

## Capítulo 51

# Variação Geográfica da Agricultura Irrigada

Daniel Pereira Guimarães

Gabriel Ribeiro Brandão

### Os desafios da alimentação humana

Atualmente, vivenciamos o período Holoceno da Era Cenozoica. Esse período teve início há cerca de 11 mil anos, após a última glaciação, e coincide com o surgimento da espécie humana no planeta. Há cerca de dez mil anos, no período Neolítico, as espécies humanas já iniciaram o cultivo de plantas para sua alimentação dando início à prática da agricultura. A capacidade de produzir alimentos para seu próprio sustento, incluindo a manutenção de rebanhos animais, promoveu profundas transformações no comportamento da raça humana que passou a manter hábitos gregários e maior capacidade de resiliência em face das adversidades (Gupta, 2004). O uso da prática da irrigação através da condução de água por canais surgiu da necessidade de adaptação do cultivo de plantas em regiões de savanas, onde o clima era menos favorável para a produção agrícola do que nos ambientes de maior cobertura florestal. Neto (2003) citado por Lima (2017), informa que há cerca de 4.500 anos a.C., os povos Caldeus, Assírios e Babilônicos já adotavam o uso da irrigação para a produção de alimentos. Os canais de irrigação construídos pelos Incas no Peru e pelos Nabateus na cidade de Petra, na Jordânia, são exemplos clássicos do impacto do uso eficiente da água por civilizações que floresceram em ambientes de altos riscos de deficiência hídrica.

A produção de alimentos vem passando por rápidos processos transformativos. Os avanços na área de biotecnologia, controles efetivos de pragas e doenças, uso de insumos apropriados, sistemas de produção específicos para as condições locais e o uso de máquinas e implementos de altas performances vêm contribuindo para ganhos expressivos na produtividade e qualidade dos produtos agrícolas do País. Esses avanços são fundamentais para garantir a segurança alimentar no futuro, tendo em vista a expansão populacional do planeta para cerca de 9,7 bilhões de indivíduos, de acordo com as projeções da Organização das Nações Unidas – ONU. Em termos globais, o Brasil ocupa atualmente a posição de terceiro maior exportador agrícola e principal país com potencial de expandir sua capacidade produtiva. Essa janela de oportunidades tem

impulsionado o agronegócio, que atualmente gera riquezas correspondentes a cerca de 25% do PIB brasileiro, agrega 35% da mão de obra (Gonçalves et al., 2018) e tem participação superior a 40% na balança comercial brasileira (Teixeira et al., 2018), além de suprir a demanda interna.

Entretanto, os cenários futuros projetam grandes desafios a serem superados. A Revolução Verde, iniciada na década de 1950 nos Estados Unidos e que trouxe grandes impulsos na agricultura brasileira a partir dos anos 70 e 80, principalmente com a abertura da fronteira agrícola dos Cerrados. Os “pacotes tecnológicos” se basearam no uso de sementes melhoradas geneticamente, insumos industriais nas áreas de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos, mecanização agrícola, monoculturas e forte apoio oficial na forma de créditos rurais permitiram o rápido crescimento da produção e a geração de excedentes para a exportação (Matos, 2010), contribuindo para o aumento da oferta de alimentos e redução dos preços, fator essencial à redução da pobreza nos países menos desenvolvidos e o domínio das práticas agrícolas nos trópicos. Com efeitos adversos desse sistema de produção, Andrades e Ganimi (2007) citam os impactos sociais como a forte alteração da estrutura fundiária resultando no êxodo rural, aumento na concentração de renda e da terra e a contaminação dos trabalhadores e dos alimentos por agrotóxicos, ocorrendo ainda os impactos ambientais ocasionados pelo desmatamento, erosão e compactação dos solos e poluição do meio ambiente. Além da emissão de gases de efeito estufa, os pesticidas e nutrientes carregados para lagos e oceanos vêm causando danos intensos na fauna e flora aquática e produzindo regiões denominadas de Zonas Mortas (*Dead Zones*) que são áreas hipóxicas onde os baixos níveis de oxigenação das águas são provocados pela ação antropogênica, contribuindo para os altos níveis de fertilizantes dissolvidos. E, de acordo com Altieri e Gedan (2014), essas áreas ocorrem exatamente nos locais de maior ocorrência de vida marinha e estão dobrando de tamanho a cada década. De acordo com Breitburg et al. (2018), esses danos ambientais vêm sendo ampliados pelo aquecimento global. A Teoria Malthusiana (Malthus, 1878), que previa a incapacidade de suprimento de alimentos para a humanidade em função do crescimento populacional e escassez de insumos, sempre foi superada pelos conceitos de Condorcet (Garcia, 2018), anteriores a Malthus, que previa a superação desses problemas com os avanços do conhecimento humano. Atualmente, a produção de alimentos supera a demanda e estima-se que cerca de 30% se perde por problemas de armazenamentos, transportes, pragas e desperdício. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 1,3 bilhão de toneladas de alimentos é desperdiçada anualmente. A meta nº 3 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 12 prevê a redução pela metade do desperdício

per capita mundial até 2030. Torna-se evidente a necessidade de melhoria da eficiência dos sistemas produtivos e a adoção de práticas relacionadas à sustentabilidade ambiental. De acordo com Ray et al. (2015), cerca de 1/3 da produção global dos alimentos é perdida anualmente em função de instabilidades climáticas, especialmente pela insuficiência hídrica e altas temperaturas.

Em contraponto aos sistemas de produção dominantes na produção de alimentos, têm surgido outras formas baseadas em conceitos de sustentabilidade (Matos, 2010), como a Agricultura Biodinâmica, Agricultura Orgânica, Agricultura Natural e Agroecologia, Agricultura Biológica e Permacultura. Entretanto, esses sistemas de produção ainda não conseguem competir economicamente com o sistema de produção predominante e atendem apenas a nichos específicos de mercado e dominados por pessoas de maior poder aquisitivo. De acordo com Borsato (2015), o consumo de alimentos orgânicos na União Europeia cresce a taxas superiores a 50% ao ano.

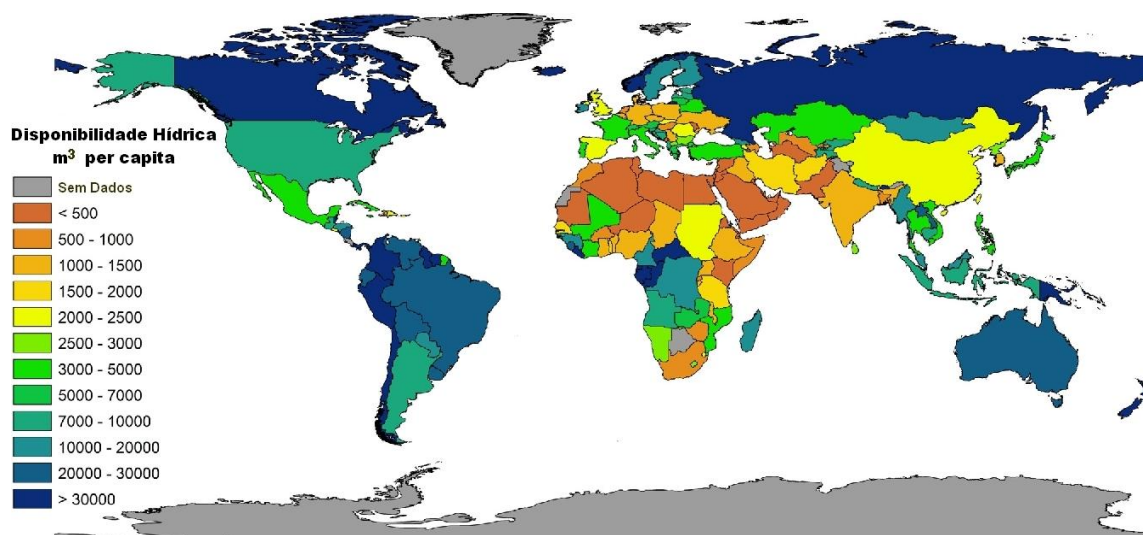
De acordo com Marin et al. (2016) o adicional de dois bilhões de pessoas em áreas urbanas de países em desenvolvimento previsto para o ano de 2050 aumentará os riscos de insegurança alimentar no futuro próximo, uma vez que o aumento da produção de alimentos deverá ser obtido exclusivamente dos ganhos em produtividade e minimização dos impactos ambientais. Deve-se considerar ainda os impactos nocivos das mudanças climáticas e os conflitos pelo uso e ocupação dos solos e oferta hídrica. Previsões citadas por Jorasch (2019) indicam que até 2050 são esperadas variações na temperatura média global de 14,7 °C para 16,0 °C, aumento nas perdas ocasionadas por pragas e doenças de 10% a 15% para 20% a 25%, demanda anual de água de 3.500 km<sup>3</sup> para 5.500 km<sup>3</sup> e redução na área arável de 0,20 ha para 0,15 ha per capita. A Figura 51.1 ilustra a alta ocupação de terras no planeta para fins de produção de alimentos. De acordo com Rosegrant et al. (2001), a maior demanda por alimentos no futuro estará ligada aos países pobres e em desenvolvimento, o que requer uma contínua tendência de aumento da oferta para propiciar a redução dos preços.



**Figura 51.1.** Áreas agrícolas no mundo.

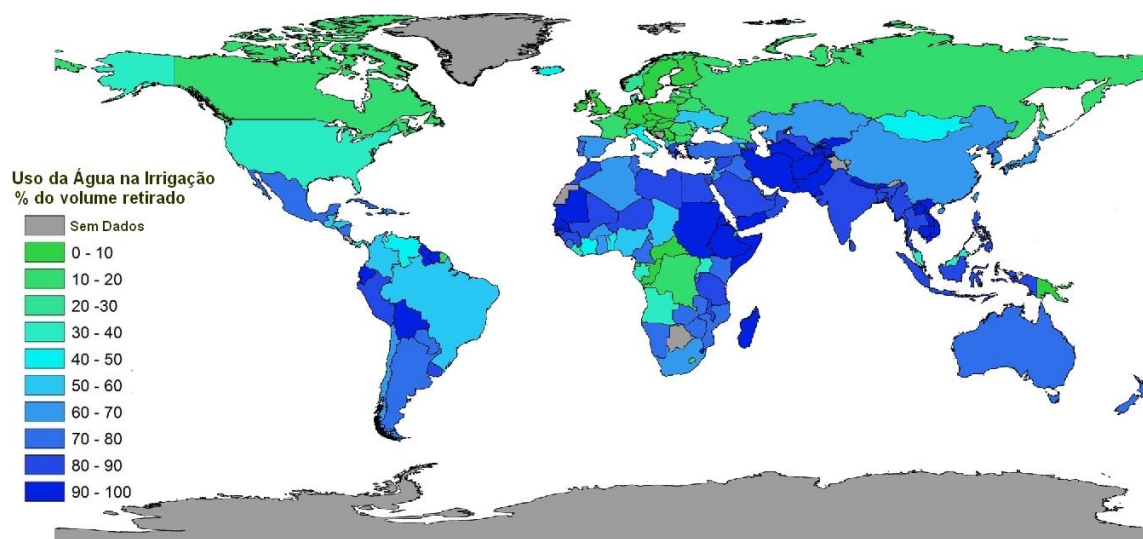
Fonte: Adaptado de Global Croplands (2019).

Fica evidente que a agricultura irrigada terá papel fundamental na oferta futura de alimentos para a humanidade. Os ganhos em produtividade são bastante conhecidos e, de acordo com a FAO (2018), a agricultura irrigada corresponde a 20% das áreas cultivadas no planeta, mas respondem por cerca de 40% da oferta de alimentos, fibras e culturas bioenergéticas. Entretanto, as estatísticas acerca das áreas irrigadas e do uso da água na agricultura são ainda incipientes e imprecisas. De acordo com as estatísticas da FAO (<http://www.fao.org/faostat>), a China possui a maior área irrigada do planeta, com 73 milhões de hectares. Resultados similares são fornecidos pela Agência de Inteligência dos Estados Unidos – CIA (Estados Unidos, 2019) enquanto os resultados divulgados pela Aquastat da própria FAO informam ser a Índia o país com maior área irrigada (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/>). As estatísticas da FAO indicam uma área irrigada no planeta de cerca de 337 milhões de hectares sendo que a metade dessa área está localizada em apenas três países: China, Índia e Estados Unidos. Apesar de possuir cerca de 8% da água doce disponível (Lima et al., 1999), o Brasil apresentava uma área irrigada de 5,4 milhões de hectares contribuindo com apenas 1,6% da área irrigada global. Sparovek e Dourado Neto (2014) reporta o potencial de 61 milhões de hectares aptos para irrigação no Brasil. Porkka et al. (2016) mostram a forte tendência de escassez futura de água exatamente nos principais países onde se situam as maiores áreas irrigadas: China e Índia (ver Figura 51.4). Mancosu et al. (2015) também evidenciam a relação complexa entre a oferta hídrica e a retirada de água para fins de irrigação no planeta (ver Figuras 51.2 e 51.3).



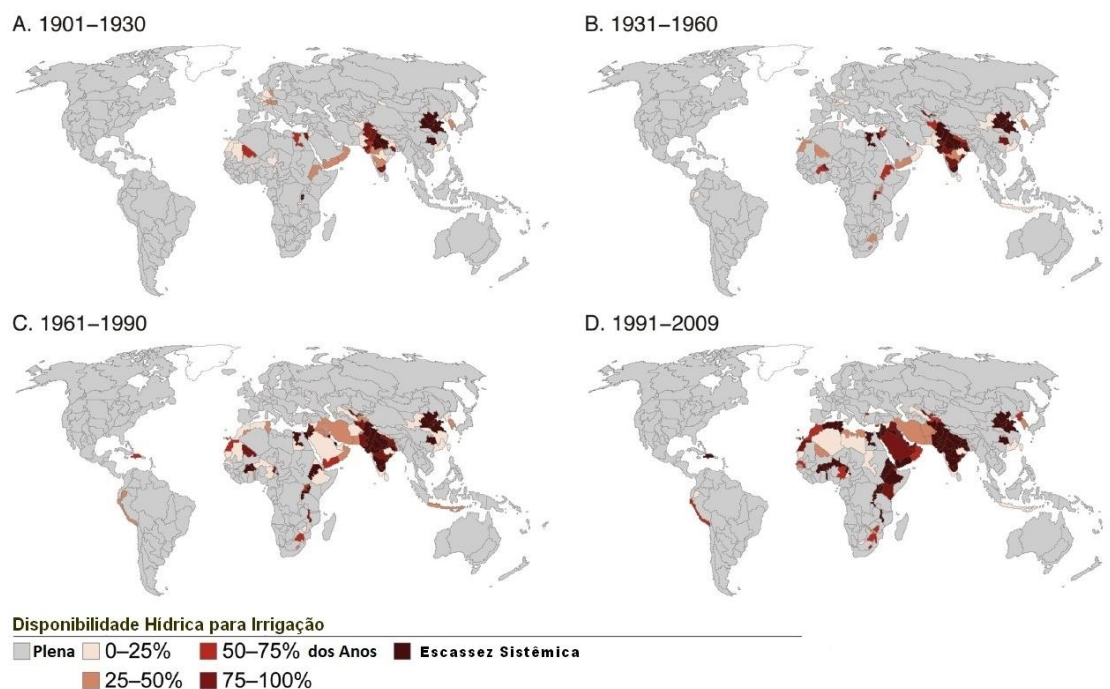
**Figura 51.2.** Disponibilidade hídrica

Fonte: Adaptado de Mancosu et al. (2015).



**Figura 51.3.** Uso da água na agricultura.

Fonte: Adaptado de Mancosu et al. (2015).



**Figura 51.4.** Tendência de escassez de água

Fonte: Adaptado de Porkka et al. (2016).

Outro fator importante diz respeito ao uso eficiente da água na agricultura. De acordo com Coelho et al. (2005), o desperdício ainda é enorme e no início da década de 2000 o aproveitamento da água retirada para fins de irrigação no Brasil situava-se em torno de 37%, ou seja, 63% das águas retiradas dos corpos hídricos eram desperdiçadas no processo. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2019), o aproveitamento atual dos recursos hídricos pelas atividades humanas situa-se em cerca de 55%, sendo que 68,4% desse volume é destinado para a irrigação agrícola. Visando definir o uso eficiente da água na agricultura, elaborou-se o conceito de agricultura irrigada sustentável (Borghetti et al., 2018):

**“Agricultura irrigada sustentável:** Práticas agrícolas que atendam às necessidades sociais atuais e futuras por alimentos e por fibras; que permitam a manutenção dos serviços ambientais dos ecossistemas e que possibilitem uma vida saudável para agricultores e para os consumidores. Mas, igualmente importante, que permitam que tudo isso seja alcançado, de forma ética, por meio da maximização do benefício líquido para a sociedade, sempre considerando todos os custos e benefícios atrelados a essas práticas”.

## **Sistemas e métodos de irrigação**

A irrigação, de forma simples, pode ser definida como: maneiras utilizadas para levar a água de forma artificial à planta, buscando satisfazer sua necessidade e visando uma produção ideal (Testezlaf et al., 2017).

O uso de forma artificial da água é utilizado para suprir a falta d'água em época de estiagem das chuvas ou para atender as necessidades da cultura. O crescimento vegetativo de uma cultura está ligado principalmente à disponibilidade de água, onde a falta ou ocasionalidade dela pode definir o insucesso de uma cultura (Telles, 1998). De acordo com o autor, o uso consuntivo de uma cultura é determinado pela quantidade de água utilizada para seu desenvolvimento. O valor está ligado a condições da própria cultura: seja pela espécie, variedade, estágio de desenvolvimento e ao clima (poder evaporante). A maior parte da água que as plantas retiram do solo é liberada na atmosfera em forma de vapor (cerca de 98%).

## **Importância da Irrigação**

A principal finalidade da irrigação é disponibilizar água à planta de maneira a atender as exigências específicas de cada cultura durante todo seu ciclo. Levando em consideração que a quantidade de água necessária vai depender da espécie, do tipo de solo e da época de plantio (Bernardo, 1997).

## **Qualidade do produto final**

Um dos aspectos científicos a favor da irrigação é que, sob o regime certo de irrigação e fertilizantes, algumas espécies de plantas apresentam qualidade superior no produto final. Este é o caso, em sua maioria, de frutas e legumes, onde os padrões desejáveis para consumo podem ser adquiridos através da irrigação (Testezlaf et al., 2017).

## **Métodos de Irrigação**

Existem várias formas artificiais de se levar água a uma planta. Algumas formas necessitam de mão de obra, outras nem tanto, porém necessitam de alto investimento em equipamentos ou em energia. Alguns necessitam de muito volume de água, outros são mais eficientes na gestão da quantidade (Telles, 1998).

Os diversos métodos utilizados se baseiam na forma que a água é colocada à disposição da planta: por superfície, aspersão, localizada e subterrânea.

- Irrigação por Superfície: a água é aplicada por ação da gravidade, utilizando a superfície do solo (parcial ou total).
- Irrigação por Aspersão: a água é aplicada sobre a folhagem da cultura, na forma de chuva.
- Irrigação Localizada: a água é aplicada em uma área limitada da superfície do solo.
- Irrigação Subterrânea: a água é aplicada abaixo da superfície do solo, onde se encontram as raízes.

### Sistemas de Irrigação

Os sistemas de irrigação baseiam-se no conjunto de equipamentos, acessórios e manejo que, de forma planejada, realizará o ato de irrigar a planta. Os sistemas de irrigação são subdivididos entre os métodos de irrigação de:

Superfície: Sulcos e inundação.

Aspersão: Convencional e mecanizado.

Localizada: Gotejamento e Microaspersão.

Subterrânea: Elevação do lençol freático e gotejamento subsuperficial.

a) **Superfície:** Neste sistema a água que é aplicada na superfície do solo, por ação da gravidade, se infiltra no solo. Os sistemas de irrigação por superfície são classificados em dois tipos:

- **Irrigação por Sulcos:** O sistema de irrigação por sulcos caracteriza-se pela aplicação da água ao solo, onde a água é distribuída através da inundação parcial da área a ser irrigada, escoando e se infiltrando por pequenos canais abertos construídos na superfície do solo acompanhado as linhas da cultura. De acordo com Soares e Costa (2009), a área molhada do solo vai depender do tipo de solo, vazão, declividade do sulco e tempo de irrigação. Ainda, a área molhada por planta pode ser dobrada após um ano dependendo da topografia do terreno.

- **Irrigação por Inundação:** Neste sistema a água é distribuída sobre toda a área plantada e é aplicada em faixas e tabuleiros de forma contínua ou intermitente limitado por diques, onde a água se acumula na superfície e se infiltra no solo. A irrigação por inundação se subdivide em dois tipos: Faixas e Tabuleiros.

b) **Aspersão:** Neste sistema a água é distribuída uniformemente sobre a cultura ou superfície do solo em forma de gotas imitando a chuva.



- **Irrigação Convencional:** Neste sistema são utilizados componentes convencionais de aspersão (motobombas, tubulações e aspersores). Eles podem ser móveis ou fixos:
  - Portátil: No sistema convencional portátil, os componentes são deslocados de forma manual, ao longo da área a ser irrigada.
  - Permanente ou Semiportátil: Neste sistema os aspersores são deslocados dentro da área conforme necessário, enquanto os demais componentes do sistema permanecem fixos em um determinado local (Marouelli; Silva, 2011).
- **Mecanizada:** Neste sistema é onde os aspersores são montados em estruturas que se movem ao longo de uma determinada área para realizar a irrigação. Eles podem se movimentar com o auxílio de um trator ou de sistemas automatizados. A sua trajetória de irrigação pode ser de forma linear ou circular.
  - **Sistema Lateral:** Neste equipamento onde a linha lateral, contendo os aspersores, possui propulsores que auxiliam na sua movimentação de forma contínua ou intermitente. Propulsores que atuam continuamente podem ser classificados de acordo com a direção do deslocamento da seguinte forma: Lateral Rolante e Pivô Central.
  - **Lateral Rolante:** Este sistema possui uma linha lateral contendo aspersores, no centro dessa linha se encontra uma unidade propulsora, trabalhando como um eixo com rodas de metal regularmente espaçadas. Terminada a aplicação de água, o sistema é automaticamente drenado, podendo ser deslocado para a próxima posição. Esta estrutura de irrigação se desloca em uma única direção, onde se retira a água de um canal ou tubo flexível. Ainda há a possibilidade de fixar uma extremidade e girar em torno dela, assim permitindo mudar a direção da irrigação de modo a irrigar uma área na forma de L (Richter, 2012).
  - **Pivô Central:** Pertencente ao sistema de aspersão mecanizada está o pivô central, um dos mais conhecidos no Brasil. O pivô aplica água e produtos químicos na cultura de forma uniforme, e tem sido bastante utilizado, pelo fato do seu alto grau de automação, irrigação em grandes áreas e por ser passível de utilização em diferentes tipos de solo (Guimarães et al., 2018).
  - **Carretel Enrolador (Autopropelido):** O carretel enrolador, antes chamado de autopropelido, se trata de um aspersor que se desloca na área a ser irrigada, molhando apenas faixas individuais. Logo após irrigar uma faixa o carretel é deslocado para outra faixa, até completar um ciclo de irrigação, formando uma

sequência. Ao final do ciclo, o carretel está pronto para iniciar um novo ciclo (Santos, 2010).

- **Montagem Direta:** Este sistema apresenta uma unidade móvel de bombeamento, acionada por um motor. O equipamento coleta a água através de canais localizados nas áreas de aplicação, que são estrategicamente posicionados para uma maior eficiência do equipamento.

c) **Localizada:** Neste sistema visa-se a aplicação de água em uma determinada área sobre o solo, buscando irrigar somente o sistema radicular das plantas. Dentre as principais vantagens que o sistema apresenta, destacam-se pela maior eficiência no uso da água, economia de mão-de-obra, maior eficiência no controle fitossanitário e se adapta a diferentes tipos de solos e topografia (Silva; Silva, 2005).

- **Microaspersão:** Neste sistema utilizam-se microaspersores, que aplicam a água ou produto químico na forma de jato ou aerosol, frequentemente, na área sombreada pela copa da planta, onde o volume de solo explorado pelas raízes das plantas é maior.
- **Gotejamento:** Neste sistema a água ou produto químico é distribuído sobre o solo na forma de gotas com baixa vazão em uma fração de solo explorado pelas raízes das plantas, de forma que a água fica disponível para a planta com mais eficiência (Soares; Costa, 2009). A água passa por emissores chamados “gotejadores”.
- **Subterrânea:** Neste sistema a água é aplicada abaixo da superfície do solo, entrando em contato direto com as raízes no solo.
- **Gotejamento Subsuperficial:** Neste sistema as linhas de gotejamento estão enterradas onde podem atingir as raízes com mais facilidade.
- **Elevação do lençol freático:** Neste sistema ocorre a elevação do nível freático mediante o uso de estruturas de drenagem ou de linhas de irrigação enterradas que permitem saturar o perfil do solo e controlar a profundidade do nível freático, deixando-o próximo das raízes das plantas. Esse sistema é empregado em áreas com problemas de encharcamento.

Além destes sistemas citados acima se tem a utilização da hidroponia, sistema DFT e aeroponia, onde a aplicação da água dá-se diretamente nas raízes das plantas, na maioria dos casos sem a utilização de solo. Estes sistemas geralmente são utilizados em locais de cultivo protegido.

- **Hidroponia:** Hidroponia é uma técnica de cultivo, onde o solo é substituído por uma solução nutritiva aquosa essenciais aos vegetais (Graves, 1983). A hidroponia, além de

ser uma maneira alternativa à produção convencional, vem sendo uma importante ferramenta para estudo da composição das plantas, forma de crescimento, nutrientes e respostas que apresentam a variações ambientais (Carrijo; Makishima, 2000).

- **Sistema DFT (“*Deep Film Technique*”) ou Cultivo na Água:** Neste sistema a solução nutritiva forma uma lâmina d’água, em uma mesa plana que circula a solução nutritiva, onde as raízes ficam submersas (Furlani et al., 2009).
- **Aeroponia:** A aeroponia é o cultivo de plantas sem a utilização de solo, desta forma, evitando organismos prejudiciais contidos no solo. As plantas ficam suspensas no ar, onde a solução nutritiva é nebulizada diretamente na raiz em proporção equilibrada (Targino et al., 2018).

### Características da Agricultura Irrigada

Diante das características observadas de cada sistema, grandes são os benefícios provenientes do uso da irrigação. De acordo com Bernardo (1997), a irrigação pode causar impactos positivos e negativos com relação ao meio ambiente, qualidade do solo e da água, saúde pública e ao aspecto socioeconômico de uma região.

### Critérios para Seleção de Sistemas de Irrigação

#### Planejamento

O planejamento deve ser realizado de maneira que as informações técnicas obtidas sobre a propriedade ajudem a encontrar um sistema que atenda às necessidades da cultura a ser explorada, bem como uma utilização eficiente de seus recursos naturais, econômicos e sociais (Testezlaf, 2017).

## Dimensionamento e Elaboração de Projetos

Os sistemas de irrigação que são mal dimensionados ou elaborados como, por exemplo, a drenagem inadequada para cada tipo de solo e topografia, causam impactos ambientais (Bernardo, 1997).

De acordo com Zanini et al. (1998), é necessário ressaltar que não existe método ideal de irrigação. Os métodos e sistemas podem ou não ser adotados para cada situação, isso pode variar de acordo com características específicas de cada propriedade, como, por exemplo, clima, topografia, disponibilidade de água, dentre outros aspectos abordados no decorrer do capítulo.

Para projetar um sistema de irrigação é necessário, basicamente, selecionar de forma técnica os componentes e acessórios que, operando juntos, permitirão a aplicação da água em uma determinada cultura ou local de interesse (Testezlaf, 2017).

A elaboração de projetos envolve vários fatores que refletem no sucesso da irrigação como um todo, sendo assim, para que haja uma eficiência na escolha do sistema de irrigação é necessário observar alguns aspectos de relevância. Entre eles estão os sete principais:

**Potencial Hídrico:** A disponibilidade de vazão outorgável, qualidade da água e distância.

**Topografia:** Desnível, declividade permitida para cada sistema e a forma da área.

**Solo:** Deve ser analisada a profundidade do solo, a capacidade de retenção de água, a capacidade de infiltração, fertilidade e salinidade.

**Clima:** Nível de precipitação, velocidade do vento e temperatura.

**Cultura:** Densidade de plantio, sistema radicular, altura da planta e necessidades fitossanitárias.

**Aspectos Econômicos:** Valor econômico da cultura, custo do capital investido e custo anual operacional.

**Fatores Humanos:** Hábitos locais, preferência de quem está implantando o sistema, tradições, preconceitos e nível educacional da região e dos trabalhadores.

Outro fator relevante na adoção do sistema de irrigação refere-se à eficiência do uso da água. A Tabela 51.1 mostra a eficiência de uso da água dos principais sistemas de irrigação.

**Tabela 51.1.** Eficiência do uso da água de diferentes sistemas de irrigação.

<b>Método</b>	<b>Sistema</b>	<b>Eficiência de Irrigação (%)</b>
Superficial	Sulcos	40 - 70
	Corrugação	40 - 70
	Faixas	50 - 75
	Inundação	50 - 70
Subsuperficial	Lençol Freático Fixo	40 - 70
	Lençol Freático Variável	50 - 75
Aspersão	Convencional Portátil	60 - 75
	Convencional Semiportátil	60 - 75
	Convencional Permanente	70 - 80
	Autopropelido	60 - 70
	Ramal Rolante	65 - 85
	Pivô Central	75 - 90
Microirrigação	Deslocamento Linear	75 - 90
	Gotejamento	85 - 95
	Microaspersão	80 - 90
	Borbulhador (" <i>Bubbler</i> ")	75 - 90

Fonte: Marouelli e Silva (2011).

## **Agricultura 4.0**

Atualmente, os avanços tecnológicos disponibilizam sensores remotos da variabilidade espectral das plantas, sensores da umidade, composição química dos solos e monitoramento ambiental, os quais, integrados via processos de inteligência artificial permitem maximizar a eficiência dos sistemas de produção, denominados de Agricultura 4.0.

As novas perspectivas de produção da agricultura vêm trazendo consigo uma necessidade de novas tecnologias, que aliadas ao conhecimento técnico, geram alta produtividade e eficiência no uso de recursos naturais e insumos.

A Agricultura 4.0 é utilizada de maneira a empregar o uso de tecnologias para o processamento de dados que são coletados no campo, visando buscar métodos e soluções ágeis para cada situação, através de sistemas de suporte à tomada de decisão de manejo. Contribui para elevar a produtividade, a eficiência do uso de recursos e insumos, redução de custos e diminuição do impacto ao meio ambiente, englobando a agricultura de precisão, automação e a robótica agrícola (Massruhá; Leite, 2017).

Com o avanço da tecnologia no meio rural, várias empresas desenvolvem programas de computadores que funcionam como um “cérebro” no processamento e análise de dados. Estes programas são capazes de controlar a irrigação e fertirrigação de forma automatizada, tudo isso com precisão e eficiência. Além de poder realizar o monitoramento e controlar a irrigação de forma simples e descomplicada a partir do uso de um computador ou celular com acesso à internet.

A Agricultura 4.0 veio para desempenhar um importante papel na agricultura moderna, onde são aplicadas as mais novas tecnologias, a fim de que promova aumento na produção, redução de custos e racionalização na utilização de recursos naturais e insumos (Ribeiro et al., 2018).

## **Demanda hídrica**

De acordo com Couto e Sans (2002), a produtividade de uma cultura depende em 60% de suas características genéticas e 40% de fatores ambientais. No entanto, a máxima expressão do potencial produtivo depende do suprimento dos fatores de produção como a disponibilidade nutricional, práticas de manejo, incidência de doenças e pragas e oferta hídrica. De acordo com Romani et al. (2016) mais de 80% das variações na produtividade agrícola em países tropicais depende das condições meteorológicas,

especialmente pelo déficit hídrico. De acordo com Souza et al. (2006), o balanço hídrico reflete os fluxos hídricos nos solos determinados pela entrada de água no sistema via chuva ou irrigação, a capacidade de retenção da água pelo solo em função de fatores inerentes às propriedades físicas (textura, estrutura), profundidade dos solos e as perdas de água definidas pela evapotranspiração, percolação profunda e escoamentos superficiais. Dentre todas as variáveis envolvidas no balanço hídrico, a evapotranspiração (saída da água do solo para a atmosfera através da transpiração das plantas e evaporação pela superfície do solo) é a mais complexa. O termo evapotranspiração foi criado por Thornthwaite e Wilm em 1944 (Camargo; Camargo, 2000). A complexidade do entendimento da evapotranspiração está relacionada à inclusão de fatores termodinâmicos e aerodinâmicos inclusive a resistência ao transporte de calor sensível e de vapor d'água e a resistência da superfície à transferência de vapor d'água (Cavalcante Júnior et al., 2011). A adoção do Método de Penman Monteith FAO 56 como padrão se deve à excelente correlação da evapotranspiração com medidas lisimétricas em diferentes regiões do planeta. Tendo em vista o grande número de variáveis meteorológicas inseridas no cálculo da evapotranspiração por esse método, muitas proposições de métodos mais simplificados foram feitas. Carvalho et al. (2011) citam o método original de Penman, Thornthwaite, Turc, Penman-Monteith-FAO (PM-FAO), Tanque Classe A, Blaney-Cridde, Makkink, Hamon, Radiação Solar FAO 24, Linacre, Camargo, Jensen-Haise, Hargreaves, Priestley-Taylor, Holdridge, Kharrufa, ASCE-Penman-Monteith e Penman Modificado. O uso de métodos alternativos para a estimativa da evapotranspiração pode levar à ocorrência de erros sistemáticos que interferem na eficiência do uso da água na irrigação.

A determinação da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO 56 é dada pela equação:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta (R_n - G + \lambda \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \lambda(1+0,34U_2)}$$

Onde:

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>),

R<sub>n</sub> = saldo de radiação na superfície (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>),

G = fluxo de calor sensível no solo (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>),

T = temperatura média do ar a 2 m do solo (°C),

U<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m (m.s<sup>-1</sup>),

$e_s$  = pressão de saturação de vapor (kPa),

$e_a$  = pressão parcial de vapor (kPa),

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa. $^{\circ}$ C $^{-1}$ ),

$\lambda$  - coeficiente psicrométrico (kPa. $^{\circ}$ C $^{-1}$ ).

Tem sido intensificado o uso de sensores de umidade dos solos e a instalação de estações meteorológicas automáticas nas áreas irrigadas com o objetivo de monitorar o balanço hídrico nos solos. As redes de estações meteorológicas em âmbitos nacional ou estadual também são importantes fontes de informações para a definição das lâminas de irrigação e turnos de rega.

#### **Redes Nacionais de Estações Meteorológicas:**

Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet

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

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe

<http://sinda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php>

Icea – Instituto de Controle do Espaço Aéreo da FAB

<http://clima.icea.gov.br/clima/index.php>

#### **Redes Estaduais de Estações Meteorológicas:**

Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos da Bahia - Seia

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

Sistema de Meteorologia e Hidrologia Estado de Goiás: Simehgo

<http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/>

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - SP

<http://www.ciiagro.org.br/ema/>

Sistema Meteorológico do Paraná - Simepar – PR

<http://www.simepar.br/>

Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – Ciram/Epagri

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

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme

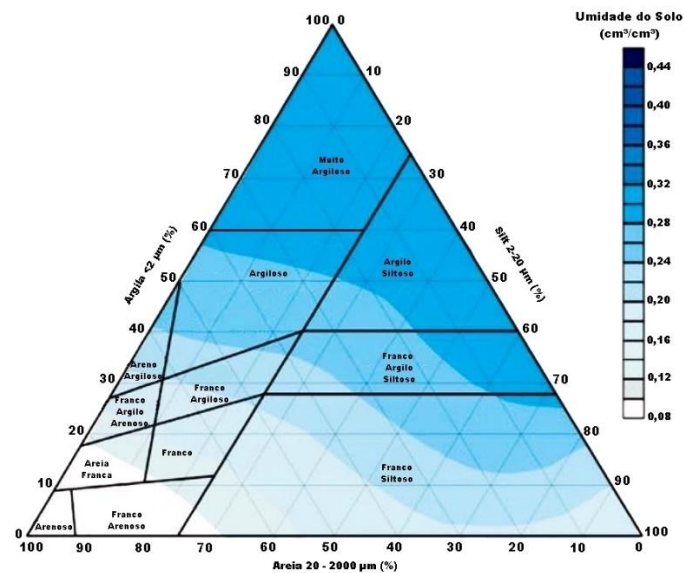
<http://www.funceme.br/pcd/>



### **Disponibilidade hídrica nos solos**

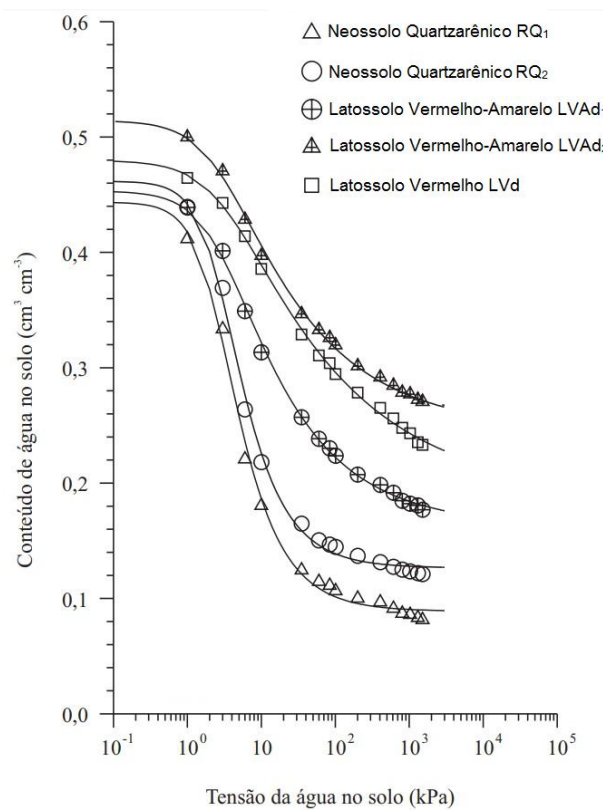
A Capacidade de Água Disponível (CAD) reflete a máxima absorção de água retida pela capilaridade do solo superando os efeitos da força gravitacional. Os solos com mais de 15% de matéria orgânica em suas composições são classificados como solos orgânicos e como solos minerais quando um teor superior a 85% for de componentes minerais. Trata-se de material poroso contendo as fases sólida que permite sua estruturação, líquida e gasosa. Poros com diâmetros superiores a 0,1 mm são denominados de macroporos e a água se perde facilmente pela ação da gravidade ou pela absorção radicular. Os microporos apresentam diâmetros inferiores a 0,05 mm e oferecem maior resistência à perda de água. A ocupação dos espaços porosos pelos componentes líquidos e gasosos varia em função do volume de água retido pelo solo, o qual fica saturado quando todos os espaços são ocupados pela fase líquida. Fica evidente a função do solo para a sustentação e nutrição para a maioria das espécies vegetais. A CAD varia em função de características do solo, especialmente a textura e a estrutura que afetam o tamanho e a quantidade de poros. A Figura 51.5 ilustra o impacto da textura dos solos sobre a capacidade de retenção de água.

Solos de diferentes texturas e estruturas tendem a apresentar diferentes curvas de retenção de água. A determinação das curvas de retenção envolve a coleta de amostras indeformadas dos solos na profundidade ocupada pelo sistema radicular e envio para análises em laboratório. A Figura 51.6 ilustra os resultados obtidos por Silva et al. (2006) mostrando as alterações nas curvas de retenção da água em função do tipo de solo do Cerrado. As análises envolveram variações dos solos Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. As tendências de variação do conteúdo de água em função da tensão da água no solo foram explicadas pelo ajuste da função de van Genuchten.



**Figura 51.5.** Gradiente textural dos solos e a variabilidade da capacidade de retenção de água.

Fonte: Adaptado de Terra Gis (2019).



**Figura 51.6.** Curvas de retenção de água em solos dos Cerrados.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006).

A disponibilidade hídrica dos solos corresponde à quantidade de água assimilável pelas plantas. O ponto em que o solo contém a máxima capacidade de retenção é denominado de Capacidade de Campo sendo que os volumes de água superiores a esse limite se perdem por escoamento superficial ou percolação, denominada de água gravitacional. O limite inferior é denominado Ponto de Murcha Permanente onde as forças de tensão da água retida nos solos são maiores que a capacidade de absorção pelas plantas. O cálculo da Capacidade de Água Disponível (CAD) é dado por:

$$CAD(mm) = \left\{ \frac{CC - PMP}{100} \right\} \times 10 \times Ds \left( \frac{mm}{cm} \right) \times H(cm)$$

Onde:

CAD = Capacidade de Água Disponível – (mm de água/cm de solo)

CC = Capacidade de Campo – (%peso)

PMP = Ponto de Murcha Permanente – (%peso)

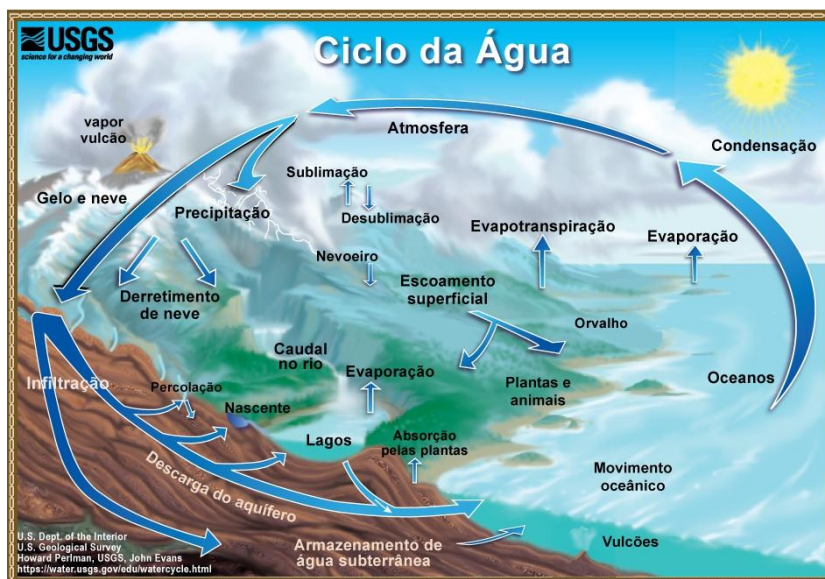
Ds = Densidade do Solo (g de solo/cm<sup>3</sup> de solo)

H = Profundidade Efetiva do Sistema Radicular (cm)

Para fins de irrigação, não é desejável esperar que toda a água disponível do solo seja consumida para sua reposição. Ocorre que na medida em que a água disponível se reduz em relação à capacidade de campo, maiores as retenções pelas forças mátricas, ou seja, quanto mais seco o solo, maiores as dificuldades de extrair a água contida em seu interior. Utiliza-se então o conceito de Água Facilmente Disponível (AFD) que corresponde ao estabelecimento de um limite de déficit hídrico a partir do qual a água deve ser repostada para a capacidade de campo pelo uso da irrigação.

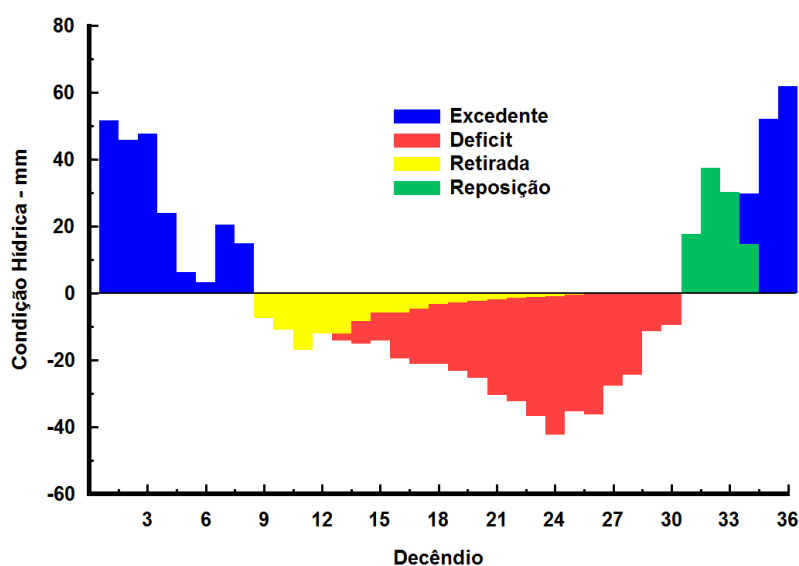
### **Balanço hídrico no solo**

Apesar de existirem diferentes procedimentos para avaliar a necessidade de irrigação pelas plantas, como os sensores de umidade dos solos e o uso de sensores nas plantas, o método do balanço hídrico no solo é o mais empregado. De acordo com Sentelhas e Angelocci (2009), o balanço hídrico reflete as entradas e saídas de água nos sistemas e podem ser interpretados em diferentes escalas sendo que na condição macro é o próprio ciclo hidrológico atuando na biosfera, conforme demonstrado na Figura 51.7.



**Figura 51.7.** Ciclo hidrológico. Créditos: USGS Domínio público.

Em escalas intermediárias temos as bacias hidrográficas onde o balanço hídrico tem grande utilidade na determinação da vazão de água pelo sistema. Os balanços hídricos climatológicos são usados para caracterização climática e análises de riscos para a prática da agricultura, e o principal exemplo desse uso no Brasil é o Zoneamento Agrícola de Risco Climático – Zarc, usado pelo Ministério da Agricultura como instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura (como apresentado no **Capítulo 7**, no Volume 1). A Figura 51.8 ilustra o balanço hídrico climatológico para Sete Lagoas, Minas Gerais, baseado em normais climatológicas dos últimos 30 anos e solo com CAD de 100 mm.



**Figura 51.8.** Balanço hídrico climatológico decêndio para o município de Sete Lagoas, MG.

Elaboração: Daniel P. Guimarães.

Para os propósitos de irrigação, o balanço hídrico determina o referencial de água disponível para as plantas de modo a maximizar o potencial produtivo e otimizar o uso dos recursos hídricos. A Irrigação Real Necessária (Frizzone et al., 2012) é calculada por:

$$IRN = 10 \times (CC - PMP) \times f \times Z \times Kc$$

*IRN* = Irrigação Real Necessária

*CC* = Capacidade de Campo

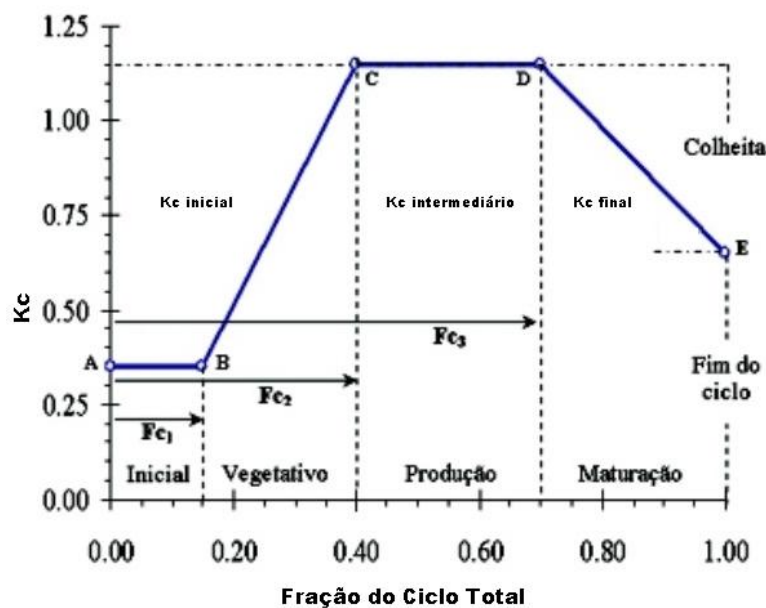
*PMP* = Ponto de Murcha Permanente

*f* = Fator de disponibilidade hídrica

*Z* = Profundidade do sistema radicular efetivo

*Kc* = Coeficiente da Cultura

Desse modo, após a redução do teor de água disponível para o cultivo agrícola ao limite definido pelo fator de disponibilidade hídrica, aplica-se a Irrigação Real Necessária para recompor as condições hídricas do solo gerando o turno de rega. A prática da irrigação consiste na manutenção da disponibilidade hídrica dos solos garantindo uma reserva de modo a suprir as necessidades hídricas das plantas em suas diferentes fases de crescimento e produção. A determinação do Coeficiente da Cultura (*Kc*) permite que a reserva de água no solo seja mantida de acordo com a cultura agrícola a ser irrigada. A Figura 51.9 ilustra o Coeficiente de Cultura do algodão de acordo com os resultados de Oliveira et al. (2005).



**Figura 51.9.** Curva do *Kc* para a cultura do algodão herbáceo.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2005).

### Monitoramento da agricultura irrigada no Brasil

Embora pareça paradoxal, o elemento mais abundante na superfície terrestre e que se mantém praticamente constante na natureza, a água (limpa) está cada vez mais escassa e as razões são de origens antrópicas. A água é um bem natural que se torna recurso hídrico a partir do momento em que passa a ter valor econômico (Cantelle et al., 2018). A degradação da natureza, mudanças climáticas, aumento populacional, aumento das áreas irrigadas e maior competição pelos recursos hídricos são fatores que contribuem para a redução da disponibilidade hídrica. São exemplos típicos a tendência de extinção do Mar de Aral que já foi o quarto maior lago do planeta e hoje é um desastre ecológico em função do desvio de recursos hídricos para a irrigação, conforme mostrado na Figura 51.10, e as sérias consequências da redução das geleiras na oferta hídrica em países que dependem dessa fonte de água, como exemplo a Bolívia.



**Figura 51.10.** Tendência de extinção do Mar de Aral.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A forte crise hídrica que se abateu sobre grande parte do Brasil em 2014/2015 (Marengo et al., 2015) trouxe gravíssimos problemas para o abastecimento urbano, perdas na agricultura e na geração de energia hidrelétrica ressaltando a grande necessidade de gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente na área irrigada

onde se dá o maior consumo. As dificuldades de proceder ao levantamento e monitoramento das áreas irrigadas no Brasil estão relacionadas com a extensão territorial, dificuldades de identificação das áreas e o cultivo em pequenas áreas e uso de irrigação sazonal. O Censo Agropecuário do IBGE (IBGE, 2019) efetua levantamentos nas propriedades rurais a cada dez anos aproximadamente, e a coleta de informações é autodeclaratória. A Tabela 51.2 mostra o levantamento da agricultura irrigada no Brasil em função do sistema de irrigação indicando uma área irrigada de 6,9 milhões de hectares em 2017. As bases originais com informações municipais foram convertidas para bases estaduais. Verifica-se que o Rio Grande do Sul é o estado com maior área irrigada do país, o que se dá em função da produção de arroz irrigado pelo sistema de inundação. Três unidades da federação (RS, MG e SP) concentram cerca de 53% da área irrigada no País. Os levantamentos feitos pela Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação (CSEI), da ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, 2019) apresentados na Tabela 51.3 indicam uma área irrigada de seis milhões de hectares em 2018. A Tabela 51.4 apresenta a tendência de crescimento da agricultura irrigada no Brasil entre 1960 e 2015, de acordo com as bases de dados da Agência Nacional de Águas (2018), indicando uma área irrigada de 6,95 milhões de hectares no País. Sendo incluídas as áreas irrigadas pelo sistema de inundação, que se situam em torno de um milhão de hectares nas estimativas da CSEI/Abimaq, pode-se concluir que os resultados são similares aos obtidos pelo Censo Agropecuário do IBGE e da Agência Nacional de Águas. Os levantamentos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas possuem o georreferenciamento de 4,5 milhões de hectares irrigados (1,436 Mha de arroz inundado, 1,722 Mha de cana-de-açúcar e 1,394 Mha em áreas irrigadas por pivôs centrais). O mapeamento das áreas irrigadas permite a identificação do *status* de uso do solo (plantado ou inativo) gerando informações valiosas para o monitoramento da safra agrícola e uso da água na agricultura irrigada.

Tabela 51.2. Áreas irrigadas nas Unidades da Federação do Brasil em 2017.

UF	Localizada			Inundação			Aspersão			Outros		Total UF	%
	Gotejamento	Microaspersão	Outros	Inundação	Sulcos	Outros	Carretel	Autopropelido	Phô Central	Aspersão Convencional	Subsuperficial		
Acre	295	311								131	1018	1755	0,03
Alagoas	7908	3390	210	2554	1875	976	39520	38604	54281	182	882	150382	2,18
Amapá	105	116	54			55483	42		847	239	2135	59021	0,86
Amazonas	1438	368	101			19	24		642	344	4907	7843	0,11
Bahia	111746	77411	2039	2872	22173	1632	8686	148147	19940	3223	17260	415129	6,02
Ceará	36663	45822	1246	6630	1592	335	414	4929	36171	1141	87537	222480	3,22
Distrito Federal	7731	488	32	8	20	14	291	13120	3704	36	182	25626	0,37
Espírito Santo	116188	186345	7531	420	36	154	4029	7309	40803	390	1364	364569	5,28
Goiás	37636	4753	618	17471	917	756	179074	225575	31436	549	3099	501884	7,27
Maranhão	14173	2319	389	2297	264	444	8583	18132	11226	16	6628	64471	0,93
Mato Grosso	6019	62313	1664	613	69	336	37427	92567	35314	3828	2738	242888	3,52
Mato Grosso do Sul	2530	805	2401	11098	204	1510	31826	23842	12632	1611	4105	92564	1,34
Minas Gerais	245361	77120	2671	4849	5752	2344	131692	415849	228364	4559	27066	1145627	16,60
Pará	16192	40552	1727	460	119	1009	1363	3196	9709	4302	24722	103351	1,50
Paraíba	7340	7612	706	614	355	141	13263	13249	59552	302	2045	105179	1,52
Paraná	10707	4509	434	12924	358	994	82499	18120	21598	1022	2618	155783	2,27
Pernambuco	36482	44737	577	2303	9534	823	7659	12563	64955	2225	10950	192808	2,79
Piauí	5282	4068	166	3861	1078	236	723	4273	10802	102	2377	32968	0,48
Rio de Janeiro	4369	2282	407	1898	541	521	1297	997	27158	1114	9003	49587	0,72
Rio Grande do Norte	23474	8815	164	1106	830	94	1000	2680	16814	209	1448	56634	0,82
Rio Grande do Sul	11663	2992	309	1157439	10205	4793	8403	178050	24656	5778	3973	1408261	20,41
Rondônia	7954	9182	2119	596	22	3603	2932	2636	7326	646	1731	38747	0,56
Roraima	1917	722		6043	1536			1395	940	357	1757	14667	0,21
Santa Catarina	7958	1464	101	125180	788	327	4501	910	23103	517	2622	167471	2,43
São Paulo	308299	20821	1336	6287	13864	3260	196487	193845	338645	12850	11337	1107031	16,04
Sergipe	2656	6520	74	3677	39	30	3141	642	11847	39	424	29089	0,42
Tocantins	6633	2208	104	80249	17554		15309	14317	5786	2573	144733	2,10	
<b>Total</b>	<b>1038719</b>	<b>618045</b>	<b>27180</b>	<b>1451449</b>	<b>89725</b>	<b>79834</b>	<b>780185</b>	<b>1434947</b>	<b>1098382</b>	<b>45581</b>	<b>236501</b>	<b>6900548</b>	<b>100,00</b>

Fonte dos dados: IBGE (2019)



**Tabela 51.3.** Expansão da agricultura irrigada no Brasil ente 2000 e 2018.

Ano	Área ocupada por agricultura irrigada (ha)					
	Pivô Central	Carretel	Convencional	Localizada	Expansão	Total
2000	47.320	25.000	16.200	30.000	118.520	3.068.480
2001	50.540	29.000	15.300	33.000	127.840	3.196.320
2002	57.820	30.000	14.650	37.000	139.470	3.335.790
2003	59.500	30.000	17.500	40.000	147.000	3.482.790
2004	47.600	22.500	15.000	38.000	123.100	3.605.890
2005	26.600	21.000	15.000	35.000	97.600	3.703.490
2006	17.500	30.000	15.000	30.000	92.500	3.795.990
2007	19.600	30.000	16.500	40.000	106.100	3.902.090
2008	49.000	30.000	20.000	47.000	146.000	4.048.090
2009	49.500	25.000	17.000	40.000	131.500	4.179.590
2010	52.000	30.000	25.000	50.000	157.000	4.336.590
2011	57.750	32.500	29.500	56.000	175.750	4.512.340
2012	84.000	32.500	35.400	60.480	212.380	4.724.720
2013	126.000	32.500	40.710	72.576	271.786	4.996.506
2014	102.000	10.500	28.497	79.834	220.831	5.217.337
2015	78.000	6.000	28.000	75.000	187.000	5.404.337
2016	91.000	18.000	31.000	75.000	215.000	5.619.337
2017	84.500	14.000	31.000	64.000	209.500	5.828.837
2018	94.000	14.000	31.000	64.000	203.000	6.031.837

Fonte: Adaptado de Abimaq, 2019 citado por Hernandez (2019).

**Tabela 51.4.** Áreas equipadas para irrigação no Brasil entre 1960 e 2015.

UF/ Região	Área total equipada no ano (ha)							
	1960	1970	1975	1980	1985	1996	2006	2015
AC	-	-	5	113	52	728	1.454	1.480
AM	43	5.199	585	733	285	209	6.204	5.386
AP	-	13	9	36	28	9.119	2.404	2.413
PA	23	136	4.496	9.077	11.918	4.797	29.517	27.285
RO	1	66	23	196	144	1.041	14.130	15.231
RR	-	5		19	2.240	5.660	13.003	14.403
TO	390	220	99	9.015	28.578	61.469	42.870	127.804
<b>Norte</b>	<b>457</b>	<b>5.639</b>	<b>5.217</b>	<b>19.189</b>	<b>43.245</b>	<b>83.023</b>	<b>109.582</b>	<b>194.002</b>
AL	5.610	13.218	18.643	12.410	27.814	156.992	195.764	185.717
BA	22.102	27.042	41.007	70.603	107.055	209.705	312.668	504.781
CE	11.389	25.484	29.887	63.599	67.305	108.998	117.381	70.449
MA	74	1.820	524	2.037	24.035	16.521	64.059	84.575
PB	3.439	13.433	18.227	18.085	18.895	63.548	58.683	59.357
PE	6.265	19.002	34.553	65.039	83.457	118.400	152.917	146.169
PI	451	1.863	1.944	6.387	13.560	18.254	30.948	32.266
RN	1.383	5.471	7.896	15.418	17.589	45.778	54.716	57.999
SE	1.057	8.639	10.678	7.846	7.122	13.691	20.521	29.845
<b>Nordeste</b>	<b>51.770</b>	<b>115.972</b>	<b>163.359</b>	<b>261.424</b>	<b>366.832</b>	<b>751.887</b>	<b>1.007.657</b>	<b>1.171.159</b>
ES	1.233	10.169	15.673	22.278	49.798	92.695	209.840	266.635
MG	46.991	57.474	138.533	162.773	194.619	322.679	530.042	1.082.373
RJ	11.896	25.512	43.411	63.142	71.008	74.761	81.748	60.287
SP	56.054	91.463	150.074	180.629	284.140	439.054	786.051	1.300.047
<b>Sudeste</b>	<b>116.174</b>	<b>184.618</b>	<b>347.691</b>	<b>428.822</b>	<b>599.565</b>	<b>929.189</b>	<b>1.607.681</b>	<b>2.709.342</b>
PR	4.344	9.176	9.387	28.093	31.477	46.890	105.455	127.887
RS	260.548	407.496	475.738	631.700	779.535	935.677	997.108	1.368.327
SC	20.499	57.991	49.951	64.775	75.952	114.025	136.249	200.019
<b>Sul</b>	<b>285.391</b>	<b>474.663</b>	<b>535.076</b>	<b>724.568</b>	<b>886.964</b>	<b>1.096.592</b>	<b>1.238.812</b>	<b>1.696.233</b>
DF	108	1.151	2.086	4.785	5.539	12.591	14.508	22.895
GO	755	4.028	8.692	22.009	20.016	115.908	297.924	717.485
MS	719	5.717	23.650	16.477	25.808	73.228	120.521	196.230
MT	55	3.462	1.062	3.944	11.858	59.226	148.848	247.364
<b>Centro-Oeste</b>	<b>1.637</b>	<b>14.358</b>	<b>35.490</b>	<b>47.215</b>	<b>63.221</b>	<b>260.953</b>	<b>581.801</b>	<b>1.183.974</b>
<b>Total</b>	<b>455.429</b>	<b>795.250</b>	<b>1.086.833</b>	<b>1.481.218</b>	<b>1.959.827</b>	<b>3.121.644</b>	<b>4.545.533</b>	<b>6.954.710</b>

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas (2018b).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2019b), o método de irrigação por pivôs centrais é o que mais cresce no País e a Figura 51.11 mostra a maior concentração das áreas irrigadas na região Sudeste, mas com uma forte tendência de expansão para a Região Centro Oeste. De acordo com Guimarães e Landau (2014) e Guimarães et al. (2018) existe uma tendência de concentração das áreas irrigadas por pivôs centrais no Brasil, o que pode contribuir para a geração de conflitos pelo uso da água. Vinte por cento da área irrigada por pivôs centrais no País está concentrada em 6 municípios (Unai - MG, Paracatu - MG, Cristalina - GO, Barreiras – BA, São Desidério – BA e Mucugê – BA). Trinta por cento dessa área se localiza em 15 municípios e a metade da área irrigada localiza-se em apenas 45 municípios.

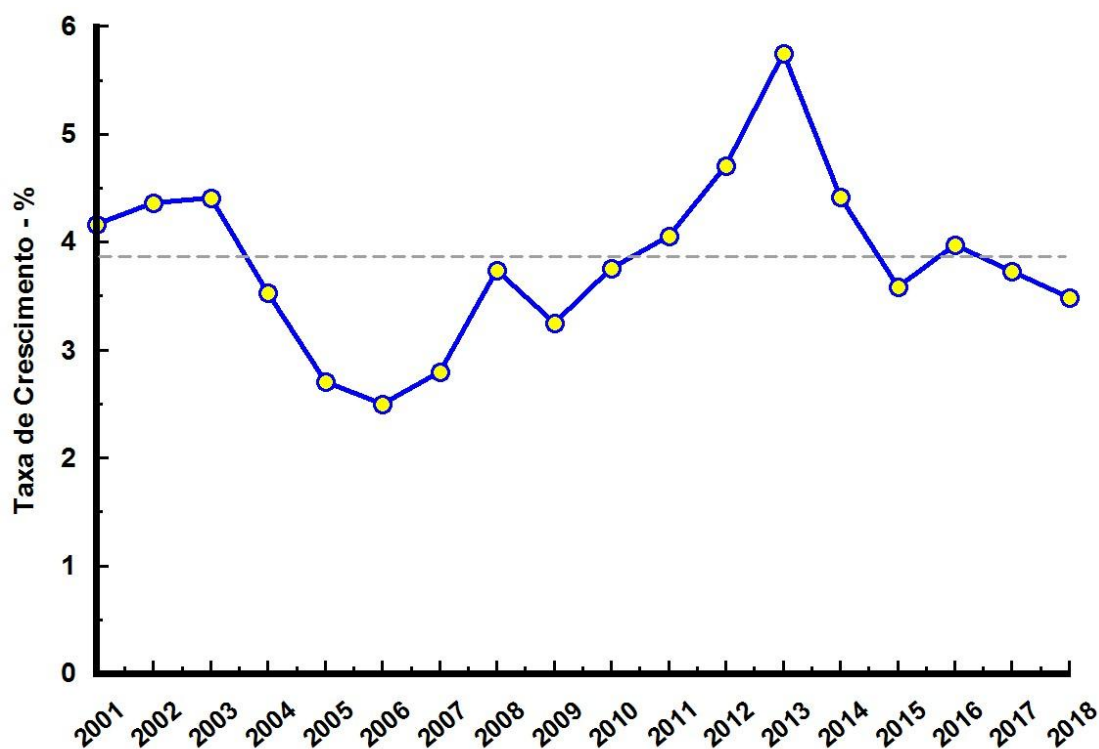


**Figura 51.11.** Crescimento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil.

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas (2019b).

### O futuro da agricultura irrigada no Brasil

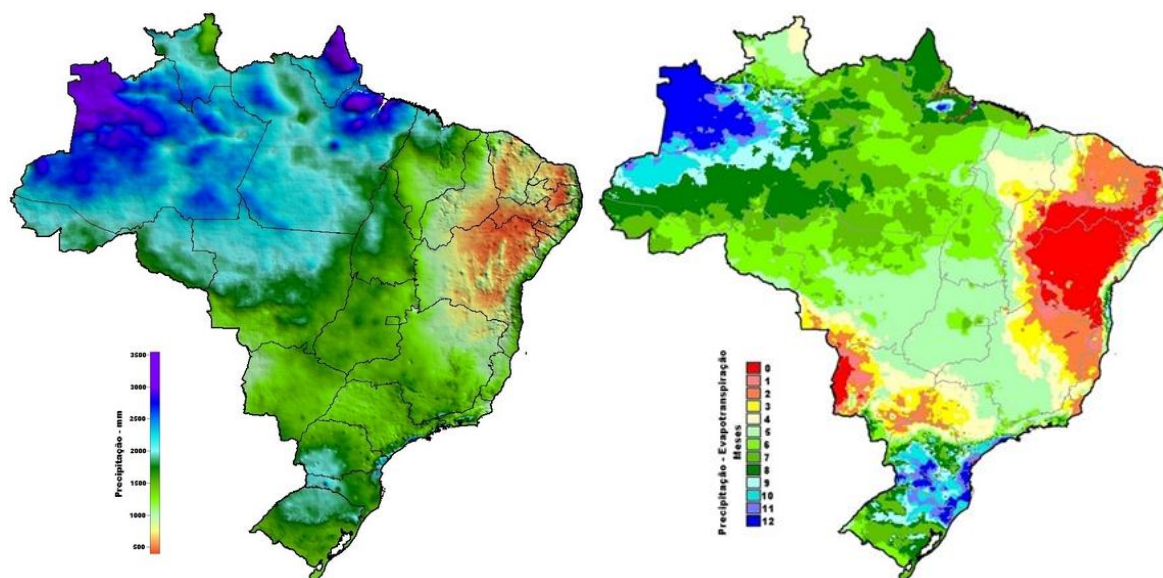
A Figura 51.12 mostra a tendência de crescimento anual da agricultura irrigada no Brasil a partir de 2001 até 2018 de acordo com as bases de dados da CSEI/Abimaq.



**Figura 51.12.** Taxas de crescimento da agricultura irrigada no Brasil.

Fonte: Adaptado de Abimaq (2019) citado por Hernandez (2019).

Persistindo o crescimento da agricultura irrigada brasileira nesses níveis, espera-se que a área irrigada alcance 10 milhões de hectares em 2030, 15 Mha em 2040 e 20 Mha em 2050, ou seja, a área irrigada atual será triplicada até o ano de 2050. Tendo em vista a tendência de crescimento da demanda pelo uso da água em outras atividades e a tendência de escassez dos recursos hídricos, fica evidente a necessidade de racionalização de seu uso. Nesse caso é importante conhecer a oferta hídrica que pode ser inferida em função da precipitação anual e a disponibilidade hídrica que se refere à diferença entre a precipitação e a evapotranspiração. A Figura 51.13 apresenta os mapas da precipitação média anual e número de meses em que a precipitação supera a evapotranspiração.



**Figura 51.13.** Precipitação média anual (A) e número de meses em que a precipitação é superior à evapotranspiração no Brasil (B).

Elaboração: Daniel P. Guimarães. Fonte de dados: WorldClim (2019).

A distribuição de chuvas no Brasil mostra que, excetuando-se o polígono das secas, praticamente todo o País possui precipitação média anual superior a 1.000 mm. Áreas com menos de 3 meses em que a precipitação supera a evapotranspiração estão sujeitas a grandes perdas na agricultura de sequeiro e ocorrem no interior do Nordeste, Norte de Minas e Vale do Jequitinhonha, região de Campos dos Goytacazes no Rio de Janeiro, extremo oeste paulista (Mesorregiões de Presidente Prudente, Araçatuba e Assis), Pantanal e parte das regiões Leste e Sudoeste do Mato Grosso do Sul. Nessas áreas, a agricultura irrigada apresenta alto potencial de aumento da produtividade e redução das perdas por riscos climáticos, no entanto, a disponibilidade hídrica deve ser considerada com extrema cautela. Áreas com mais de mais de nove meses onde a precipitação supera a evapotranspiração apresentam baixo potencial de uso da agricultura irrigada em função do excesso hídrico e ocorrem principalmente na região amazônica e nos estados da Região Sul do Brasil. As regiões onde a precipitação supera a evapotranspiração entre 4 e 8 meses caracterizam-se como áreas de excelente disponibilidade hídrica e possibilidade de produção de múltiplas safras anuais e minimização dos riscos de perdas com o uso da irrigação.

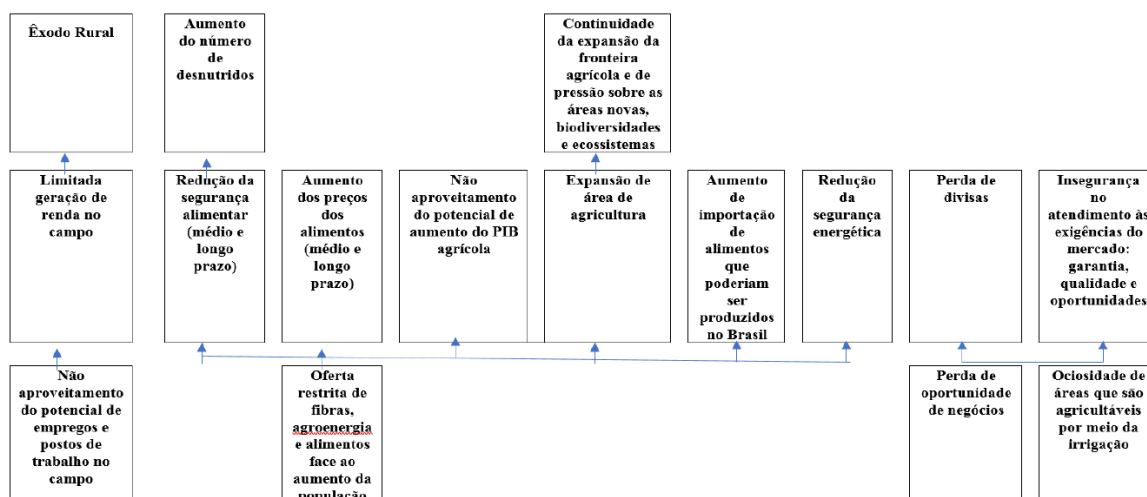
O monitoramento da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas é essencial para o conhecimento da variabilidade espaço-temporal dos volumes hídricos a serem outorgados para a irrigação sem comprometimento dos múltiplos atributos da água. Os modelos digitais de elevação do terreno obtidos por sensores orbitais permitiram



A questão das outorgas para o uso de água no Brasil ainda se baseia em diferentes critérios, o que pode conduzir à limitação da expansão da agricultura irrigada nos casos em que os critérios são muito rígidos ou riscos ambientais e desabastecimento hídrico nos casos de critérios mais permissivos. Os métodos mais utilizados são baseados nas vazões  $Q_{7,10}$  que é a vazão mínima com duração de sete dias em um período de retorno de 10 anos e as vazões de permanência  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  que é determinada pela distribuição probabilística das vazões tendo como base a frequência com que esses percentuais são superados durante a série histórica. Bezerra et al. (2013) verificaram que o uso do critério de outorga pela vazão  $Q_{90}$  permitiria uma retirada de água do Rio Jamari, em Rondônia, sete vezes maior que a outorgada pelo método da vazão mínima  $Q_{7,10}$ . Para as concessões de outorga, Minas Gerais e Rondônia usam o critério de 30% da vazão mínima  $Q_{7,10}$ , Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo adotam 50%  $Q_{7,10}$ , Bahia emprega 80% da vazão de permanência  $Q_{90}$  enquanto Goiás e Mato Grosso adotam limites de 70% da  $Q_{95}$ . Percebe-se que a outorga de água no país é determinada por vazões críticas em períodos de estiagem e não levam em consideração o uso de águas subterrâneas ou a reservação de água através da construção de barragens para o provimento da agricultura irrigada.

Os conhecimentos acerca do potencial de uso da agricultura irrigada no Brasil são ainda incipientes. Avaliações da Agência Nacional de Águas em 2018 calcularam as áreas com potencial de expansão da agricultura irrigada em 76,195 milhões de hectares, ou seja, mais de dez vezes a área atual e que o indicador de potencial efetivo - que considera apenas áreas de maior aptidão física e existência de condições técnicas favoráveis, escoamento da produção e energia elétrica, em 11,2 milhões de hectares. Sparovek et al. (2015) estimaram uma área irrigável de 61 milhões de hectares com o uso de águas superficiais, sendo 38 milhões de hectares em áreas com aptidão dos solos e relevos favoráveis. Esse estudo foi incluído no Plano Nacional de Irrigação com a publicação da Portaria nº 115, de 18 de junho de 2015.

A não utilização da plena capacidade de irrigação das terras traz prejuízos para a sociedade, conforme relatado por Juswiak (2019) na Figura 51.15.

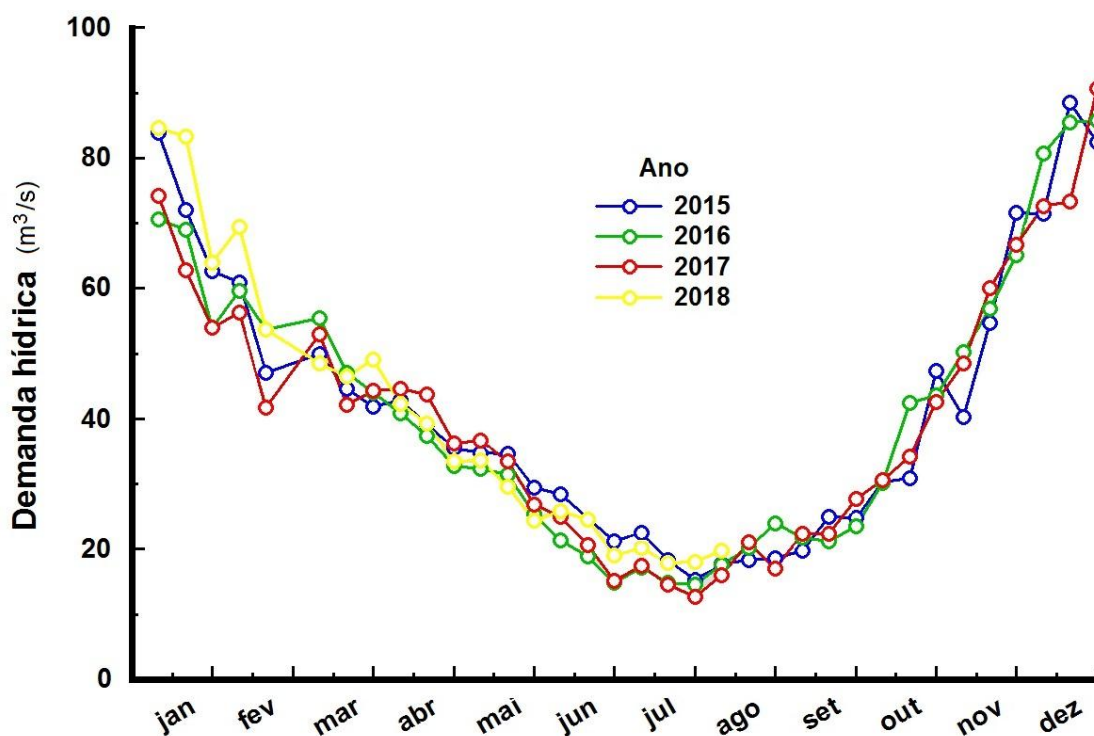


**Figura 51.15.** Consequências da Baixa Utilização do potencial da Agricultura Irrigada.

Fonte: Juswiak (2019).

Áreas equipadas para a irrigação não significam que estejam em uso constante. Os conceitos atuais de outorga sazonal e coletiva são de grande importância para o uso eficiente da água e a maximização de uso dos equipamentos de irrigação. Guimarães et al. (2018), analisando a demanda hídrica pela agricultura irrigada por pivôs centrais no Estado de São Paulo entre os anos de 2015 e 2018, concluíram que existe uma tendência de maior utilização dos equipamentos em épocas de maior disponibilidade hídrica (período das chuvas) em relação ao período de estiagem, quando a maioria dos equipamentos permanecem inativos, conforme demonstrado na Figura 51.16. Verifica-se que nos períodos de maior disponibilidade hídrica os pivôs ativos (plantados) no Estado de São Paulo demandam uma vazão correspondente a mais de 80 m<sup>3</sup>/s enquanto nos períodos de estiagem (maio a setembro) a vazão demandada é reduzida para cerca de 20 m<sup>3</sup>/s. Fica evidente que a água das chuvas é aproveitada para suprir a demanda hídrica e que o uso de previsões do tempo tende a contribuir significativamente para reduzir a retirada de água dos corpos hídricos para a irrigação nos pivôs centrais e que a pressão da agricultura irrigada por pivôs centrais no Estado de São Paulo é menor que a considerada ao levar em conta o número de equipamentos existentes.





**Figura 51.16.** Estimativa da demanda hídrica nas áreas irrigadas por pivôs centrais no estado de São Paulo entre 2015 e 2018.

Fonte: Guimarães et al. (2018).

Buscando o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil, em 2013 foi promulgada a nova Política Nacional de Irrigação (Lei Federal nº 12.787/2013). Em 2018 foi lançado pela Agência Nacional de Águas o Atlas Irrigação – Uso da Água na Agricultura Irrigada.

Uma enorme vantagem comparativa do Brasil em relação à agricultura irrigada, refere-se à alta disponibilidade e baixa utilização das águas subterrâneas. Enquanto os países de maiores áreas irrigadas (China e Índia) tendem a exaurir suas capacidades de expansão das áreas irrigadas e os Estados Unidos já enfrentam a tendência de depleção do Aquífero Ogallala (Winter; Foster, 2014), a situação brasileira parece ser muito confortável.

De acordo com a Agência Nacional de Águas, o volume de água nos aquíferos brasileiros ainda é desconhecido. Estimativas conservadoras estimam reservas da ordem de 112 mil quilômetros cúbicos de água nesses aquíferos incluindo os dois maiores reservatórios do planeta: o Guarani, localizado sob as Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, e o Alter do Chão, na Região Norte. Segundo informações da ANA, os aquíferos ocupam 48% da área territorial do Brasil, sendo que dispomos de 27 aquíferos

conhecidos. A Tabela 51.5 mostra a baixa utilização das águas subterrâneas no Brasil em relação a outros países e que a maior utilização desse recurso está direcionada para o abastecimento urbano.

**Tabela 51.5.** Extração de água subterrânea no Brasil.

País	Extração de água subterrânea			
	Vazão anual estimada em 2010 (Mm <sup>3</sup> /ano)	Uso na irrigação (%)	Uso doméstico e urbano (%)	Uso industrial (%)
Índia	251.000	89	9	2
China	111.950	54	20	26
Estados Unidos	111.700	71	23	6
Paquistão	64.820	94	6	0
Irã	63.400	87	11	2
Bangladesh	30.210	86	13	1
México	29.450	72	22	6
Arábia Saudita	24.240	92	5	3
Brasil	17.580	24(*)	66(**)	10
Indonésia	14.930	2	93	5
Turquia	13.220	60	32	8
Rússia	11.620	3	79	18
Síria	11.290	90	5	5
Japão	10.940	23	29	48
Tailândia	10.740	14	60	26
Itália	10.400	67	23	10

Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2019).

Obs.: \* Somente agricultura e pecuária.

\*\* Inclui parcela do abastecimento rural doméstico, saneamento, indústrias e serviços urbanos.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2018a. 85 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual. Brasília, 2018b. 72 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>>. Acesso em: 13 jun 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, 2019a. 75 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas, 2019c. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh>>. Acesso em: 9 set. 2019.
- ALTIERI, A. H.; GEDAN, K. B. **Climate changes and dead zones**. 2014. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12754>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, v. 21, p. 43-56, 2007. Disponível em: <[http://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2007/revolucao\\_verde.pdf](http://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2007/revolucao_verde.pdf)>. Acesso: 10 maio 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/2018/95a-ro/bernhard-kiep-brasilia-abimaq-csmia-csei-gtarm.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. (Ed.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Viçosa, MG: UFV; Brasília, DF: MMA: ABEAS, 1997. 252 p. Disponível em: <[http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/imagens/winotec\\_2008/winotec2008\\_palestras/Impacto\\_ambiental\\_da\\_irrigacao\\_no\\_Brasil\\_Salassier\\_Bernardo\\_winotec2008.pdf](http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/imagens/winotec_2008/winotec2008_palestras/Impacto_ambiental_da_irrigacao_no_Brasil_Salassier_Bernardo_winotec2008.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2019.
- BEZERRA, R. R.; RUDKE, A. P.; ROCHA, V. N. L.; SOUZA, W.; ANDRADE, N. L. R.; EVANGELISTA, D. H. R. Determinação da Q7,10, Q90 e Q95 como implemento para gestão dos recursos hídricos: estudo de caso do Rio Jamari. **Bahia Análise & Dados**, v. 23, p. 425-435, 2013.
- BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. (Ed.). **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF: FAO, 2018. 243 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2019.
- BORSATO, A. V. Sistema de produção agrícola de base ecológica. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo**: propriedades e usos. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 499-523.
- BREITBURG, D.; LEVIN, L. A.; OSCHLIES, A.; GREGOIRE, M.; CHAVEZ, F. P.; CONLEY, D. J. Declining oxygen in the global ocean and coastal Waters. **Science**, v. 359 n. 6371, p. 1-11, 2018. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/sci/359/6371/eaam7240.full.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, p. 1259-1282, 2018.
- CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. (Ed.). **Princípios de hidroponia**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. 27 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 22).
- CARVALHO, L. G. C; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.

CAVALCANTE JÚNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina**, v. 32, p.1699-1708, 2011. Suplemento.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, set. 2005.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Requerimento de água das culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 20).

ESTADOS UNIDOS. Central Intelligence Agency. **The world factbook**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/289.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

FAO. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF, 2018. 255 p.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**: parte 1- Conjunto hidráulico. 2009. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_1/hidroponiap1/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm)> Acesso em: 25 ago. 2019.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação**: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012. v. 1, 356 p.

GARCIA, E. Progress and the planet's limits: some lessons for the 21st century from the debate between Godwin and Malthus. **Debats Journal on Culture, Power and Society**, v. 3, p. 119-126, 2018.

GLOBAL CROUPLANDS. Disponível em: <<https://www.croplands.org>>. Acesso em: 8 set. 2019.

GONÇALVES, J. E.; SILVA, S. W.; GONÇALVES, E. S. O.; MELO, T. F. Reflexões atualizadas sobre o contexto do agronegócio brasileiro. **Agroalimentaria**, v. 24, n. 46, p. 89-101, 2018.

GOOGLE EARTH. Disponível em: < <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

GRAVES, C. J. The nutrient film technique. In: JANICK, J. (Ed.). **Horticultural reviews**. Westport: The AVI Publishing Company, 1983. v. 5, p.1-44.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; BRANDÃO, G. R.; SANTOS, M. C. B. dos. Diagnóstico da agricultura irrigada por pivôs centrais em São Paulo. **Item: Irrigação & Tecnologia Moderna**, n. 118/119, p. 26-32, 2018.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2013**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 40 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 106). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118126/1/bol-106.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

GUIMARÃES, D. P.; PIMENTA, F. M.; LANDAU, E. C. A **integração Google Earth-SIG-Servidor de mapas e o monitoramento ambiental**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 183).

GUPTA, A. K. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. **Current Science**, v. 87. p. 54-59. 2004.

HERNANDEZ, F. B. T. Sistemas de irrigação em solos arenosos: equipamentos e ajustes operacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS, 3., 2019, Campo Grande, MS. **Intensificação agropecuária sustentável em solos arenosos**: anais... Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/campo\\_grande\\_9\\_abril\\_2019-1.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/campo_grande_9_abril_2019-1.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2019.

IBGE. **Censo Agropecuário**: tabela 3640 - Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e Área irrigada dos estabelecimentos, por método utilizado para irrigação, segundo indicadores da agricultura familiar e não familiar – FAO. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3640>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Falta de saneamento básico prejudica potencial de uso das águas subterrâneas do país: **recurso indispensável à segurança hídrica das cidades**. Disponível em: <[http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/RELEASE\\_-\\_Estudo\\_-\\_A%CC%81guas\\_Subterra%CC%82neas\\_-\\_versa%CC%83o\\_FINAL.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/RELEASE_-_Estudo_-_A%CC%81guas_Subterra%CC%82neas_-_versa%CC%83o_FINAL.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2019.

JORASCH, P. The global need for plant breeding innovation. **Transgenic Research**, v. 28, p. 81-86, 2019.

JUSWIAK, V. **Planejamento estratégico para implementação da Política Nacional de Irrigação**. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cmads/audiencias-publicas/audiencia-publica-2019/26-09-2019-debate-sobre-os-desafios-e-oportunidades-da-irrigacao-no-campo/valdir-juswiak/view>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CRISTOFIDIS, D. O uso da Irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. (Org.). **O estado das águas no Brasil**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 1999. p. 73-101.

LIMA, W. F. de. **Automação do processo de irrigação do solo**. 2017. 32 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade Anhanguera, Jacareí, 2017.

MALTHUS, T. R. **An essay on the principle of population**: a view of its past and present effects on human happiness with an Inquiry into our prospects respecting the future removal or mitigation of the evils which It occasions. 8<sup>th</sup> ed. London: Reeves and Turner, 1878.

MANCOSU, N.; SNYDER, R. L.; KYRIAKAKIS, G.; SPANO, D. Water scarcity and future challenges for food production. **Water**, v. 7, n. 3, p. 975-992, 2015.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F. S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, set. 2016.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGON, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa-CNPq, 2011. 24 p. (Embrapa-CNPq. Circular Técnica, 11). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107339/1/CNPq-DOCUMENTOS-11-SELECAO-DE-SISTEMAS-DE-IRRIGACAO-PARA-HORTALICAS-FL-07821.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2019.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agro 4.0 - rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W. T. L. da; VALE, J. M. F. do; PURINI, S. R. de M.; MAGNONI, M. da G. M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E. F.; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade**: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 28-35.

MATOS, A. K. V. Revolução Verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2010.

OLIVEIRA, A. S.; PAZ, V. P. S.; D'ANGIOLELLA, G. L. B.; PEREIRA, F. A. C. Programação da irrigação pelo método do balanço de água no solo II. Aplicação - culturas anuais. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 42-49, set. 2005.

PORKKA, M.; GERTEN, D.; SCHAPHOFF, S.; SIEBERT, S.; KUMMU, M. Causes and trends of water scarcity in food production. **Environmental Research Letters**, v. 11, p. 1-12, 2016.

RAY, D. K.; GERBER, J. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, p. 1-9, 2015.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 15., 2008, Bauru. **Inovação e sustentabilidade na gestão de processos de negócios**. Bauru: UNESP, 2018.

RICHTER, L. A. Irrigação de pastagens. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. (Ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. p. 487-507. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/li/li01-forrageiras/cap17.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2019.

ROMANI, L. A. S.; BAMBINI, M. D.; COLTRI, P. P.; LUCHIARI JUNIOR, A.; KOENIGKAN, L. V.; OTAVIAN, A. F.; EVANGELISTA, S. R. M.; ZULLO JÚNIO, R.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Sistema de monitoramento agrometeorológico - Agritempo: inovação em rede apoiando políticas públicas e a tomada de decisão agrícola. **Agrometeoros**, v. 24, n. 1, p. 29-40, out. 2016.

ROSEGRANT, M. W.; PAISNER, M. S.; MEIJER, S.; WITCOVER, J. **Global food projections to 2020: emerging trends and alternative futures**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2001. 206 p.

SANTOS, M. V. M. dos. **Caracterização hidráulica de carretéis enroladores durante o seu deslocamento**. 2010. 106. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1468/1/TESE\\_Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20hidr%C3%A1ulica%20de%20carret%C3%A9is%20enroladores...pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1468/1/TESE_Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20hidr%C3%A1ulica%20de%20carret%C3%A9is%20enroladores...pdf)> Acesso em: 16 out. 2019.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Balanco hídrico climatológico normal e sequencial de cultura e para manejo da irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2009. Aula disciplina LCE 306 - Meteorologia Agrícola.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 4, n. 8, p. 1-17, 2005. Disponível em: <[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/Tm9d5yhlcpezey1x\\_2013-4-29-15-39-59.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Tm9d5yhlcpezey1x_2013-4-29-15-39-59.pdf)> Acesso em: 2 abr. 2019.

SILVA, E. M. da; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A. de; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 323-330, 2006.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F. da. Irrigação. In: SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. cap. 9. p. 351-427. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/513855>>. Acesso em: 16 set. 2019.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, v. 30, p. 399-410, 2006.

SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 2014. 215 p.

SPAROVEK, G.; LEITE, C. V.; BARRETO, A. G. O. P.; MAULE, R. F.; DOURADO NETO, D. Análise territorial e potencial da agricultura irrigada no Brasil. **Item. Irrigação & Tecnologia Moderna**, v. 106, p. 50-55, 2015.

TARGINO, A. T.; BARROS, D. L.; NELO, J. V. A.; AMORIM, P. H. C. Aeroponia: plantação sustentável e econômica. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; PURINI, S. R. de M.; MAGNONI, M. da G. M.; VALE, J. M. F. do; BRANCO JUNIOR, G. A.; ADORNO FILHO, E. F.; SILVA, W. T. L. da; FIGUEIREDO, W. dos S. (Org.). **Programa educativo e social JC na escola: ciência alimentando o Brasil**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2018. p. 478-486. Disponível em: <<http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Alimentando2ed/pdf/Alimentando2ed-40.pdf>> Acesso em: 11 set. 2019.

TEIXEIRA, F. O.; LAZARETTI, L. R.; CORONEL, D. A.; FREITAS, C. A. Crescimento econômico dos estados brasileiros através da sofisticação de suas exportações agropecuárias (2002-2014). **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 1, n. 39, p. 374-400, 2018.

TELLES, D. D. A. Hidráulica aplicada à irrigação. In: NETTO, J. M. A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998. p. 605-650.

TERRA GIS. **Soil moisture classification.** Disponível em: <[http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS\\_soil/sp\\_water-soil\\_moisture\\_classification.html](http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_water-soil_moisture_classification.html)>. Acesso em: 11 set. 2019.

TESTEZLAF, R. Irrigação: fatores de qualidade. In: TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações.** Campinas: Unicamp, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/318197795\\_Irrigacao\\_metodos\\_sistemas\\_e\\_aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/318197795_Irrigacao_metodos_sistemas_e_aplicacoes)>. Acesso em: 13 jun. 2019.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. Conceitos, importância e a irrigação no Brasil. In: TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações.** Campinas: Unicamp, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/318197795\\_Irrigacao\\_metodos\\_sistemas\\_e\\_aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/318197795_Irrigacao_metodos_sistemas_e_aplicacoes)>. Acesso em: 30 maio 2019.

WINTER, M.; FOSTER, C. **Ogallala Aquifer: lifeblood of the high plains part I: withdrawals exceed recharge.** 2014. Disponível em: <<https://www.cobank.com/-/media/files/ke/power-energy-and-water/ogallala-aquifer-part-i-report--oct-2014.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

WORLDCLIM Global Climate Data. Disponível em: <<http://www.worldclim.org/>>. Acesso em: 8 set. 2019.

ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; SILVA, J. A. A. **Irrigação em citros.** Jaboticabal: Funep, 1998. Disponível em: <[http://www.estacaoexperimental.com.br/documentos/BC\\_07.pdf](http://www.estacaoexperimental.com.br/documentos/BC_07.pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2019.

## Literatura Recomendada

ALMEIDA, V.; JÚNIOR, J. A.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, p. 256-273, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Beef Report 2019:** perfil da agropecuária no Brasil. São Paulo, 2019. 47 p. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/Sumario2019.aspx>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. A. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

CSEI divulga levantamento da área irrigada. Disponível em: <<http://irrigazine.com.br/?p=932>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

DIAGNÓSTICO propositivo dos perímetros e áreas irrigadas com fruticultura e floricultura no Ceará: versão integrada. Fortaleza: Instituto Frutal, 2013. 108 p. Disponível em: <<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/downloads/category/47-plano-diretor-de-agricultura-irrigada-do-ceara?download=239%3Afrutal-diagnostico-polos-irrigados>>. Acesso em: 9 set. 2019.

DIETER, C. A.; MAUPIN, M. A.; CALDWELL, R. R.; HARRIS, M. A.; IVAHNENKO, T. I.; LOVELACE, J. K.; BARBER, N. L.; LINSEY, K. S. **Estimated use of water in the United States in 2015.** Reston: U.S. Geological Survey, 2018. 65 p. (Circular, 1441).

EVANS, R. G. **Center pivot irrigation:** research report. Sidney: USDA-Agricultural Research Service, 2001.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Mapeamento das áreas irrigadas por pivôs centrais no Estado de Minas Gerais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 23 p. il. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40).

LANDAU, E. C.; MOURA, L.; GUIMARÃES, D. P.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M. **Concentração geográfica de pivôs centrais no Brasil.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 37 p. il. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 69).

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SOUZA, D. L. de. **Varição da área irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 2013 e 2014**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 126). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140600/1/bol-126.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

PROJETO MapBiomas: coleção 3.1 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/map#coverage>>. Acesso em: 2 jul. 2019.

ROSEGRANT, M.; AGEAOILI-SOMBILAA, M.; PEREZ, N. **Food projections to 2020: implications for investment**. Washington: International Food Policy Research Institute, 1995. 15 p.

STACKHOUSE JR., P. W.; WESTBERG, D.; CHANDLER, W. S.; ZHANG, T.; HOELL, J. M. **Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): agroclimatology methodology, version 1.0.2**. Washington: The National Aeronautics and Space Administration, 2015.

TELUGUNTLA, P. G.; THENKABAIL, P. S.; XIONG, J. N.; GUMMA, M. K.; GIRI, C.; MILESI, C.; OZDOGAN, M.; CONGALTON, R.; TILTON, J.; SANKEY, T. T.; MASSEY, R.; PHALKE, A.; YADAV, K. Global Cropland Area Database (GCAD) derived from remote sensing in support of food security in the twenty-first century: current achievements and future possibilities. In: THENKABAIL, P. S. (Ed.). **Land resources: monitoring, modeling, and mapping**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2015. Disponível em: <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70117684>>. Acesso em: 10 jun. 2019.