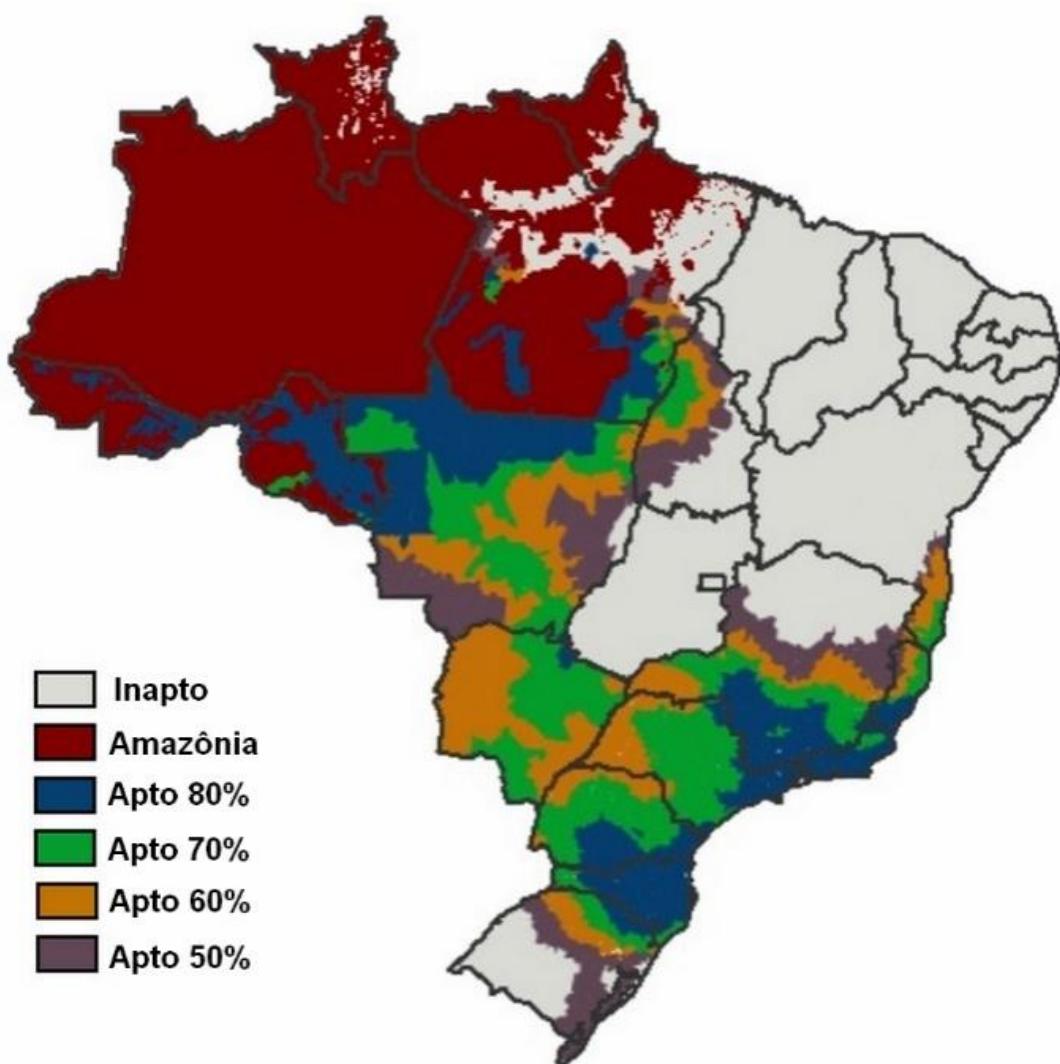
A determinação da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith pode ser efetuada a partir das informações meteorológicas disponibilizadas pela rede de estações meteorológicas automáticas. Imagens da evapotranspiração diária empregando o método de Penman-Monteith e usando as bases de dados meteorológicos do banco de dados *Global Data Assimilation System* (GDAS) podem ser obtidas no site <https://earlywarning.usgs.gov/fews/datadownloads/Global/PET>

A Figura 6.15 mostra o impacto das condições climáticas sobre a disponibilidade de água no solo nos municípios mineiros de Araxá e Montes Claros para condições similares de textura e profundidade dos solos.



**Figura 6.15.** Balanço hídrico da água no solo nos municípios de Araxá e Montes Claros, no Estado de Minas Gerais.

Percebe-se claramente que o município de Araxá, localizado a 975 metros de altitude, clima ameno e com precipitação média anual de 1.600 mm, dispõe de oferta hídrica muito superior à de Montes Claros, onde o clima é mais quente e a precipitação média anual é de 1.280 mm. Portanto, Araxá apresenta condições mais favoráveis para a prática da agricultura de sequeiro que as observadas em Montes Claros. O balanço hídrico diário ao longo de séries históricas superiores a 30 anos é empregado para simular a adaptabilidade das culturas agrícolas levando em consideração as variações nas condições dos solos (textura, profundidade) e características das culturas agrícolas (exigências térmicas, demanda hídrica durante as fases de crescimento, estádio fenológico, profundidade das raízes e duração do ciclo). O Zoneamento Agrícola de Risco Climático consegue identificar as épocas adequadas para o plantio levando em consideração os riscos de deficiência hídrica em fases cruciais para o desenvolvimento das plantas, como a ocorrência de veranicos em fase de florescimento e enchimento de grãos, riscos de chuva impactando a mecanização da colheita ou afetando a qualidade dos grãos, riscos da ocorrência de pragas e doenças e riscos relacionados às condições térmicas, como a ocorrência de geadas ou altas temperaturas causando o abortamento de flores ou a queda de frutos em fase inicial de formação. Leva também em consideração os impedimentos legais de plantio (vazios sanitários) e áreas de proteção ecológica. A Figura 6.16 mostra o zoneamento agrícola de risco climático para o cultivo do milho no Brasil tendo em conta o uso de cultivares de ciclo precoce, semeadura no primeiro decêndio do mês de outubro em solos de textura média.



**Figura 6.16.** Zoneamento agrícola de risco climático para o cultivo de milho de ciclo precoce semeado no primeiro decêndio de outubro em solos de textura média.

Diante do exposto, fica evidente a importância do conhecimento dos fatores climáticos para a tomada de decisões visando sustentabilidade e otimização do agronegócio. Maior detalhamento sobre zoneamentos de uso agrícola será abordado no próximo capítulo.

## Referências

- BARBOZA, C. H. História da meteorologia no Brasil (1887-1917). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: SBMET, 2006.
- BARROS, G. S. de C. Medindo o crescimento do agronegócio: bonança externa e preços relativos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). *Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade*. Brasília, DF: Ipea, 2016. p. 219-249.
- BAUER, P.; THORPE, A.; BRUNET, G. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, London, v. 525, n. 7567, p. 47-55, 2015.

BOSILOVICH, M. G.; LUCCHESI, R.; SUAREZ, M. **MERRA-2**: file specification. Greenbelt: Global Modeling and Assimilation Office, 2016. 73 p. GMAO office note nº. 9 (Version 1.1). Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:BmOG4YEW2M8J:https://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Bosilovich785.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 10 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Zoneamento agrícola de risco climático**: instrumento de gestão de risco utilizado pelo Seguro Agrícola do Brasil. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/catalogo/REC000fh9aa3ly02wyiv80efhb2azt3pt25.html>>. Acesso em: 13 set. 2018.

CAMARGO, A. P. Zoneamento de aptidão climática para a cafeicultura de arábica e robusta no Brasil. In: IBGE. **Recursos naturais, meio ambiente e poluição**: contribuições de um ciclo de debates. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977. p. 68-76.

Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Mapa interativo**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo>>. Acesso em: 10 set. 2018.

CLIMATE HAZARDS GROUP. **CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data**. Disponível em: <<http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps>>. Acesso em: 12 set. 2018.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. PIB e performance do agronegócio. In: \_\_\_\_\_. **Balanço 2016, perspectivas 2017**. Brasília, DF, 2017. p. 15-21.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Agritempo**: sistema de monitoramento agrometeorológico. Campinas, 2018. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>>. Acesso em: 12 set. 2018.

ESTUDO sobre eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global: relatório completo. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2016. 92 p.

FAO. **Climpag - Climat Impact on Agriculture**. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/climpag>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

FAO. **Length of the growing season**. Roma, 2014. Disponível em: <[http://www.fao.org/nr/climpag/cropfor/lgp\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/cropfor/lgp_en.asp)>. Acesso em: 29 ago. 2018.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2009-09/27615/1/circotec48.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2018.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 4302-4315, 2017. Disponível em: <<http://worldclim.org/version2>>. Acesso em: 12 set. 2018.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations: a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, article 150066, 2015.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**: 2ª aproximação. Belo Horizonte: PRODEPEF, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série Técnica, 11).

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 set. 2018a.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação meteorológica de observação de superfície automática**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 10 set. 2018b.

- KING, C. **BrazilMetData\_1980-2013**. Austin: The University of Texas, 2018. Disponível em: <<https://utexas.app.box.com/v/Xavier-etal-IJOC-DATA>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- KUNDHAVI, K.; PUSPA RAJ, K. Rethinking irrigation for global food security. **Irrigation and Drainage**, v. 67, n. 1, p. 8-11, 2018.
- LACERDA, C. F. de. **Relações solo-água-planta em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro: parte 1**. Recife: Universidade Federal do Ceará, 2007. 78 p. Disponível em: <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA\\_-\\_RELA\\_ES\\_SOLOS\\_GUA\\_PLANTA.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA_-_RELA_ES_SOLOS_GUA_PLANTA.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2018.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1984. 46 p.
- LITTLE, J. B. Saving the Ogallala Aquifer. **Scientific American**, v.19, n. 1, p. 32-33, 2009.
- MIRANDA, R. O agronegócio da soja no Brasil: do estado ao capital privado. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 1, n. 2, p. 122-141, 2014.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; VICTORIA, D. C.; ALMEIDA, S. L. H.; OLIVEIRA, A. F.; ESQUERDO, J. C. D. M.; MACIEL, R. J. S.; NAKAI, A. M.; SIBALDELLI, R. N. R.; EVANGELISTA, B. A.; CUADRA, S. V.; EVANGELISTA, S. Delimitação de regiões agroclimaticamente homogêneas no Brasil. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 27-35, 2017.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **POWER Data Access Viewer**. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>. Acesso em: 10 set. 2018a.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Precipitation Measurement Missions**: GPM Data Downloads. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm>>. Acesso em: 10 set. 2018b.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Precipitation Measurement Missions**. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov>>. Acesso em: 10 set. 2018c.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030**. Washington, DC: The National Academic Press, 2018. 148 p.
- REIS, R. J.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Mineração Morro Velho: 150 anos de registros pluviométricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.
- SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. da S. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. **Revista USP**, n. 103, p. 41-54, 2014.
- STACKHOUSE JR., P. W.; ZHANG, T.; WESTBERG, D.; BARNETT, A. J.; BRISTOW, T.; MACPHERSON, B. **POWER release 8 (with GIS applications) methodology (data parameters, sources, & validation)**. Disponível em: <[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sbpYL\\_AOxS0J:https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER\\_Data\\_v8\\_methodology.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sbpYL_AOxS0J:https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v8_methodology.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em: 10 set. 2018.
- STEInmetZ, S.; SILVA, S. C. da. **Início dos estudos sobre Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 27 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 312).
- VIEIRA FILHO, J. E. R. Expansão da fronteira agropecuária brasileira: desafios estruturais logísticos. **Boletim Regional Urbano e Ambiental**, v. 12, p. 37-48, 2015.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

