

Boletim Agronômico - Agro Extensão

O Boletim Agronômico do projeto de extensão universitária “Agro Extensão” traz à discussão a temática das plantas e o clima que é fundamental quando se pensa em manejar a lavoura de forma eficiente e sustentável.

Nessa segunda edição especial do boletim, contamos com o material produzido ao longo da carreira profissional do Professor Homero Bergamaschi. Essa edição especial traz reflexões

sobre o clima e as plantas e o impacto que o clima possui sobre o desenvolvimento das plantas, principalmente durante as estiagens.

Desejamos uma boa leitura a todos!

**Sejam bem-vindos ao Agro Extensão –
Produzindo conhecimento para o campo!**

Editores e conteúdo

Editor

André Luis Vian

Professor Dr. Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia - UFRGS.

Editor (a) Assistente

Isabela Seffrin Rodrigues

Thaís Martins Mariano

Saul Souza Pompermajer

Estudante graduandos em Agronomia na Faculdade de Agronomia – UFRGS.

**Faculdade de Agronomia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS**

Conteúdo

1. Introdução.....PG.2
2. Principais efeitos do clima sobre plantas.....PG.2
3. Aplicações e implicações.....PG.3
4. Nosso clima e nossos biomas.....PG.4
5. Balanço hídrico.....PG.6
6. Impacto das estiagens: o milho como exemplo.....PG.8
7. Medidas técnicas necessárias.....PG.10
8. Irrigação: quando e quanto?.....PG.13

"O conteúdo dos textos é de responsabilidade exclusiva dos(as) autores(as). Permitida a reprodução, desde que citada a fonte."

1. Introdução

A FAO, entidade da ONU (Organismo das Nações Unidas), orientada à produção de alimentos e agricultura, estima que o mundo terá cerca de 9 bilhões de habitantes, em 2050. Isto significa que a produção de alimentos deverá duplicar até a metade deste século, pelo aumento da população e para erradicar a fome que persiste em grandes áreas. Além disto, notáveis progressos serão necessários à sustentabilidade na exploração e uso de recursos naturais, como solo, água, florestas e fontes de energia.

Historicamente, o clima tem sido o principal fator de risco e limitações às atividades ligadas ao agronegócio, devido à sua grande variabilidade espaço-temporal, de curto e longo prazo. As mudanças climáticas de longo prazo, que já se verificam e causam aquecimento em nível global, além de maior déficit hídrico (sobretudo em regiões tropicais e subtropicais), acentuam ainda mais as variações de curto prazo. Isto resulta em impactos crescentes na produção de alimentos, nas condições ambientais e na saúde. Por isso, hoje em dia, *mudanças climáticas* e *sustentabilidade* são palavras-chave de uso amplo em políticas públicas, em todo o mundo.

Este artigo traz uma breve resenha dos principais impactos do clima sobre plantas e sistemas de produção agrícola, com ênfase em estiagens, com importantes reflexões sobre alternativas técnicas de mitigação e adaptação destinadas, sobretudo, a cultivos subtropicais e tropicais.

O texto visa dar suporte em conhecimentos técnicos para formação de recursos humanos e tomadas de decisão àqueles que estão na chamada

“linha de frente”, tendo em vista a diversidade e variabilidade espaço-temporal dos nossos sistemas de produção, tendo como base a experiência acumulada por várias décadas de pesquisas de campo e convívio com profissionais do Sul do Brasil.

Por outro lado, não é pretensão e nem seria possível detalhar e aprofundar cada item que envolve a questão climática, que é extensa e complexa. Para este tema fica a sugestão de consulta a uma base ampla de conhecimentos e exemplos publicada, de uma forma bem clara e detalhada, no livro **As Plantas e o Clima: Princípios e Aplicações** (Bergamaschi & Bergonci, 2017). É um livro-texto que está disponível em sites e livrarias de todo País, e destinado a docentes, pesquisadores, estudantes e profissionais que atuam em áreas cujos objetivos são ligados às relações entre clima e sistemas cultivados ou naturais. Esta obra já vem sendo amplamente utilizada no Brasil, como texto de referência para ensino, pesquisa e extensão em Agrometeorologia aplicada.

2. Principais efeitos do clima sobre plantas

O ambiente físico age de diferentes formas sobre as plantas, a começar pela sua *fenologia*. A adaptação e a distribuição de espécies (e, portanto, a biodiversidade) são fortemente influenciadas pelo clima e, portanto, sobre os diferentes biomas.

A *produção de biomassa* resulta do metabolismo das plantas, ou seja, da fotossíntese líquida que, uma vez afetada pelo clima, limita o

¹ Professor Dr. Titular aposentado do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS e Pesquisador do CNPq até 2020.

rendimento de forragens, espécies florestais, fixação de carbono, produção de biocombustíveis, entre outros. Pelo mesmo princípio, a *produtividade de grãos, frutos e fibras* também é limitada, promovendo oscilações nas colheitas e grandes prejuízos aos produtores rurais, às cadeias de produção e à economia como um todo.

As variáveis climáticas que mais agem sobre cultivos, tanto em céu aberto como em ambiente protegido e mesmo sobre os biomas são:

- *Fotoperíodo*, que influencia a migração e distribuição de espécies vegetais, seus genótipos e calendários de cultivo.

- *Temperatura do solo*, que atua sobre a germinação, crescimento, fisiologia das raízes e vida microbiana, e pode ser modificada pelo manejo e a cobertura do solo.

- *Vento*, que pode ter efeitos mecânicos, pela quebra ou acamamento de plantas, e na dispersão de sementes e patógenos. Porém, o vento também atua na fisiologia das plantas pelo aumento da transpiração das folhas, intensificando o déficit hídrico em condições de pouca chuva e alta demanda evaporativa.

- *Temperatura do ar* atua fortemente sobre os vegetais através da soma térmica (graus-dia), estimulando o crescimento e o desenvolvimento fenológico das plantas. Mas, em temperaturas extremas, estresses por geadas ou golpes de calor podem causar grandes prejuízos às culturas, sobretudo em épocas ou regiões mais propícias a esses fenômenos. Em muitas espécies, o frio pode tornar-se benéfico (e até necessário) para induzir certas fases fenológicas, como é o caso da *indução de gemas à brotação e ao florescimento* (em frutíferas) e da *vernalização* (em alguns cereais). A temperatura do ar também é fator atuante na demanda evaporativa e, portanto, na transpiração das plantas.

- *Chuva e evapotranspiração* são duas faces da mesma moeda. Enquanto a chuva tende a aumentar a oferta de água às plantas, a evapotranspiração representa a demanda

evaporativa da atmosfera. A combinação de ambas determina as condições hídricas sob as quais as plantas se desenvolvem e produzem. Porém, como não chove todos os dias, é necessário que haja um reservatório de água que possa suprir a demanda evaporativa nos dias sem chuva. E esse reservatório é o solo, cuja *capacidade de armazenagem de água* varia de acordo com suas características físicas (profundidade, textura, estrutura e teor de matéria orgânica) e da profundidade e atividade das raízes das plantas.

Assim, pode-se ver que as plantas estão submetidas, continuamente, a uma interação de elementos e fatores, que perfazem o ambiente físico sob o qual elas se desenvolvem, formando diferentes biomas e sistemas de produção, com suas características e limitações específicas a cada ecossistema.

3. Aplicações e Implicações

Reduzindo ainda mais o enfoque deste texto, vamos tratar do que mais interessa do ponto de vista da produção agrícola (e pecuária, por consequência), destacando os principais setores que são afetados pelas condições de tempo e clima. Estas são atribuições da Agrometeorologia, a qual se ocupa em estudar o clima, os processos pelos quais ele atua sobre as culturas agrícolas e as alternativas técnicas destinadas a evitar ou minimizar seus danos à produção e ao ambiente produtivo.

Zoneamento de espécies e calendários de cultivo.

O Brasil se destaca neste campo de aplicações pois, há várias décadas, a pesquisa tem avançado tanto na caracterização da variabilidade dos nossos climas, em nível regional e de cada Estado, como na obtenção de parâmetros e modelos de resposta das principais culturas e seus respectivos genótipos, frente a riscos climáticos, na medida em que variam as épocas e sistemas de cultivo.

Monitoramento e previsão de safras.

Também neste caso, o uso de parâmetros devidamente testados e seu emprego através de modelos tem avançado bastante e já contribui para os sistemas de levantamento de safras, que dão suporte ao monitoramento e às tomadas de decisão em sistemas de cultivo.

Climatologia

A estatística climatológica é feita a partir de séries históricas de dados meteorológicos e climáticos, visando obter estatísticas e parâmetros cada vez mais detalhados e confiáveis, com vistas ao planejamento e ao monitoramento de safras.

Práticas de manejo

- Irrigação e manejo da água – evitam danos por déficit hídrico (detalhes após);
- Cultivos protegidos – por coberturas diversas, acima ou na base das plantas;
- Arranjo e sistemas de condução – espaçamento, densidade, tipo de copa, etc.;
- Manejo do solo – controle de erosão e compactação, manejo da adubação;
- Manejo de doenças e pragas – sistemas de alerta e controle;

Melhoramento genético

Estudos de interação genótipo-ambiente, visando aprimorar a adaptação e o desempenho de diferentes genótipos às variações de tempo e clima, segundo a época de cultivo e as características de cada região;

Políticas de crédito, seguros e logística

Visando reduzir riscos e danos por condições climáticas adversas, apoiar sistemas (públicos ou privados) de seguro agrícola e dar suporte à logística de transporte e armazenamento de safras.

Assim sendo, não basta estudar as causas ou, simplesmente, descrever os fenômenos adversos de tempo e clima. Há que se conhecer a fundo os processos pelos quais eles podem causar danos e,

na sequência, propor soluções que possam dar suporte a tomadas de decisão, visando aprimorar o planejamento, prevenção, manejo e controle de riscos. São procedimentos necessários à sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (e suas respectivas cadeias produtivas) que se caracterizam pelo alto risco, muito embora os grandes avanços tecnológicos alcançados em décadas recentes.

4. Nosso clima e nossos biomas

Da Ecologia Geral vêm os princípios e conceitos básicos que regem a distribuição das plantas, os quais também se aplicam aos cultivos agrícolas. Segundo eles, a distribuição da vegetação é controlada, em primeiro lugar, pelas condições climáticas e, em segundo lugar, por fatores edáficos (Wilsie, 1966). Isto é importante considerar, pois nossos sistemas de produção estão situados em diferentes biomas os quais, por sua vez, se formaram e se adaptaram a diferentes condições de ambiente, em particular às condições de clima e solo. Assim sendo, considerando que os biomas se formaram e evoluíram ao longo de muito tempo, eles são verdadeiras testemunhas vivas das respectivas condições de ambiente físico às quais eles devem se adequar.

O território brasileiro compreende seis grandes biomas (Figura 1). Cinco deles se diferenciam pelo clima (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa, além do Pantanal, formado em função do relevo, numa grande planície alagadiça). O mapa da Figura 1 dá a impressão de que há limites nítidos e bem definidos entre cada bioma, o que nem sempre corresponde à realidade. Em muitos casos, as transições podem ser difusas e irregulares, com áreas descontínuas devido a variações (às vezes abruptas) do relevo, da formação geológica ou de outros fatores que possam também atuar.



Figura 1. Grandes biomas do Brasil. Fonte: https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/terri_torio/18307-biomas-brasileiros.html.

No bioma Amazônia, o clima é quente e úmido o ano todo, propiciando a formação de florestas equatoriais densas. No Cerrado há alternância de uma estação chuvosa (verão) e outra seca (inverno), com predominância de vegetação de savana. A Caatinga tem uma curta estação chuvosa e outra seca (mais longa), e a vegetação predominante é estepe, adaptada à condição de aridez. Na Mata Atlântica a floresta úmida reaparece, por ser chuvosa todo o ano. Este bioma se estende desde o litoral do nordeste até o planalto meridional, com formações heterogêneas pela variação nas condições térmicas, por diferentes efeitos de latitude e de altitude, sobretudo na parte sul.

O Pampa ocupa grande parte do Rio Grande do Sul, mas se estende ao Uruguai e Argentina, onde predomina vegetação herbácea, devido a restrições por deficiência hídrica no verão e frio no inverno.

Nesta rápida caracterização dos biomas brasileiros e seus climas predominantes, é possível deduzir que as condições hídricas representam o principal fator de formação dos diferentes tipos de vegetação predominante. Apenas nas regiões sul e sudeste, ao longo do planalto meridional, há uma nítida interação entre condições hídricas e térmicas na diferenciação dos biomas, pelo aumento do contraste térmico entre inverno e verão, por efeitos da altitude e da latitude.

5. Balanço hídrico

A condição hídrica das plantas resulta da interação entre o suprimento de água pelo solo (fonte) e a demanda evaporativa da atmosfera. Assim, ao analisar uma situação de campo, não basta saber a quantidade de água suprida pelas chuvas. Também deve-se considerar a demanda de água pela evapotranspiração. E neste balanço entre suprimento e perda, o solo é o reservatório que abastece as plantas nos intervalos sem chuvas.

A Figura 2 dá uma ideia de como as plantas dependem, ao mesmo tempo, do suprimento de água e da demanda evaporativa. A comparação é feita com uma lamparina de querosene, cuja mecha absorve o combustível de um reservatório (que tem capacidade limitada) para atender a uma demanda que varia de acordo com o tamanho da chama. A comparação é um tanto imprecisa, já que as plantas possuem mecanismos que regulam, até certo ponto, as perdas de água por transpiração e a absorção pelas raízes.

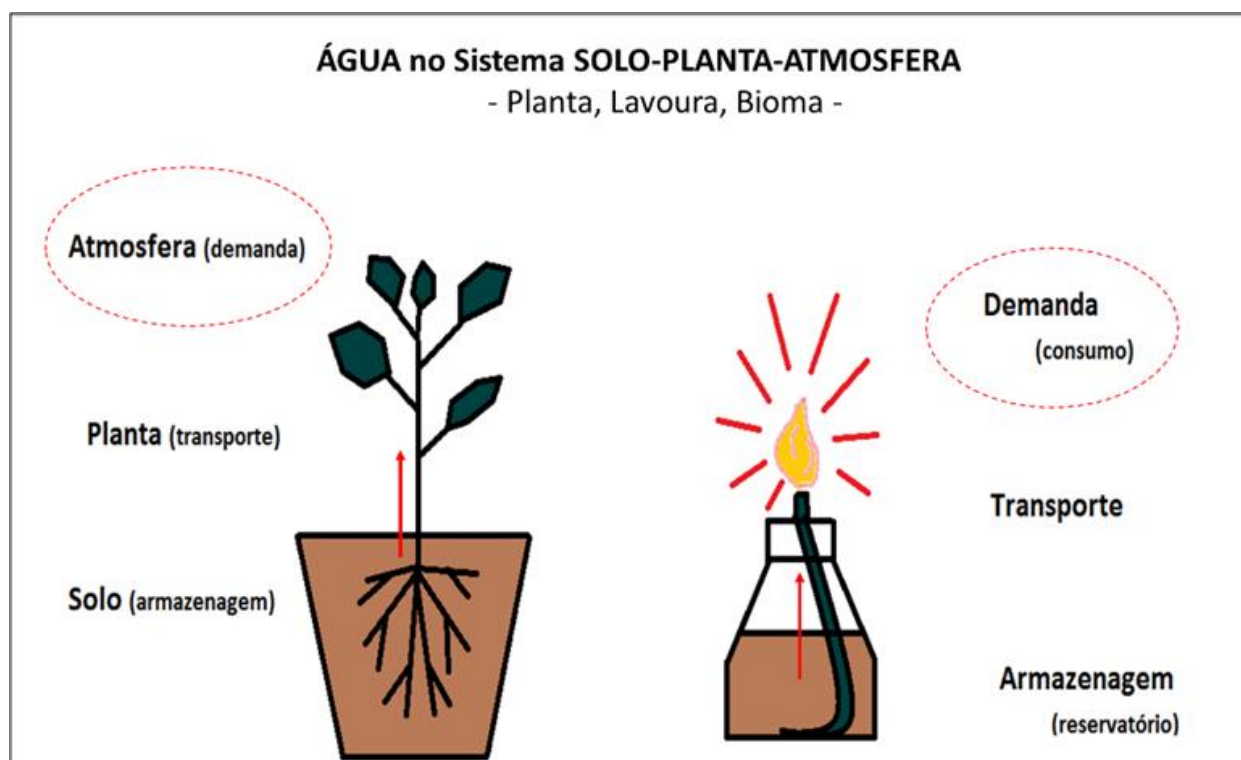


Figura 2. Relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera por analogia a uma lamparina de querosene, segundo Hillel (1970), ilustrada por Bergamaschi (2017).

Isto significa que, em períodos de alta demanda evaporativa (nos meses de primavera-verão), o consumo de água é elevado e a água armazenada no solo se esgota facilmente, sendo que o contrário ocorre em dias de baixa demanda evaporativa (nos meses de outono-inverno). Este raciocínio indica que não basta saber apenas quanto choveu nos últimos dias ou semanas, sem ter dados de demanda evaporativa. Portanto, *tem pouco sentido uma simples comparação entre a chuva ocorrida com a chuva esperada (normal) no mesmo intervalo*. Esta comparação pode ter utilidade do ponto de vista estatístico, mas não

avalia as reais condições hídricas dos ecossistemas.

A Figura 3 representa médias climáticas mensais, ou seja, valores *normais de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência* para o município de Eldorado do Sul, com dados da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS. O local está na faixa leste da Depressão Central do Rio Grande do Sul, numa condição climática mais ou menos média do Estado. Considerando que a *evapotranspiração de referência (ET_o) equivale à demanda de água de uma área com cobertura*

vegetal completa e de porte baixo (barras vermelhas), percebe-se que a demanda evaporativa

da atmosfera tem variação anual mais acentuada do que a chuva (barras azuis).

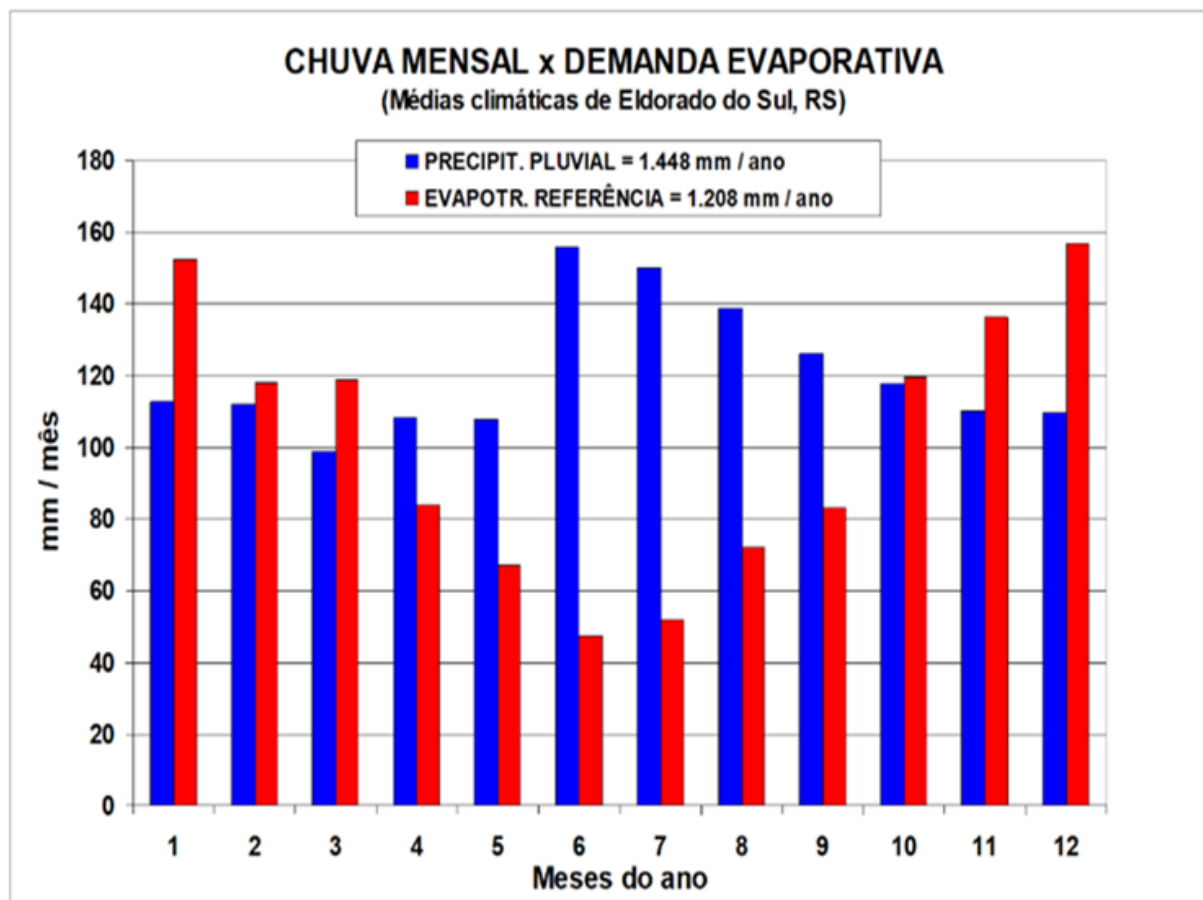


Figura 3. Médias normais de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência em Eldorado do Sul, Depressão Central do Rio Grande do Sul (Bergamaschi et al., 2003).

A grosso modo, a demanda evaporativa triplica de valor entre dezembro (quase 160mm) e junho (menos de 50mm). Enquanto isto, as médias mensais de precipitação pluvial são todas superiores a 100mm, sendo um pouco mais elevadas nos meses de inverno (Bergamaschi et al., 2003). Este conjunto de dados permite deduzir que deficiências hídricas são mais prováveis nos meses de primavera-verão do que no período de outono-inverno, sobretudo pela grande variação anual da demanda evaporativa da atmosfera. Soma-se a isto a grande variabilidade que caracteriza a precipitação pluvial, sobretudo nos meses de verão. Assim sendo, a combinação de dados de chuva e evapotranspiração de referência permite elaborar e interpretar o *balanço pluviométrico*, já que não está sendo considerada a água armazenada no solo.

É importante destacar que a demanda evaporativa da atmosfera é função da radiação solar incidente (radiação global), da velocidade do vento, da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Ela é expressa pela evapotranspiração de referência (ET_o), que pode ser estimada através de fórmulas e planilhas de cálculo, com dados de observação meteorológica provenientes de observação local ou em redes de estações. Dos quatro elementos que compõem a ET_o a radiação solar incidente é o principal determinante, e isto se traduz na grande oscilação da demanda evaporativa ao longo do ano e entre períodos com e sem chuvas (mais detalhes em Bergamaschi, 2017).

Por outro lado, o *balanço hídrico* do solo também deve levar em conta a capacidade de armazenagem de água disponível (CAD), a qual

pode ser determinada para cada solo e sistema de cultivo pela seguinte fórmula:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot P$$

Sendo CAD a capacidade de armazenagem de água no solo (mm); θ_{cc} e θ_{pmp} a umidade em base volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente; e P a profundidade (mm) de extração de água pelas plantas. Assim, percebe-se a importância das características físicas do solo (textura, estrutura e teor de matéria orgânica) e da profundidade de raízes, sobre o “tamanho do reservatório de água” que as plantas terão disponível em períodos secos.

Infelizmente, nem sempre o conceito e o significado de evapotranspiração são devidamente compreendidos e utilizados em estudos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Mas, isto está bem explicado e fácil de entender no livro já citado, de Bergamaschi & Bergonci (2017). Do mesmo modo, os conceitos e parâmetros relativos à *armazenagem de água no solo* também devem estar bem claros em qualquer abordagem deste tema, tão importante para o manejo do solo e da água.

Estas são deficiências que ainda persistem na formação acadêmica de boa parte dos nossos estudantes pois, em geral, estes aspectos são vistos de forma resumida, ainda no início da maioria dos cursos de graduação, sendo que poucos retornam a abordá-los de maneira concreta e detalhada, com a finalidade de uso em inúmeras aplicações de cunho prático. Felizmente, houve importantes avanços recentes em questões relativas à *sustentabilidade* em sistemas de produção, que implicam em aumento de *produtividade*, visando a *segurança alimentar*, com *preservação ambiental*. Tudo isto evidencia a necessidade de reforçar a base científica de nossos cursos e, portanto, da formação de recursos humanos. Do mesmo modo, disciplinas e projetos de pesquisa em nível de pós-graduação têm resgatado a necessidade de abordagens com forte base científica, o que resulta

em avanços tecnológicos mais consistentes e seguros.

6. Impacto das estiagens: o milho como exemplo

Os sistemas de produção agrícola e os ecossistemas em geral, podem sofrer fortes restrições ou limitações por fenômenos de natureza climática. Por outro lado, seus riscos e impactos, variam muito, de acordo com a natureza e intensidade dos fenômenos, época de ocorrência e localização, além do estágio em que as plantas se encontram. Oscilações nas condições atmosféricas (excesso ou deficiência de algum elemento) podem promover grandes prejuízos aos sistemas de produção, como nos casos de inundações, vendavais, chuvas de granizo e estiagens, causando forte instabilidade ou quebras de safras, que resultam em prejuízos aos produtores rurais e aos demais segmentos do agronegócio.

Dentre os fenômenos climáticos adversos, as estiagens se destacam por atingirem grandes extensões, em geral, e por danificarem, sobretudo, as culturas de clima quente, responsáveis pela maior parte da produção agrícola das regiões subtropicais e tropicais. Um bom exemplo disso é o que ocorre com a cultura do milho, que se converteu numa importante commodity para exportação ao exterior, e que sempre foi o principal suporte para diversas cadeias de produção, como é o caso de aves, suínos e gado leiteiro, além de participar na elaboração de inúmeros alimentos importantes à população.

Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil as estiagens têm maior frequência de ocorrência nos meses de outono-inverno, embora também possam ocorrer os chamados “veranicos”, que são curtas estiagens de primavera-verão, quando o milho é cultivado naquelas áreas. Como o regime térmico tem pouca influência sobre os calendários de cultivo dessas regiões (exceção feita aos planaltos do Sudeste) o regime de chuvas se torna fator limitante para definir os calendários

agrícolas das zonas tropicais, que é o caso da cultura do milho.

Por outro lado, na região Sul as chuvas ocorrem durante todo o ano e, por isto, o regime térmico é que define as épocas de cultivo do milho e demais espécies de primavera-verão. Nas regiões mais quentes o calendário de semeadura é mais amplo e isto permite mais de uma safra por ano, além de melhores condições para realizar rotação de culturas. Nas regiões de maior altitude (mais frias) as condições térmicas são mais restritas às culturas de clima quente, e isto dificulta ou até impede duas safras de milho ao ano, mesmo utilizando genótipos precoces ou super-precoces.

Por outro lado, nas regiões subtropicais do sul do Brasil há grande oscilação na demanda evaporativa da atmosfera devido, sobretudo, à grande variação na quantidade de radiação solar incidente, como foi visto na Figura 3. Esta oscilação aumenta na medida em que aumenta a latitude. Isto faz com que a frequência de déficit hídrico (seca, do ponto de vista agrônômico) seja maior e mais intensa entre o final da primavera e o final do verão, do que no restante do ano, embora as médias mensais de chuvas sejam, em geral, equilibradas ao longo de todo o ano (Figura 3).

Como foi visto no item anterior, independentemente do tipo e manejo do solo, a deficiência hídrica tem início quando a quantidade de chuvas é menor do que a demanda por evapotranspiração. Bergamaschi (2017) comparou dados de séries históricas de rendimento de grãos de milho, entre as safras de 1977 a 2014, em três estados brasileiros: Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul. Em geral, os dados são oscilantes nos três Estados, mas com maior variabilidade no Rio Grande do Sul. As curvas que representam a tendência histórica de rendimento de milho, que definem a chamada tendência tecnológica, são de crescimento exponencial para os três Estados. Porém, elas também demonstram que tem havido menor incremento de rendimento no Rio Grande do Sul, que também apresenta a maior variabilidade (ou instabilidade) entre anos, conforme demonstram os coeficientes de ajuste (R^2) das linhas de tendência dos três Estados.

Atualizando a série de dados para as safras de 1977 a 2023 os dados de rendimento do milho mantêm as mesmas evidências, tanto na inclinação das curvas de tendência histórica como nos coeficientes de ajustes. Assim, na comparação entre as três regiões, pode-se deduzir que o Rio Grande do Sul tem a menor expectativa de rendimento e a maior variabilidade entre anos para a cultura do milho.

Considerando as mesmas regiões anteriores, Bergamaschi (2017) comparou estatísticas de chuva de três localidades situadas em Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, com dados normais do Instituto Nacional de Meteorologia, de 1961 a 2008. Para o trimestre novembro-dezembro-janeiro, que engloba o período crítico do milho em primeira safra, as médias mensais de precipitação pluvial foram de 145mm em Cruz Alta (RS), 202mm em Maringá (PR) e 260mm em Rio Verde (GO). Ou seja, há um decréscimo na expectativa de chuvas, do centro ao sul do País, no trimestre que praticamente define a maior parte da primeira safra de milho no Brasil.

Num raciocínio simples, e considerando que o milho necessita em torno de 7mm de água por dia, no período que define o rendimento de grãos, pode-se inferir que a cultura necessita cerca de 50mm por semana, ou seja, próximo a 200mm em 30 dias (Bergamaschi, 2017). Em outras palavras, pode-se deduzir que, mesmo *na metade norte do Rio Grande do Sul, a média climática de precipitação pluvial é insuficiente para atender à demanda de água do milho no período crítico*, quando ela define seus componentes do rendimento. Isto quer dizer que, *na maioria dos anos a chuva que ocorre no período crítico do milho não atende à plena necessidade de água da cultura, mesmo na metade norte do Rio Grande do Sul*. E como foi referido anteriormente, na metade sul do Estado as normais climáticas de chuvas são ainda menores (e também oscilam fortemente), sendo que a demanda evaporativa é ainda mais elevada que na metade norte. Tudo isto sem contar a grande variabilidade espacial da capacidade de armazenagem de água dos solos, em função de suas características e propriedades físicas.

A grande oscilação na série histórica de rendimento de grãos de milho no Rio Grande do Sul demonstra, de forma aleatória, grandes variações tanto na intensidade como na frequência de reduções de safra. E isto, certamente, tem dificultado a avaliação de impactos e, portanto, todo planejamento e tomadas de decisão. Por exemplo, em quatro safras consecutivas, de 1992 a 1995, o Estado teve rendimentos de milho acima da expectativa da época, sem estiagens significativas em todo o ciclo da cultura, o que chegou a ser denominado como um “grande El Niño”. Houve uma certa reversão do impacto negativo causado pela frustração da safra de 1991, que teve quebra de safra, devido a uma estiagem relativamente curta, porém concentrada no mês de janeiro.

Ocorrência ainda mais significativa se deu após a forte estiagem na safra de 2012, que causou grande impacto na economia regional e, sobretudo, ao agronegócio. Houve grande preocupação com relação a riscos por estiagens e à necessidade de investir em medidas de redução de seus impactos, mas que não resultaram em grandes modificações do panorama regional. Com efeito, as sete safras seguintes, de 2013 a 2019 causaram uma verdadeira euforia no agronegócio gaúcho, com safras crescentes e sem reduções significativas nas culturas de primavera-verão. Houve grande expansão nas áreas de cultivo de grãos em sequeiro (sem irrigação), principalmente na metade sul do Estado, que sempre teve restrições quanto à aptidão climática, sobretudo em solos de coxilhas.

As safras recentes, em particular no triênio 2021, 2022 e 2023, tiveram grandes reduções e prejuízos enormes ao setor, pela ocorrência de estiagens longas nos meses de primavera-verão, e pelo grande aumento nos custos de produção resultantes de altos investimentos em tecnologia moderna. Em consequência, o setor voltou a dar atenção às questões relacionadas ao clima, em particular a investimentos e práticas destinadas a reduzir os impactos das estiagens. Ao lado disto, tornou-se crescente a preocupação com questões ambientais e de sustentabilidade, no sentido de reduzir a instabilidade causada pela variabilidade

climática, que se mostra cada vez mais pronunciada em cenários de longo prazo e de escala global. Este é um momento altamente propício e oportuno para rever e pôr em prática questões, que não são novas, mas que pressupõem novos modelos e procedimentos tão necessários, numa visão de conjunto.

7. Medidas técnicas necessárias

7.1. Monitoramento e previsão de tempo e clima

Alternativas de solução para problemas oriundos de estiagens são muitas e assumem várias finalidades, a começar por um sistema eficiente de monitoramento e previsão de tempo e clima. Historicamente, o homem do campo sempre teve sua atenção voltada às condições de tempo e clima, e isto se justifica cada vez mais na medida em que os sistemas de produção se tornam mais complexos e mais onerosos.

Os sistemas de previsão e monitoramento meteorológico (de curto prazo) e climático (de longo prazo) evoluíram bastante nos últimos tempos. Porém, ainda carecem de avanços, em particular no que se refere a previsões quantitativas, mesmo naquelas de curto prazo, que são de grande importância para tomadas de decisão, sobretudo em práticas de manejo. Mesmo assim, a contribuição da previsão meteorológica é cada vez mais útil e necessária, e tem dado grande apoio às atividades rurais, sob vários aspectos.

Nas últimas décadas, além do monitoramento e da previsão do tempo, que têm tido grandes avanços, as atenções têm-se voltado também às previsões climáticas, que fornecem indicações e tendências quanto às condições dos próximos meses. Estudos relativos ao fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) vem contribuindo significativamente neste sentido, servindo de base para elaborar prognósticos, embora de grande escala, mas que são amplamente divulgados e traduzidos em recomendações para o setor produtivo e o público em geral.

Berlato & Fontana (2003) descreveram as principais características do fenômeno ENOS, bem como suas principais influências no regime de chuvas, em diferentes épocas do ano, e no rendimento de algumas culturas de primavera-verão no Rio Grande do Sul. Segundo os mesmos autores, o fenômeno tem maior influência nos meses de primavera e outono, sendo que os eventos de El Niño tendem a aumentar a quantidade de chuvas, enquanto que os eventos de La Niña tendem a diminuí-las.

Mais tarde, baseados em longas séries de dados, Matzenauer et al. (2017) também avaliaram a associação entre o fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Estado do Rio Grande do Sul. Observou-se que, em todas as estações do ano, chove mais em eventos El Niño, com destaque para a primavera. Chove menos em eventos La Niña na primavera, enquanto que, no verão, outono e inverno, as precipitações pluviais são similares em eventos La Niña e Neutros. Anos Neutros apresentam, em geral, desvios negativos de chuva em todas estações do ano.

Também baseados em longas séries de dados do Rio Grande do Sul, Matzenauer et al. (2020) observaram que os desvios da precipitação pluvial, durante eventos El Niño, foram positivos em 98% dos casos (localidades e estações do ano). Porém, na primavera, todas as localidades apresentaram desvios negativos de precipitação em eventos La Niña. Em anos Neutros, a maioria das localidades também apresentaram desvios negativos de precipitação. Por outro lado, segundo os autores, *quebras de safras de verão ocorrem com frequência no Estado, independentemente do evento climático*. Isto acontece devido à grande variabilidade da precipitação pluvial, principalmente nos meses de verão, podendo ocorrer baixos índices pluviométricos, tanto em anos de La Niña como em eventos El Niño ou Neutros.

Por outro lado, estudos relativos às mudanças climáticas têm identificado que elas já estão ocorrendo, tanto em escala global como regional. *Aumentos nas temperaturas noturnas, sobretudo nos meses mais quentes, já foram*

comprovadas a partir de séries históricas de observações (Berlato & Althaus, 2010; Cordeiro, 2010). Além disso, também *foi detectado aumento da variabilidade climática, ou seja, maior variação de eventos extremos em curto prazo*. Este detalhe é muito importante, conforme observou Baethgen (2015), segundo o qual *a variabilidade climática (de curto prazo) continuará sendo maior que as mudanças de longo prazo*.

Persistem incertezas quanto à intensidade das mudanças climáticas, tendo em vista que suas causas são complexas e não lineares. Os modelos de estimativa dessas mudanças ainda são limitados e faltam séries confiáveis de dados em grandes extensões, sobretudo nas regiões tropicais. Quanto a seus impactos sobre sistemas produtivos e ambientais também há grandes incertezas, até porque a maioria de seus efeitos é de natureza biológica, cujos processos são ainda mais complexos que no caso de processos puramente físicos. Também, faltam conhecimentos e parâmetros mais detalhados e adequados, o que demanda muita pesquisa pela frente. Além disso, há que se considerar que os sistemas evoluem, ao mesmo tempo em que os ambientes se modificam, o que torna ainda mais complexas as relações de causa e efeito.

Por outro lado, já existe total certeza quanto à ocorrência das mudanças climáticas, em particular quanto ao aumento das temperaturas (devido ao efeito estufa), com maior aquecimento no período noturno. A ocorrência de déficit hídrico tende a ser mais frequente, junto com temperaturas diurnas “supra ótimas” aos seres atualmente adaptados, principalmente nas estações quentes das regiões tropicais e subtropicais. Além disso, considerando que o aquecimento global é mais rápido que a capacidade de adaptação dos organismos naturais, espera-se que o impacto seja muito maior em ecossistemas nativos do que em sistemas de produção, nos quais é possível a manipulação genética e adaptações em sistemas de manejo, tanto das espécies (plantas e animais) como do próprio ambiente físico (solo, água e atmosfera).

No enfrentamento às mudanças climáticas, há duas estratégias principais. Uma delas é a *mitigação*, que visa reduzir o efeito estufa pela redução de gases de estufa, em particular reduzindo as emissões de CO₂. São medidas em escala global e de longo prazo, que envolvem decisões em nível governamental e grandes acordos internacionais.

Por outro lado, medidas de *adaptação* são de pequena escala e curto prazo, pois são tomadas em nível de propriedade, empresas e agências de planejamento. São aquelas que estão ao alcance de programas de treinamento e desenvolvimento tecnológico. Portanto, em se tratando de produção agropecuária, são procedimentos que estão no âmbito da pesquisa e da extensão rural, e que podem e devem ser incentivados e adotados por profissionais e produtores direta ou indiretamente envolvidos. Neste sentido, dois campos de atuação podem ser destacados: 1) Avanços na interação genótipo-ambiente, adequando novos materiais genéticos às alterações de ambiente, ajustes em zoneamentos por genótipos e adequação de práticas de manejo, às necessidades dos novos materiais; 2) Sistemas conservacionistas de manejo de solo, água e carbono, promovendo a biodiversidade, fazendo rotação, escalonamento e diversificação de cultivos, e promovendo melhores condições de microclima, através de irrigação, quebra-ventos, sombreamento e uso ambientes protegidos.

7.2. Adaptação às estiagens

No âmbito do *melhoramento*, é possível adequar melhor as espécies cultivadas, através de ajustes nas relações genótipo-ambiente. Novos genótipos deverão proporcionar melhorias na tolerância à seca e temperaturas elevadas, mantendo ganhos metabólicos em temperaturas “supra ótimas”, assim proporcionando maior estabilidade de rendimento sob condições de estresse hídrico. Em consequência, também é esperada maior eficiência no uso de radiação solar e da água, através dos novos genótipos.

Melhorias no *manejo de cultivos* devem ser feitas, considerando todo o sistema solo-planta-atmosfera. Para tanto, serão indispensáveis práticas adequadas de solo e água, através da irrigação e de sistemas conservacionistas. Cultivos protegidos também deverão ser amplamente incrementados para muitas culturas, visando proporcionar microclimas mais amenos, com melhores condições hídricas e térmicas às plantas, assim expandindo áreas e épocas de cultivo para inúmeras espécies. O manejo do solo e da matéria orgânica (incluindo a fixação de carbono) também deve ser incrementado, visando obter melhores condições de armazenagem de água prontamente disponível às plantas, assim reduzindo o impacto de curtas estiagens acompanhadas de alta demanda evaporativa. Sempre que possível, deve-se utilizar sistemas de cultivos múltiplos (diversificados) e consorciados, visando melhorar a proteção do solo e, sobretudo, diversificar o uso do solo e da água, proporcionando maior flexibilidade de produção frente à variabilidade das chuvas. Adequar o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, a fim de proteger as culturas da competição por patógenos e plantas indesejadas, com uso mínimo de agroquímicos.

Este tópico pode ser condensado nos seguintes aspectos:

A *irrigação* permite evitar perdas e oscilações na produção, através da suplementação de água em períodos de deficiência hídrica, seja por estiagens curtas ou longas. É importante frisar que, pelas características dos climas subtropicais do Brasil, à exceção da cultura do arroz (que é hidrófita), a irrigação da grande maioria das espécies cultivadas é do tipo *suplementar*, o que implica em um sistema que seja flexível e variável no uso da água, devido à grande variabilidade do regime de chuvas, da demanda evaporativa atmosférica e da necessidade de água que as plantas têm ao longo do ciclo. Ou seja, o uso de *irrigação suplementar implica em evitar calendários de rega*, que se adaptam somente em condições de climas muito secos.

As demais *práticas de manejo*, em geral, permitem reduzir a deficiência hídrica às plantas, o que permite dar maior estabilidade à produção das culturas, sobretudo em estiagens de curta duração, mas que são mais frequentes que longas estiagens. Além disso, o manejo racional de solo, água e plantas proporciona sistemas de produção mais sustentáveis e com reflexos altamente positivos em longo prazo, o que está em pleno acordo com os preceitos de sustentabilidade e segurança alimentar.

Os *zoneamentos agrícolas de risco climático* permitem reduzir significativamente os impactos de estiagens, pela correta distribuição das culturas às variações de ambientes, entre locais e épocas de cultivo. A busca contínua de parâmetros e modelos devidamente ajustados, através das instituições de pesquisa, tem proporcionado ajustes necessários e adequados às variações de ambiente e genótipos para inúmeras culturas. Este é um item muito importante de redução de riscos, que tem uso consolidado no Brasil, em particular quando o produtor necessita financiamento ou sistemas de seguro agrícola.

8. Irrigação: quando e quanto?

No uso racional da irrigação duas questões devem ser atendidas: Quando irrigar? Quanta água aplicar?

A primeira questão diz respeito ao período do ciclo em que as plantas mais necessitam da irrigação e ao momento mais propício para irrigar as plantas. Para plantas cujo produto final resulta da parte vegetativa, como espécies forrageiras, florestais, hortaliças folhosas e plantas ornamentais, a produção de biomassa não deve ser reduzida em nenhum estágio do ciclo. Portanto, para essas espécies não há período definido, em que elas sejam mais ou menos suscetíveis a estresse por deficiência hídrica. Porém, na medida em que crescem e acumulam biomassa, essas plantas aumentam a quantidade de água consumida, de forma proporcional ao crescimento

da área foliar, que é a principal via de perda de água por transpiração. Por outro lado, no início do ciclo dessas espécies, na germinação e emergência de plântulas, os cuidados devem ser maiores com relação ao suprimento de água, o que implica no uso de sementeiras, viveiros e coberturas para a formação de mudas e posterior transplante, como é o caso de muitas hortaliças.

Em espécies produtoras de grãos ou frutos, porém, há períodos do ciclo em que o impacto de estresses abióticos, como déficit hídrico, é muito mais acentuado e pode causar grandes prejuízos à produção. Esses são os chamados *períodos críticos*, durante os quais podem ocorrer grandes reduções no rendimento das culturas (e até frustração de safras), mesmo que os estresses sejam de curta duração. O capítulo de Bergamaschi (2017), contém uma coletânea que descreve os períodos críticos das principais culturas de interesse no Brasil, com base no Boletim 33 da FAO, de Doorenbos & Kassam (1979).

Em culturas de primavera-verão, a observância das condições hídricas nos períodos críticos é de suma importância, a fim de evitar grandes prejuízos à produção, devido à alta sensibilidade das plantas a qualquer fator de estresse. Além disso, manter as plantas em condições hídricas adequadas também garante *eficiência do uso da água*, por se tratar de estádios em que as plantas têm maior resposta à suplementação hídrica.

Em experimentos de longa duração com milho, Bergamaschi et al. (2006) verificaram que a disponibilidade hídrica no período compreendido entre “dois dias antes e sete dias após o pendoamento” foi responsável por mais de 70% das variações no rendimento final de grãos. Assim sendo, a irrigação feita neste curto intervalo do ciclo tende a proporcionar o máximo retorno e produção de grãos e garantir o sucesso da lavoura, com máxima eficiência da água aplicada. Associado a um adequado sistema de escalonamento de épocas de semeadura ou de rotação de espécies, o emprego de irrigação centrado em períodos críticos, pode proporcionar

grandes vantagens ao produtor pela maior eficiência de uso de água, da mão de obra e de equipamentos na propriedade. Isso implica em benefícios adicionais, pela redução no uso de mananciais, economia de combustíveis e uso racional do solo.

A segunda questão se refere à quantidade de água a ser aplicada na irrigação. A princípio, a dose de cada rega deve corresponder à quantidade de água consumida por evapotranspiração depois da última rega ou chuva ocorrida. Numa cultura irrigada, a evapotranspiração (transpiração mais evaporação do solo) varia entre estádios da cultura e pela variação da demanda evaporativa da atmosfera. Numa cultura sem déficit hídrico o consumo de água da cultura se denomina *evapotranspiração máxima – ET_m*. E este é o parâmetro que define cada dose de rega, pois *irrigar corretamente significa repor a água que foi extraída do solo depois da última rega*. Se houver alguma chuva no mesmo intervalo, esta deve ser subtraída no cálculo da dose de rega a ser aplicada.

Dados médios diários de ET_m para diversas culturas brasileiras são apresentados por Bergamaschi (2017), os quais servem para dar a ordem magnitude da necessidade diária de água de cada cultivo, para fins de planejamento e dimensionamento de sistemas, por exemplo. Entretanto, em condições reais de campo, além de variar ao longo do ciclo das plantas, a evapotranspiração de uma cultura (ET_m) também varia fortemente com a demanda evaporativa da atmosfera, ou seja, com a evapotranspiração de referência (ET_o). Ou seja, para uma mesma espécie o consumo de água das plantas varia em função evolução da área foliar e das oscilações na demanda evaporativa da atmosférica.

Na prática, para chegar a valores reais e precisos de ET_m e obter a dose de rega correta o mais recomendado é o emprego do chamado *coeficiente K_c*, que também é denominado *coeficiente de cultura*. Este coeficiente expressa a seguinte razão:

$$K_c = ET_m / ET_o$$

Sendo K_c o coeficiente de cultura, ET_m a evapotranspiração máxima da cultura e ET_o a evapotranspiração de referência.

Assim, para fins práticos calcula-se a ET_m, que equivale à quantidade de água consumida do solo após a última rega ou chuva. Logo, a equação fica sendo:

$$ET_m = K_c \times ET_o$$

Valores de K_c indicados para as principais culturas de interesse no Brasil, assim como toda a base para entender seu emprego e uso, são apresentadas por Bergamaschi (2017). No mesmo texto também está descrita a metodologia para calcular valores de ET_o, pelo uso de planilhas de cálculo que empregam dados de radiação solar global, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Dados de K_c ao longo do ciclo de cada cultivo são oriundos de pesquisas de campo e constam em publicações de referência, como em Bergamaschi (2017). Por outro lado, dados diários de ET_o devem ser calculados, a partir de observações em estações meteorológicas representativas das condições do local de cultivo.

O emprego de estações meteorológicas automáticas já é difundido no Brasil sendo que, em muitos casos, esses equipamentos já acompanham o próprio sistemas de irrigação. Ao lado disto, vários sistemas públicos de meteorologia no Brasil, como o Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br) e diversos outros sistemas regionais, disponibilizam dados meteorológicos provenientes de redes de estações automáticas, que são necessários para *calcular a ET_o diária*, além da precipitação pluvial ocorrida. O texto de Bergamaschi (2017) descreve detalhes da sequência e uso de equações necessárias ao cálculo da ET_o diária segundo metodologia recomendada pela FAO, a qual vem sendo utilizada internacionalmente. Também, constam funções e parâmetros oriundos de pesquisas feitas no Brasil, necessárias a estimar o saldo de radiação (R_n) a

partir de dados de radiação solar global, que é o principal elemento para o cálculo de ETo.

A Figura 4 mostra o primeiro lisímetro de pesagem montado e utilizado no Brasil, para medições precisas de evapotranspiração de culturas. Ele foi instalado em 1988, na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, e operou até 2006. Grande acervo de dados e publicações se originaram a partir do emprego desse equipamento, que deram base a inúmeras teses de mestrado, doutorado e pós-doutorado. A partir desses estudos, também houve grande intercâmbio de conhecimentos, em nível nacional e internacional, que tiveram seqüências em outras culturas e locais.

Atualmente, diversas instituições de pesquisa do Brasil também operam lisímetros de pesagem, em diferentes regiões do Brasil, o que tem dado grande impulso aos trabalhos de pesquisa nesta área de conhecimento, garantindo alta qualidade aos parâmetros e ampliando o campo de aplicação em termos de culturas e sistemas de cultivo.

Ainda no começo dos anos 1970, uma equipe formada por pesquisadores e estudantes da UFRGS e da Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul iniciou o emprego de lisímetros de drenagem na mesma região (porém, na E. E. Taquari), de cujos resultados se originou grande número de trabalhos, teses e publicações para inúmeras culturas, cujos dados (muitos deles pioneiros) se tornaram referência para uso prático em irrigação e aplicações afins.

A Figura 5 reproduz o folder do livro-texto de Bergamaschi & Bergonci (2017), que é a fonte bibliográfica principal deste artigo. Esta obra também trata, com a mesma qualidade, da ocorrência e impacto dos demais estresses do ambiente físico (além da água) sobre as plantas e a produção agrícola do Brasil. Dos doze capítulos desse livro, três deles abordam os efeitos da radiação solar, da temperatura do ar e das condições hídricas sobre o metabolismo das plantas, que são de autoria do saudoso Prof. Titular e Dr. João Ito Bergonci, ao qual fica aqui registrada uma justa homenagem deste autor.



Figura 4. Lisímetro de pesagem destinado a medir a evapotranspiração de culturas, instalado em 1988, na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS. Foto do autor.

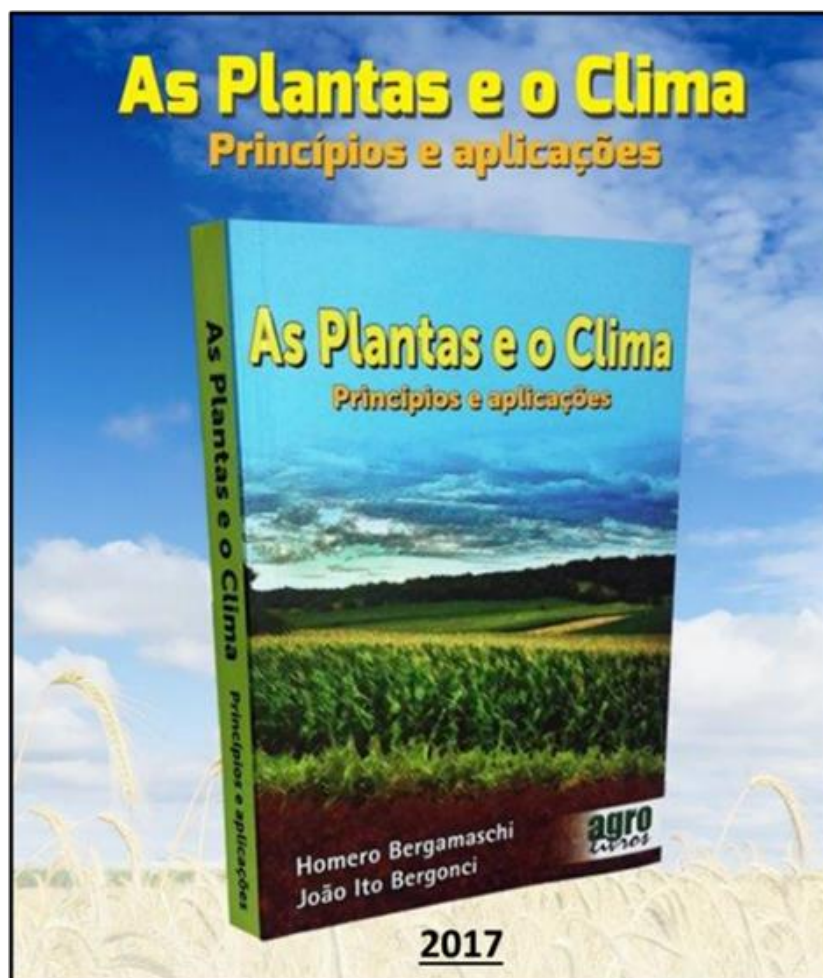


Figura 5. Livro-texto de Bergamaschi & Bergonci (2017) que é a fonte bibliográfica principal e detalhada do conteúdo deste artigo. Poster: Editora Agrolivros, Porto Alegre, RS.

Literatura Consultada e Recomendada

BERGAMASCHI, H. Água. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As Plantas e o Clima: Princípios e Aplicações**. Guaíba, Agrolivros, 2017. 352p.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As Plantas e o Clima: Princípios e Aplicações**. Guaíba, Agrolivros, 2017. 352p.

BERGAMASCHI, H. et al. **O clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. UFRGS. 2003. 77P.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2. p. 243-249, 2006.

BERLATO, M.A.; ANTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Fepagro, **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 16, n ½, p. 7-16, 2110.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: Impacto no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2003. 110p.

CORDEIRO, A.P.A. Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das

derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul. 2010. 273 f. **Dissertação (Mestrado – Agrometeorologia)** – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma FAO, 1976. 194p. (Riego y Drenaje n. 33).

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.2, p.173-181, 2017.

MATZENAUER, R.; MALUF, J. R.T.; RADIN, B. **Regime de chuvas e produção de grãos no Rio Grande do Sul: impacto das estiagens e relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2020. 133 p. il. color. E-book.

WILSIE, C.P. **Cultivos: Aclimatación y Distribución**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1966. 489p.



FACULDADE DE AGRONOMIA



/FagroUFRGS