CAPÍTULO DO LIVRO – AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E SANIDADE VEGETAL SOLOS, ÁGUA, BIOINSUMOS E MANEJO INTEGRADO - PUBLICADO POR: EDITORA MANUAL
ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

CAPÍTULO 4

O PAPEL DO MANEJO HÍDRICO NA MODULAÇÃO DA MICROBIOTA E NA CONSTRUÇÃO DA SUPRESSIVIDADE A FITOPATÓGENOS DE SOLO

DOI DO CAPÍTULO: 10.29327/5963730.1-4

Gabrielle Ferreira de Lira, e-mail: gabrielle.lira@ceca.ufal.br, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/1312682876827043
Jozadake Petry Fausto, e-mail: jozadakepetryfausto@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/3339996527225371
João Pedro Silva Oliveira, e-mail: jpoliveira875@gmail.com, URL lattes: https://lattes.cnpq.br/1145217569751642
Maria Laiane da Silva, e-mail: maria.laiane@arapiraca.ufal.br, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/5197880533423893
Giselle Silva de Souza, e-mail: giselle.silva908@gmail.com URL lattes: http://lattes.cnpq.br/7391062473926377
José Vitor da Silva Nunes, e-mail: vitor4899@gmail.com, URL lattes: https://lattes.cnpq.br/9593210495913688
Josilene Pereira Silva, e-mail: pereirasilvajosilene41@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/5717569162096842

RESUMO

A disponibilidade de água constitui um dos principais fatores reguladores das interações entre plantas, microrganismos e fitopatógenos no solo, podendo influenciar diretamente a composição e a atividade do microbioma e, consequentemente, a ocorrência de doenças. Este capítulo teve como objetivo discutir o papel do manejo hídrico na modulação da microbiota e na construção da supressividade a fitopatógenos habitantes do solo, considerando as relações entre disponibilidade de água, comunidades microbianas e patógenos, os mecanismos microbiológicos de supressão e as estratégias de manejo capazes de favorecer solos biologicamente equilibrados. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa, descritiva e analítica, abrangendo principalmente estudos publicados entre 2010 e 2026. As evidências analisadas demonstram que a umidade do solo regula a difusão de nutrientes, a disponibilidade de oxigênio, a mobilidade microbiana e as interações estabelecidas na rizosfera. Déficits hídricos severos podem reduzir a biomassa e desestruturar redes microbianas, enquanto a saturação prolongada limita a oxigenação e pode favorecer fitopatógenos adaptados a ambientes úmidos. Em contrapartida, regimes hídricos adequadamente manejados podem favorecer comunidades microbianas benéficas e mecanismos de supressão relacionados à competição por recursos e sítios de colonização, produção de sideróforos, compostos antimicrobianos e enzimas, além da ativação das defesas vegetais. Estratégias como irrigação localizada, monitoramento da umidade, déficits controlados, boa drenagem e integração com cobertura do solo, matéria orgânica, rotação de culturas e bioinsumos podem contribuir para maior estabilidade do microbioma e redução dos riscos de doenças. Conclui-se que o manejo hídrico pode atuar como ferramenta ecológica complementar na construção e manutenção de solos supressivos, desde que seja ajustado às características do solo, da cultura, da microbiota e do patossistema.

PALAVRAS-CHAVE: manejo hídrico; microbiota do solo; solos supressivos; fitopatógenos; irrigação; controle biológico.

1. INTRODUÇÃO

O solo constitui um ambiente biologicamente complexo, no qual raízes, microrganismos e componentes físico-químicos interagem continuamente, influenciando a nutrição, o crescimento e a sanidade das plantas. Entre os fatores que regulam essas interações, a

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

disponibilidade de água ocupa posição central, pois determina a conectividade dos poros, a difusão de nutrientes, as trocas gasosas e a mobilidade dos organismos no ambiente edáfico (Schimel, 2018). Alterações no conteúdo hídrico podem modificar a biomassa, a composição e a atividade metabólica da microbiota, selecionando grupos com diferentes níveis de tolerância à dessecação ou à baixa disponibilidade de oxigênio (Naylor; Coleman-Derr, 2018). Eventos de seca, reumedecimento ou saturação também interferem na decomposição da matéria orgânica e nos ciclos do carbono e do nitrogênio (Meisner *et al*., 2021), enquanto mudanças prolongadas no regime de umidade podem reorganizar as redes de interação responsáveis pela estabilidade funcional do microbioma do solo (de Vries *et al*., 2018).

Nos sistemas agrícolas, a irrigação não atua somente no suprimento das necessidades hídricas das culturas, mas também como um importante filtro ecológico das comunidades microbianas associadas ao solo e às raízes. A quantidade, a frequência e a distribuição da água modificam o crescimento radicular e a liberação de exsudatos, alterando os recursos disponíveis para bactérias, fungos e arqueias na rizosfera (Naylor *et al*., 2017). Regimes hídricos moderadamente restritivos podem favorecer a aeração, a diversidade bacteriana e determinadas atividades enzimáticas (Muhammad *et al*., 2022), enquanto déficits intensos tendem a reduzir a biomassa microbiana e a abundância de fungos micorrízicos arbusculares (Flynn *et al*., 2021). Por sua vez, o excesso de água preenche os espaços porosos, limita a difusão de oxigênio e pode criar condições favoráveis à multiplicação e à dispersão de fitopatógenos adaptados a ambientes saturados, sobretudo espécies dos gêneros *Pythium* e *Phytophthora* (Judelson, 2018).

A influência da água sobre as doenças radiculares, entretanto, não depende apenas da resposta direta dos patógenos, mas do equilíbrio estabelecido entre o hospedeiro, o agente infeccioso e a microbiota residente. Comunidades microbianas diversificadas e funcionalmente organizadas podem restringir a invasão dos fitopatógenos por meio da competição por nutrientes e sítios de colonização, da produção de sideróforos e compostos antimicrobianos e da degradação de estruturas do patógeno (Schlatter *et al*., 2017).

Além disso, microrganismos benéficos podem estimular as vias de defesa das plantas e ampliar a resistência contra infecções subsequentes (Pieterse *et al*., 2021). A atuação integrada desses mecanismos está associada à supressividade do solo, propriedade pela qual o desenvolvimento de uma doença permanece limitado mesmo na presença do patógeno, do hospedeiro suscetível e de condições potencialmente favoráveis à infecção (Gómez Expósito *et al*., 2017). Essa proteção pode resultar tanto da atividade coletiva da comunidade microbiana quanto da atuação de grupos específicos e de suas redes de interação (Todorović *et al*., 2023).

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

Compreender a participação do regime hídrico na construção e na manutenção da supressividade representa, portanto, uma abordagem promissora para integrar o manejo da irrigação ao controle biológico de doenças. A irrigação localizada, o monitoramento da umidade, a prevenção do encharcamento e a adoção de déficits controlados podem direcionar o microbioma da rizosfera e favorecer grupos potencialmente antagonistas (Gao *et al*., 2019). Entretanto, esses efeitos dependem da textura e da fertilidade do solo, da qualidade da água, do genótipo vegetal, das condições climáticas e do patossistema considerado (Martins *et al*., 2023).

A integração da irrigação com cobertura do solo, matéria orgânica, rotação de culturas e bioinsumos pode ampliar a estabilidade das comunidades protetoras, desde que sejam evitadas oscilações hídricas capazes de desestruturar suas interações (Keating *et al*., 2024). Nesse contexto, este capítulo objetiva discutir o papel do manejo hídrico na modulação da microbiota e na construção da supressividade a fitopatógenos de solo, abordando as relações entre disponibilidade de água, comunidades microbianas e patógenos, os mecanismos microbiológicos de supressão e as estratégias de manejo capazes de favorecer solos biologicamente mais equilibrados e resistentes às doenças.

2. METODOLOGIA

O presente capítulo de livro caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo e analítico, desenvolvida com o propósito de reunir, interpretar e integrar evidências científicas sobre o papel do manejo hídrico na modulação da microbiota do solo e na construção da supressividade a fitopatógenos habitantes do solo. A revisão concentrou-se nos efeitos da disponibilidade de água sobre a composição, a diversidade e a atividade das comunidades microbianas, nas relações estabelecidas entre microbiota, plantas e patógenos e nas práticas de irrigação capazes de favorecer a estabilidade biológica e fitossanitária do ambiente edáfico.

A pesquisa foi orientada pela seguinte questão: de que maneira o manejo da água pode modificar a estrutura e o funcionamento da microbiota do solo e contribuir para a construção e a manutenção da supressividade a fitopatógenos? Para responder a essa questão, foram consultadas publicações científicas e técnico-científicas relacionadas à disponibilidade hídrica do solo, à irrigação agrícola, ao microbioma edáfico e rizosférico, aos solos supressivos, às interações entre plantas e microrganismos, aos fitopatógenos habitantes do solo, ao controle biológico e ao manejo integrado de doenças.

As buscas bibliográficas abrangeram estudos publicados principalmente entre 2010 e 2026, sem excluir referências clássicas consideradas indispensáveis à fundamentação dos

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

conceitos de microbiota do solo, rizosfera, supressividade, antagonismo microbiano e epidemiologia de doenças radiculares. A estratégia de busca empregou descritores em português e inglês, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, incluindo os termos *water management*, *irrigation management*, *soil moisture*, *water availability*, *soil microbiome*, *rhizosphere microbiome*, *disease-suppressive soil*, *soil suppressiveness*, *soilborne pathogens*, *microbial antagonism*, *biological control*, *root diseases*, *drought stress*, *waterlogging* e *integrated disease management*, além de suas correspondências em português.

Foram priorizados artigos científicos originais, revisões, meta-análises, capítulos de livros e documentos técnico-científicos que apresentassem relação direta entre o regime hídrico, a microbiota do solo e a ocorrência ou severidade de doenças causadas por fitopatógenos habitantes do solo. Também foram considerados estudos que avaliassem os efeitos da quantidade, da frequência e da distribuição da água sobre a biomassa, a diversidade, a composição taxonômica, as redes de interação e a atividade metabólica das comunidades microbianas. Foram incluídas pesquisas sobre irrigação deficitária, secagem e reumedecimento, saturação hídrica, drenagem, qualidade da água, exsudação radicular, recrutamento de microrganismos benéficos, indução de resistência e integração da irrigação com práticas biológicas e culturais.

Foram excluídas publicações sem relação direta com a questão orientadora, estudos voltados exclusivamente à produtividade, à nutrição ou à eficiência do uso da água sem avaliação microbiológica ou fitossanitária, bem como trabalhos que não apresentassem informações suficientes sobre o regime hídrico, o tipo de solo, a cultura, a comunidade microbiana ou o patógeno investigado. Estudos duplicados, documentos sem acesso às informações essenciais e publicações cuja abordagem não permitisse interpretar os efeitos do manejo hídrico sobre a microbiota ou a supressividade do solo também não foram considerados na síntese.

Após a identificação das publicações, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para verificar sua adequação aos objetivos do capítulo. Os trabalhos potencialmente relevantes foram examinados integralmente, considerando-se a clareza metodológica, a pertinência temática e sua contribuição para a compreensão das relações entre água, microbiota, plantas e fitopatógenos. Por se tratar de uma revisão narrativa, a seleção das fontes não teve como finalidade produzir uma estimativa quantitativa combinada dos efeitos, mas construir uma síntese crítica dos mecanismos, das evidências experimentais e dos fatores responsáveis pela variabilidade das respostas observadas em diferentes solos, culturas e patossistemas.

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

As informações extraídas dos estudos foram organizadas considerando autor e ano de publicação, tipo e textura do solo, cultura avaliada, fitopatógeno investigado, método de irrigação, quantidade e frequência de aplicação da água, nível de umidade ou potencial hídrico, duração do experimento e condições de cultivo. Quando disponíveis, também foram examinadas informações sobre biomassa e diversidade microbiana, composição taxonômica e funcional do microbioma, abundância do patógeno, atividade enzimática, disponibilidade de nutrientes, oxigenação do solo, composição dos exsudatos radiculares, recrutamento de microrganismos antagonistas e efeitos sobre a incidência ou a severidade das doenças.

A comparação entre os trabalhos buscou identificar resultados convergentes, divergências e respostas dependentes do contexto, reconhecendo que os efeitos de determinado regime hídrico não podem ser automaticamente extrapolados entre diferentes combinações de solo, planta, microbiota e patógeno. Também foram analisadas possíveis respostas neutras ou desfavoráveis, especialmente aquelas relacionadas a déficits hídricos severos, ciclos abruptos de secagem e reumedecimento, saturação prolongada, baixa oxigenação, salinidade da água e alterações ambientais capazes de desestruturar comunidades microbianas protetoras ou favorecer a sobrevivência, a dispersão e a atividade infectiva dos fitopatógenos.

A síntese das evidências foi estruturada em quatro eixos temáticos: o manejo hídrico como regulador da microbiota do solo; relações entre disponibilidade de água, microbiota e fitopatógenos de solo; mecanismos microbiológicos envolvidos na construção da supressividade; e estratégias de manejo hídrico para favorecer solos supressivos. Essa organização permitiu integrar conhecimentos de microbiologia do solo, fitopatologia, irrigação e manejo agrícola, proporcionando uma compreensão abrangente do manejo da água como ferramenta ecológica complementar para direcionar o microbioma, fortalecer os mecanismos naturais de supressão e reduzir os riscos de doenças de plantas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 O manejo hídrico como regulador da microbiota do solo

A disponibilidade de água constitui um dos principais filtros ambientais da microbiota do solo, pois controla a difusão de substratos, a mobilidade celular, as trocas gasosas e o contato entre microrganismos e recursos orgânicos. Quando o conteúdo hídrico diminui, a redução da espessura dos filmes de água ao redor das partículas restringe o deslocamento de nutrientes e aumenta o estresse osmótico, reduzindo a respiração, o crescimento e a atividade enzimática microbiana (Schimel, 2018). A seca também seleciona organismos capazes de produzir

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

osmólitos, formar estruturas de resistência ou permanecer metabolicamente dormentes, modificando a composição e o potencial funcional da comunidade (Naylor *et al*., 2017).

Em sentido oposto, o excesso de água preenche os poros do solo, limita a difusão de oxigênio e favorece processos anaeróbios, como desnitrificação e metanogênese. Por isso, alterações na umidade podem modificar simultaneamente bactérias, fungos e arqueias, bem como os ciclos do carbono e do nitrogênio (Meisner *et al*., 2021). Evidências experimentais demonstram ainda que eventos de secagem e reumedecimento provocam mudanças mais intensas na estrutura microbiana do que reduções moderadas e contínuas da precipitação (Wang *et al*., 2022).

Nos sistemas agrícolas, a irrigação atua sobre a microbiota tanto diretamente, pela alteração do conteúdo e da distribuição da água no perfil, quanto indiretamente, ao modificar a disponibilidade de nutrientes, o crescimento radicular e a liberação de exsudatos. Em cultivo de milho, a irrigação deficitária prolongada reduziu a biomassa microbiana e a abundância de marcadores de fungos micorrízicos arbusculares, embora tenha estimulado o aprofundamento das raízes (Flynn *et al*., 2021). Entretanto, o fornecimento elevado de água nem sempre resulta em maior diversidade, pois condições moderadamente restritivas podem favorecer a aeração e criar maior heterogeneidade de micro-habitats. Muhammad *et al*. (2022) verificaram que a manutenção do solo a 60% da capacidade de campo, associada ao manejo adequado do nitrogênio, promoveu maior diversidade bacteriana, atividade enzimática e disponibilidade de nutrientes que a condição de 80%.

A conversão de áreas semiáridas para agricultura irrigada também pode aumentar a riqueza bacteriana e alterar os perfis lipídicos e as funções relacionadas à incorporação de carbono, embora reduções na diversidade de fungos possam ocorrer (Frene *et al*., 2022). Além disso, a irrigação localizada reorganiza as comunidades por meio dos gradientes de umidade e fertilidade formados ao redor dos emissores, sendo o nitrogênio disponível particularmente determinante para as bactérias e o conjunto de nutrientes mais relevante para os fungos (Wang *et al*., 2024).

A frequência e a intensidade da irrigação são tão importantes quanto o volume total aplicado. Ciclos acentuados de secagem e reumedecimento podem provocar lise celular, liberação de compostos intracelulares e rápida mineralização da matéria orgânica após a reposição da água, produzindo pulsos de emissão de CO_2 e de disponibilização de nutrientes (Meisner *et al*., 2021). Wang *et al*. (2022) observaram que o reumedecimento de solos secos alterou intensamente a diversidade e a estrutura da microbiota, incluindo aumento relativo de arqueias oxidantes de amônia, com possíveis consequências para o ciclo do nitrogênio. Esses

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

efeitos não se limitam ao momento da irrigação, pois exposições anteriores podem deixar "legados" ecológicos que condicionam a resposta da comunidade a eventos hídricos posteriores (Schimel, 2018).

Na rizosfera, a redução da água também interage com a seleção promovida pela planta, favorecendo grupos tolerantes à dessecação, como diferentes representantes de Actinobacteria, embora a intensidade dessa seleção varie entre espécies vegetais (Naylor *et al*., 2017). Dessa forma, irrigações muito espaçadas podem selecionar comunidades resistentes, mas também reduzir a biomassa e comprometer temporariamente funções relacionadas à decomposição, à ciclagem de nutrientes e às associações micorrízicas.

O manejo hídrico deve, portanto, buscar uma faixa de umidade que preserve a atividade microbiana sem provocar saturação prolongada ou sucessivos choques de reumedecimento. O monitoramento da umidade e a aplicação de água conforme a demanda da cultura podem estabilizar os micro-habitats do solo e favorecer comunidades envolvidas na mineralização de nutrientes e na manutenção da estrutura edáfica (Muhammad *et al*., 2022). Sistemas localizados, como o gotejamento, permitem maior controle espacial da água, mas criam zonas contrastantes de umidade e nutrientes que precisam ser consideradas na amostragem e na interpretação da microbiota (Wang *et al*., 2024).

A irrigação deficitária moderada pode contribuir para a economia de água e para a manutenção de condições aeróbias, enquanto déficits severos ou prolongados tendem a reduzir a biomassa microbiana e os fungos micorrízicos (Flynn *et al*., 2021). Os efeitos também dependem da textura, da matéria orgânica, da salinidade, da fertilização e do histórico de uso do solo, razão pela qual não existe um regime hídrico universalmente favorável à diversidade microbiana (Frene *et al*., 2022). Assim, a irrigação deve ser compreendida não apenas como fornecimento de água às plantas, mas como ferramenta ecológica capaz de direcionar a composição, a atividade e a resiliência funcional da microbiota do solo.

3.2 Relações entre disponibilidade de água, microbiota e fitopatógenos de solo

A disponibilidade de água constitui um dos principais filtros ambientais da microbiota do solo, pois controla a difusão de nutrientes, a mobilidade celular, as trocas gasosas e o contato entre os microrganismos. Sob déficit hídrico, a redução dos filmes de água ao redor dos agregados limita a dispersão microbiana e diminui a atividade de grupos sensíveis à dessecação, enquanto favorece organismos dotados de paredes celulares espessas, esporulação e mecanismos de osmorregulação (Naylor; Coleman-Derr, 2018).

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

Em arroz, a seca reestruturou de maneira distinta os microbiomas da rizosfera e do interior das raízes, com enriquecimento de Actinobacteria e redução de grupos bacterianos sensíveis à baixa umidade (Santos-Medellín *et al*., 2017). Resposta semelhante foi registrada no sorgo, no qual o déficit hídrico retardou a sucessão do microbioma radicular e aumentou a participação de bactérias monodérmicas adaptadas à dessecação (Xu *et al*., 2018). Além das alterações taxonômicas, a seca pode desestabilizar redes de interação bacterianas e comprometer processos como decomposição, ciclagem de nutrientes e competição por recursos (de Vries *et al*., 2018).

As respostas microbianas à umidade, entretanto, não resultam apenas do contato direto com a água. O déficit hídrico modifica o crescimento das raízes, a fotossíntese e a quantidade e composição dos exsudatos liberados na rizosfera, alterando indiretamente a seleção microbiana (Naylor; Coleman-Derr, 2018). Microrganismos capazes de produzir exopolissacarídeos, osmólitos, enzimas antioxidantes ou ACC desaminase podem ser favorecidos nessas condições e contribuir para a manutenção do crescimento vegetal durante períodos secos (Gebauer *et al*., 2022).

Em trigo cultivado em ambiente semiárido, a irrigação modificou a abundância de diferentes grupos bacterianos e reduziu as populações de rizobactérias produtoras de fenazina, bem como a concentração desse metabólito associado à supressão de patógenos radiculares (Mavrodi *et al*., 2018). Esses resultados demonstram que o aumento da umidade não promove necessariamente maior proteção biológica, pois pode reduzir microrganismos antagonistas selecionados historicamente em ambientes secos e modificar o equilíbrio entre estratégias oligotróficas e copiotróficas (Meisner; de Boer, 2018).

Para os fitopatógenos, a influência da água varia conforme suas características ecológicas. O aumento da umidade e a saturação dos poros reduzem a disponibilidade de oxigênio, prejudicam a respiração das raízes e favorecem a formação de tecidos debilitados e suscetíveis à infecção (Meisner; de Boer, 2018). Oomicetos dos gêneros *Phytophthora* e *Pythium* são particularmente favorecidos por solos úmidos ou encharcados, uma vez que dependem da água para a liberação, dispersão e quimiotaxia de zoósporos em direção às raízes (Judelson, 2018).

A água de irrigação também pode atuar como veículo de propágulos, especialmente em sistemas recirculantes, viveiros e áreas com drenagem deficiente, ampliando a disseminação espacial desses patógenos (Wakeham; Pettitt, 2017). Em contraste, fungos como *Fusarium* e *Verticillium* apresentam estruturas de resistência e maior tolerância à dessecação, podendo

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

manter ou elevar sua importância relativa durante períodos secos, sobretudo quando o estresse hídrico reduz as defesas da planta hospedeira (Meisner; de Boer, 2018).

A relação entre água e doença deve, portanto, ser compreendida como resultado da interação entre patógeno, hospedeiro e microbiota residente. Solos supressivos limitam o estabelecimento dos fitopatógenos por meio da competição por carbono e nutrientes, produção de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas e ativação das defesas vegetais (Schlatter *et al*., 2017). A infecção também pode estimular o recrutamento de grupos microbianos protetores, como demonstrado pelo enriquecimento de bactérias com genes relacionados à degradação de quitina e à síntese de metabólitos antimicrobianos em raízes atacadas por fungos (Carrión *et al*., 2019).

Contudo, secas intensas, encharcamento e ciclos abruptos de secagem e reumedecimento podem romper essas redes antagonistas, reduzir temporariamente a supressividade e abrir nichos ecológicos para a proliferação dos patógenos (Meisner; de Boer, 2018). A capacidade de reorganização da comunidade após o estresse torna-se, assim, determinante para a resistência do solo à doença, visto que microbiomas funcionalmente equilibrados podem dificultar a invasão simultânea de *Ralstonia solanacearum* e *Fusarium oxysporum* (Deng *et al*., 2021). Desse modo, o manejo hídrico deve evitar tanto o déficit prolongado quanto a saturação persistente, mantendo condições que preservem a atividade das raízes, a diversidade microbiana e os mecanismos naturais de supressão.

3.3 Mecanismos microbiológicos envolvidos na construção da supressividade

A supressividade do solo resulta da capacidade da microbiota residente de restringir o estabelecimento, o crescimento ou a atividade infectiva dos fitopatógenos, mesmo quando o hospedeiro suscetível e as condições ambientais favoráveis estão presentes. Na supressividade geral, a elevada biomassa, diversidade funcional e atividade metabólica da comunidade microbiana ampliam a ocupação dos nichos ecológicos e dificultam a invasão do patógeno (Schlatter *et al*., 2017). Esse efeito decorre, principalmente, da competição por fontes de carbono, nitrogênio e micronutrientes, além da rápida colonização dos sítios de infecção nas raízes (Gómez Expósito *et al*., 2017).

Comunidades com maior complementaridade no uso de recursos exploram mais eficientemente os substratos liberados pela planta, reduzindo a quantidade de nutrientes acessível aos organismos invasores (Yang *et al*., 2019). Consequentemente, a supressividade deve ser compreendida como uma propriedade emergente da comunidade, condicionada não

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

apenas pela riqueza microbiana, mas também pela abundância, atividade e organização das interações entre seus membros (Todorović *et al*., 2023).

A competição por ferro constitui um dos mecanismos mais bem demonstrados de exclusão de fitopatógenos na rizosfera. Bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Streptomyces* produzem sideróforos com elevada afinidade pelo Fe^{3+}, tornando esse elemento menos disponível para patógenos incapazes de utilizar os complexos formados (Gu *et al*., 2020). A supressão, entretanto, depende da compatibilidade entre o sideróforo e os sistemas de captação presentes no invasor, pois determinados compostos podem ser aproveitados pelo próprio patógeno e favorecer seu crescimento (Gu *et al*., 2020).

Paralelamente, microrganismos antagonistas sintetizam antibióticos, lipopeptídeos, compostos voláteis e enzimas hidrolíticas capazes de inibir a germinação de esporos, romper paredes celulares ou comprometer o metabolismo dos patógenos (Schlatter *et al*., 2017). Em microbiomas endofíticos de beterraba, por exemplo, a atuação complementar de *Chitinophaga* e *Flavobacterium*, associada à degradação de quitina e à produção de metabólitos codificados por um agrupamento gênico NRPS–PKS, foi determinante para a proteção contra *Rhizoctonia solani* (Carrión *et al*., 2019).

Além das interações antagônicas diretas, a supressividade é construída pela organização de redes microbianas cooperativas, nas quais diferentes populações compartilham metabólitos e exercem funções complementares. A combinação de bactérias e fungos benéficos pode oferecer proteção superior àquela proporcionada por isolados individuais, porque reúne competição, antibiose e modulação da imunidade vegetal em uma mesma comunidade (Zhou *et al*., 2022). Microrganismos-chave, ainda que pouco abundantes, podem sustentar a estabilidade dessas redes mediante interações com vários táxons e manutenção de funções essenciais à exclusão do patógeno (Todorović *et al*., 2023).

A perda seletiva de Firmicutes e Actinobacteria pode desestruturar essa proteção e transformar uma microbiota equilibrada em uma comunidade disbiótica e favorável ao desenvolvimento da doença (Lee *et al*., 2021). Dessa forma, a redundância funcional e a conectividade entre os microrganismos tornam a barreira biológica mais estável diante de oscilações ambientais e dificultam que o fitopatógeno ocupe nichos vagos ou explore recursos temporariamente disponíveis (Zhou *et al*., 2022).

A planta também participa ativamente desse processo ao modificar seus exsudatos radiculares e selecionar microrganismos protetores após reconhecer o ataque do patógeno. Alterações na liberação de açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, fenólicos e outros metabólitos podem favorecer grupos antagonistas e reorganizar funcionalmente o microbioma

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

da rizosfera (Yuan *et al*., 2018). Essa resposta, conhecida como "pedido de ajuda", possibilita o recrutamento de microrganismos capazes de produzir compostos antimicrobianos ou estimular a resistência sistêmica da planta (Spooren *et al*., 2024).

A microbiota recrutada pode permanecer no solo e beneficiar cultivos subsequentes, originando uma memória ou legado microbiológico associado à supressividade (Gao *et al*., 2021). Simultaneamente, rizobactérias e fungos benéficos sensibilizam as vias de sinalização mediadas por ácido jasmônico, etileno e, dependendo da interação, ácido salicílico, preparando a planta para responder mais rapidamente à infecção (Pieterse *et al*., 2021). Portanto, a construção da supressividade envolve a integração entre exclusão competitiva, antagonismo químico, parasitismo, redes microbianas complementares e ativação das defesas vegetais, e não a atuação isolada de um único grupo de microrganismos.

3.4 Estratégias de manejo hídrico para favorecer solos supressivos

A construção de solos supressivos depende da manutenção de condições hídricas que favoreçam uma microbiota diversa, metabolicamente ativa e capaz de competir com os fitopatógenos. Como a umidade controla a difusão de nutrientes, a disponibilidade de oxigênio e a conectividade dos poros, variações excessivas podem desorganizar as redes microbianas associadas às raízes (Tan *et al*., 2021). Déficits hídricos intensos reduzem a conectividade entre bactérias e fungos, comprometendo interações potencialmente relacionadas à estabilidade funcional da rizosfera (Bazany *et al*., 2022).

Por outro lado, o excesso prolongado de água diminui a aeração e cria condições favoráveis a patógenos adaptados a ambientes saturados. Nesse contexto, sistemas capazes de manter a umidade relativamente estável podem favorecer microrganismos como *Bacillus* e *Streptomyces*, gêneros que incluem espécies antagonistas e foram enriquecidos sob irrigação por pressão negativa (Gao *et al*., 2019). Entretanto, como a resposta do microbioma varia conforme o solo, a cultura e a carga inicial de patógenos, o manejo hídrico deve ser ajustado localmente, com base em indicadores físicos, microbiológicos e fitossanitários (Keating *et al*., 2024).

A irrigação localizada, especialmente por gotejamento, constitui uma estratégia relevante porque permite fornecer água diretamente à zona radicular, reduzir a saturação generalizada do perfil e limitar oscilações bruscas de umidade. A manutenção de um suprimento hídrico mais uniforme aumentou a diversidade bacteriana da rizosfera e a abundância de grupos potencialmente benéficos em tomateiro (Gao *et al*., 2019). Além disso, a lâmina deve ser determinada por sensores de umidade, tensiômetros ou estimativas da evapotranspiração,

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

evitando tanto o ressecamento severo quanto períodos prolongados de anoxia. Isso é importante porque a redução da disponibilidade de água modifica a diversidade, a composição e o recrutamento microbiano de maneira dependente do genótipo vegetal (Martins *et al*., 2023).

Em condições de irrigação deficitária moderada, cultivares de batata apresentaram alterações nos exsudatos radiculares e enriquecimento de *Streptomyces*, *Nocardioides*, *Nitrosospira* e *Nitrobacter*, demonstrando que déficits controlados podem selecionar comunidades funcionais específicas (Qin *et al*., 2025). Contudo, déficits intensos devem ser evitados, pois podem reduzir entre 30 e 63% a umidade e alterar profundamente as conexões entre os diferentes grupos microbianos da rizosfera (Bazany *et al*., 2022).

Em cultivos sujeitos ao alagamento, a alternância controlada entre períodos úmidos e secos pode ser utilizada para modular o potencial redox e impedir a dominância prolongada de grupos adaptados à anaerobiose. No arroz, o manejo com umedecimento e secagem alternados modificou a abundância de Bacillota e Actinomycetota e intensificou determinadas interações bacterianas, evidenciando que o regime hídrico pode direcionar a organização do microbioma (Yakubu *et al*., 2025). Todavia, essa estratégia precisa respeitar limites que preservem a atividade microbiana e evitem o estresse severo das plantas, pois a magnitude das alterações depende do tipo de solo e da comunidade originalmente presente (Bazany *et al*., 2022).

A escolha do método também deve considerar a qualidade da água: salinidade, sodicidade e contaminantes podem selecionar comunidades menos diversas e prejudicar o estabelecimento de antagonistas. Em solos irrigados com água salobra, tratamentos combinando magnetização e oxigenação reduziram a colonização por patógenos de solo e favoreceram bactérias relacionadas à transformação de nutrientes (Sun *et al*., 2022). Assim, o monitoramento simultâneo da umidade, condutividade elétrica, oxigenação e qualidade microbiológica da água constitui uma medida indispensável para favorecer uma supressividade estável (Keating *et al*., 2024). As principais estratégias de manejo hídrico e seus efeitos sobre o microbioma do solo e a supressividade a fitopatógenos estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1. Estratégias de manejo hídrico e seus efeitos potenciais sobre o microbioma e a supressividade de solos a fitopatógenos.

Estratégia de manejo hídrico	Efeito no ambiente do solo	Resposta microbiana associada	Implicação para a supressividade	Referências

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

Manutenção de umidade relativamente estável	Reduz oscilações hídricas, preserva a conectividade dos poros e mantém condições mais equilibradas de oxigenação e difusão de nutrientes	Favorece maior estabilidade das redes microbianas e a atividade de grupos benéficos	Pode aumentar a competição microbiana e dificultar o estabelecimento de fitopatógenos	Tan *et al.* (2021); Bazany *et al.* (2022)
Irrigação localizada/gotejamento	Direciona a água à zona radicular e reduz a saturação generalizada do perfil	Pode aumentar a diversidade bacteriana e favorecer grupos potencialmente benéficos na rizosfera	Contribui para a formação de condições mais favoráveis a comunidades antagonistas	Gao *et al.* (2019)
Irrigação baseada em sensores, tensiômetros ou evapotranspiração	Permite ajustar a lâmina à demanda da cultura e evitar déficit severo ou excesso de água	Mantém condições mais adequadas para atividade e recrutamento microbiano	Reduz extremos hídricos capazes de desestruturar o microbioma ou favorecer patógenos	Martins *et al.* (2023); Keating *et al.* (2024)
Déficit hídrico moderado e controlado	Promove alterações específicas na disponibilidade de água e nos exsudatos radiculares	Pode enriquecer grupos como *Streptomyces*, *Nocardioides*, *Nitrosospira* e *Nitrobacter*	Pode selecionar comunidades funcionais específicas, dependendo da cultura e do solo	Qin *et al.* (2025)
Prevenção de déficit hídrico intenso	Evita redução acentuada da umidade e perda de conectividade entre os poros	Preserva interações entre bactérias e fungos e a organização das redes microbianas	Evita perda de estabilidade funcional potencialmente relacionada à supressividade	Bazany *et al.* (2022)
Umedecimento e secagem alternados	Modifica periodicamente a disponibilidade de água, oxigênio e o potencial redox	Altera a abundância de grupos como Bacillota e Actinomycetota e suas interações	Pode direcionar a organização do microbioma, especialmente em sistemas sujeitos ao alagamento	Yakubu *et al.* (2025)

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

Boa drenagem e prevenção do encharcamento	Evita anoxia prolongada e condições excessivamente redutoras	Impede a seleção prolongada de comunidades adaptadas à anaerobiose	Reduz condições favoráveis a determinados patógenos associados a ambientes saturados	Tan *et al.* (2021); Keating *et al.* (2024)
Controle da qualidade da água de irrigação	Reduz efeitos de salinidade, sodicidade, baixa oxigenação e contaminantes	Favorece maior equilíbrio da comunidade e o estabelecimento de grupos benéficos	Evita condições que possam reduzir a diversidade microbiana e comprometer antagonistas	Sun *et al.* (2022); Keating *et al.* (2024)
Integração da irrigação com cobertura e matéria orgânica	Reduz evaporação e oscilações hídricas e aumenta a disponibilidade de carbono	Favorece a sobrevivência e atividade de populações microbianas associadas à rizosfera	Pode potencializar antagonistas, desde que o excesso de água e a formação de zonas anaeróbias sejam evitados	Martins *et al.* (2023)
Monitoramento integrado do sistema	Acompanha umidade, condutividade elétrica, oxigenação e condições fitossanitárias	Permite identificar respostas do microbioma às práticas de irrigação	Possibilita ajustes locais do manejo visando maior estabilidade da supressividade	Keating *et al.* (2024)

Fonte: Autores (2026)

O manejo hídrico deve ser integrado à cobertura do solo, à incorporação de matéria orgânica, à rotação de culturas e à aplicação de bioinsumos, pois a água determina a sobrevivência e a atividade dos microrganismos introduzidos. Coberturas vegetais e resíduos orgânicos reduzem a evaporação, amortecem oscilações térmicas e hídricas e disponibilizam carbono para populações antagonistas; entretanto, o excesso de irrigação após sua aplicação pode gerar zonas anaeróbias e favorecer patógenos. A estabilidade da umidade também melhora o crescimento radicular e modifica a liberação de exsudatos que selecionam microrganismos benéficos (Martins *et al*., 2023).

Essa interação entre genótipo, exsudação e regime hídrico indica que não existe uma lâmina universalmente supressiva, devendo-se validar os manejos para cada patossistema (Qin *et al*., 2025). Portanto, favorecer solos supressivos exige irrigação de precisão, boa drenagem, água de qualidade e acompanhamento da microbiota e da incidência de doenças, uma vez que

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

a irrigação pode alterar simultaneamente o microbioma, o desenvolvimento vegetal e a expressão dos sintomas (Keating *et al*., 2024). Nessa perspectiva, o manejo da água deixa de ser apenas uma prática destinada a suprir a demanda da cultura e passa a funcionar como ferramenta ecológica de direcionamento do microbioma e de prevenção de doenças do solo (Tan *et al*., 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disponibilidade de água exerce papel determinante na organização e no funcionamento da microbiota do solo, influenciando a difusão de nutrientes, a oxigenação, a atividade metabólica e as interações estabelecidas na rizosfera. Nesse sentido, o manejo hídrico ultrapassa sua função tradicional de suprir a demanda de água das culturas e assume importância ecológica, uma vez que pode modificar a composição e a atividade das comunidades microbianas e, consequentemente, interferir na capacidade do solo de restringir o estabelecimento e a atividade de fitopatógenos.

As evidências reunidas neste capítulo demonstram que tanto o déficit hídrico severo quanto a saturação prolongada podem comprometer o equilíbrio microbiológico do solo. Enquanto a restrição intensa de água reduz a atividade microbiana e pode desestruturar redes de interação, o excesso de umidade limita a oxigenação e pode criar condições favoráveis a patógenos adaptados a ambientes saturados. Em contrapartida, regimes hídricos adequadamente manejados podem contribuir para a manutenção de comunidades microbianas diversificadas e funcionalmente organizadas, favorecendo mecanismos de supressão relacionados à competição por recursos e sítios de colonização, à produção de sideróforos e compostos antimicrobianos, à ação de enzimas e à ativação das defesas vegetais.

Nesse contexto, estratégias como irrigação localizada, monitoramento da umidade, adoção criteriosa de déficits hídricos controlados, prevenção do encharcamento, boa drenagem e controle da qualidade da água apresentam potencial para favorecer condições compatíveis com a manutenção da supressividade. A integração dessas práticas com cobertura do solo, incorporação de matéria orgânica, rotação de culturas e aplicação de bioinsumos pode ampliar seus efeitos, contribuindo para maior estabilidade do microbioma e fortalecimento das interações benéficas na rizosfera.

Entretanto, não existe um regime hídrico universalmente capaz de promover a supressividade, uma vez que as respostas dependem das características físicas e químicas do solo, da cultura e do genótipo vegetal, da composição inicial da microbiota, do fitopatógeno envolvido, da qualidade da água e das condições ambientais. Assim, o manejo deve ser definido

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

de forma específica para cada patossistema e fundamentado no acompanhamento conjunto de indicadores hídricos, microbiológicos e fitossanitários.

Dessa forma, o manejo da água apresenta potencial para integrar estratégias sustentáveis de manejo de doenças do solo, atuando como ferramenta ecológica complementar para direcionar o microbioma e favorecer os mecanismos naturais de supressão. Avanços nessa abordagem dependem de estudos que estabeleçam relações mais consistentes entre regimes de irrigação, respostas funcionais do microbioma e redução da incidência ou severidade de doenças em condições de campo. A integração desses conhecimentos poderá subsidiar sistemas de irrigação mais precisos, capazes de conciliar eficiência no uso da água, equilíbrio microbiológico do solo e maior estabilidade fitossanitária dos sistemas agrícolas.

REFERÊNCIAS

BAZANY, K. E. et al. Water deficit affects inter-kingdom microbial connections in plant rhizosphere. Environmental Microbiology, v. 24, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/1462-2920.16031.

CARRIÓN, V. J. et al. Pathogen-induced activation of disease-suppressive functions in the endophytic root microbiome. Science, v. 366, n. 6465, p. 606–612, 2019. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aaw9285.

DE VRIES, F. T. et al. Soil bacterial networks are less stable under drought than fungal networks. Nature Communications, v. 9, art. 3033, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-018-05516-7.

DENG, X. et al. Soil microbiome manipulation triggers direct and possible indirect suppression against Ralstonia solanacearum and Fusarium oxysporum. npj Biofilms and Microbiomes, v. 7, art. 33, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41522-021-00204-9.

FLYNN, N. E.; COMAS, L. H.; STEWART, C. E.; FONTE, S. J. Deficit irrigation drives maize root distribution and soil microbial communities with implications for soil carbon dynamics. Soil Science Society of America Journal, v. 85, p. 412–422, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/saj2.20201.

FRENE, J. P. et al. Agriculture by irrigation modifies microbial communities and soil functions associated with enhancing C uptake of a steppe semi-arid soil in Northern Patagonia. Frontiers in Soil Science, v. 2, art. 835849, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.835849.

GAO, M. et al. Disease-induced changes in plant microbiome assembly and functional adaptation. Microbiome, v. 9, art. 187, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-021-01138-2.

GAO, X.; ZHANG, S.; ZHAO, X.; LONG, H. Stable water and fertilizer supply by negative pressure irrigation improve tomato production and soil bacterial communities. SN Applied Sciences, v. 1, art. 718, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s42452-019-0719-6.

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

GEBAUER, L. et al. Water deficit history selects plant beneficial soil bacteria for the development of plant drought resistance. Frontiers in Microbiology, v. 13, art. 824437, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.824437.

GÓMEZ EXPÓSITO, R.; DE BRUIJN, I.; POSTMA, J.; RAAIJMAKERS, J. M. Current insights into the role of rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. Frontiers in Microbiology, v. 8, art. 2529, 2017. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02529.

GU, S. et al. Competition for iron drives phytopathogen control by natural rhizosphere microbiomes. Nature Microbiology, v. 5, p. 1002–1010, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s41564-020-0719-8.

JUDELSON, H. S. Exchanges at the plant–oomycete interface that influence disease. Plant Physiology, v. 179, n. 4, p. 1198–1211, 2019. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.18.00979.

KEATING, C. et al. Balancing the scales: assessing the impact of irrigation and pathogen burden on potato blackleg disease and soil microbial communities. Microbiome, v. 12, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-024-01918-6.

LEE, S. M. et al. The disease triangle in the context of the holobiont: complex interactions between host, microbiome and pathogen. Frontiers in Plant Science, v. 12, art. 627506, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2021.627506.

MARTINS, B. R. et al. Cultivar-specific dynamics: unravelling rhizosphere microbiome responses to water deficit stress in potato cultivars. BMC Microbiology, v. 23, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s12866-023-03120-4.

MAVRODI, D. V. et al. Long-term irrigation affects the dynamics and activity of the wheat rhizosphere microbiome. Frontiers in Plant Science, v. 9, art. 345, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00345.

MEISNER, A.; DE BOER, W. Strategies to maintain natural biocontrol of soil-borne crop diseases during severe drought and rainfall events. Frontiers in Microbiology, v. 9, art. 2279, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02279.

MEISNER, A. et al. Soil microbial legacies differ following drying–rewetting and freezing–thawing cycles. The ISME Journal, v. 15, p. 1207–1221, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41396-020-00844-3.

MUHAMMAD, I. et al. Irrigation and nitrogen fertilization alter soil bacterial communities, soil enzyme activities, and nutrient availability in maize crop. Frontiers in Microbiology, v. 13, art. 833758, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.833758.

NAYLOR, D.; COLEMAN-DERR, D. Drought stress and root-associated bacterial communities. Frontiers in Plant Science, v. 8, art. 2223, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02223.

NAYLOR, D.; DEGRAAF, S.; PURDOM, E.; COLEMAN-DERR, D. Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. The ISME Journal, v. 11, p. 2691–2704, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/ismej.2017.118.

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

PIETERSE, C. M. J.; DE JONGE, R.; BERENDSEN, R. L. The soil-borne supremacy. Trends in Plant Science, v. 21, n. 3, p. 171–173, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.018.

QIN, J.; DODD, I. C.; BIAN, C.; LI, G.; JIN, L. Deficit irrigation differentially modulates rhizosphere microbial community and metabolites of two potato genotypes differing in drought tolerance. Journal of Environmental Management, v. 373, art. 123836, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123836.

SANTOS-MEDELLÍN, C. et al. Drought stress results in a compartment-specific restructuring of the rice root-associated microbiomes. mBio, v. 8, n. 4, e00764-17, 2017. DOI: https://doi.org/10.1128/mBio.00764-17.

SCHIMEL, J. P. Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 49, p. 409–432, 2018. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614.

SCHLATTER, D.; KINKEL, L.; THOMASHOW, L.; WELLER, D.; PAULITZ, T. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. Phytopathology, v. 107, n. 11, p. 1284–1297, 2017. DOI: https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0111-RVW.

SPOOREN, J. et al. Plant-driven assembly of disease-suppressive soil microbiomes. Annual Review of Phytopathology, v. 62, p. 145–169, 2024. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-100127.

SUN, Y. et al. Effects of irrigation using activated brackish water on the bacterial community structure of rhizosphere soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s42729-022-01003-7.

TAN, B. et al. Response of plant rhizosphere microenvironment to water management in soil- and substrate-based systems. Frontiers in Plant Science, v. 12, 2021.

TODOROVIĆ, I. et al. Microbial diversity in soils suppressive to Fusarium diseases. Frontiers in Plant Science, v. 14, art. 1228749, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1228749.

WAKEHAM, A. J.; PETTITT, T. R. Diagnostic tests and their application in the management of soil- and water-borne oomycete pathogen species. Annals of Applied Biology, v. 170, n. 1, p. 45–67, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/aab.12315.

WANG, X. B. et al. A drying-rewetting cycle imposes more important shifts on soil microbial communities than does reduced precipitation. mSystems, v. 7, n. 4, e00247-22, 2022. DOI: https://doi.org/10.1128/msystems.00247-22.

WANG, X.; ZHANG, Y.; WANG, T.; WANG, L.; LIU, E. Drip irrigation affects soil bacteria primarily through available nitrogen and soil fungi mainly via available nutrients. Frontiers in Microbiology, v. 15, art. 1453054, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1453054.

XU, L. et al. Drought delays development of the sorghum root microbiome and enriches for monoderm bacteria. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 115, n. 18, p. E4284–E4293, 2018. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1717308115.